

7103

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



7103

Экз. чит. зала
Р1 7103

НЕКОТОРЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
ИНКЛЮЗИВНЫХ РЕАКЦИЙ $\pi^- \rightarrow \pi^+_{+...}$ И $\pi^0 \rightarrow \pi^+_{+...}$
ПРИ ИМПУЛЬСЕ 40 ГЭВ/С

1973

ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

НЕКОТОРЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
ИНКЛЮЗИВНЫХ РЕАКЦИЙ $\pi^- p \rightarrow \pi^+ p$ И $\pi^- n \rightarrow \pi^+ p$
ПРИ ИМПУЛЬСЕ 40 ГЭВ/С

Сотрудничество Алма-Ата-Будапешт-Бухарест-Варшава-
Дубна- Краков-Москва-Серпухов-София-
Ташкент-Тбилиси-Улан-Батор-Ханой

Направлено в ЯФ

P1 - 7103

А.У.Абдурахимов, Н.Ангелов, К.П.Вишневецкая,¹
В.Г.Гришин, Л.А.Диденко,¹ Т.Канарек, Ш.В.Иногамов,
И.А.Ивановская, Е.Н.Кладницкая, Дж.М.Кохли,²
В.Б.Любимов, Н.Н.Мельникова, В.С.Мурзин,¹ В.М.Попова,¹
М.Сабзу, Л.И.Сарычева,¹ М.И.Соловьев, Л.Н.Смирнова,¹
Х.Я.Супичаков, Ю.В.Тевзадзе, Н.Г.Фадеев,

Л.М.Щеглова,¹ Г.Янчо

Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

Ж.С.Такибаев, Е.О.Абдрахманов, А.Н.Басина,
А.Х.Виницкий, Л.Е.Еременко, И.С.Стрельцов,
И.Я.Часников

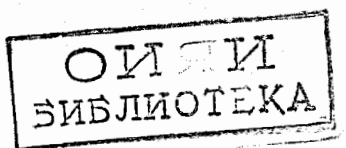
Институт физики высоких энергий, Алма-Ата

Т.Гемеш, Л.Йеник, Д.Киш, Ш.Красновски, Д.Пинтер,
М.Паш, Телбис,

Центральный институт физических исследований, Будапешт

¹ Физический факультет Московского государственного университета.

² Физический факультет Пенджабского университета, Чандигар, Индия.



О.Болеа, В.Болдеа, Т.Понта, С.Фелеа,
Институт атомной физики, Бухарест

М.Бардадин-Отвиновска, А.Бичел, В.Вуйцик, Я.Гаевски,
М.Гурски, Р.Гокиели, Е.Петровска, С.Отвиновски,
Р.Сосновски,
Институт ядерных исследований и Институт физики
Варшавского университета, Варшава

Л.Анела, Е.Бартке, Л.Квятковска, С.Ковальчик,
К.Эскрейс,
Институт ядерной физики и Институт ядерной техники,
Краков

Л.Н.Гердюков, А.А.Иванилов, Е.Н.Кузнецов,
С.Н.Паршикура,
Институт физики высоких энергий, Серпухов

Н.О. Ахабабян, Н.П.Иков, П.П.Керачев, П.К.Марков,
В.Н.Пенев, Х.И.Семерджиев, Р.К.Траянов, А.И.Шкловская,
Физический институт и Машино-энергетический институт,
София

П.Димитров
Институт строительной кибернетики, София

К.Н.Абдулаева, А.Азимова, С.А.Азимов, К.Р.Игамбердиев,
С.Л.Лутфуллаев, Х.А.Ризаев, Е.И.Трунова, Т.М.Усманова,
А.А.Юлдашев, Б.С.Юлдашев,
Физико-технический институт АН Уз.ССР, Ташкент

Л.Н.Абесалашвили, Н.С.Амаглобели, Д.В.Герсамия,
М.А.Дасаева, Т.Ш.Мирианшвили, Р.Г.Салуквадзе,
И.И.Тулиани, М.С.Чаргейшвили, Л.В.Чхаидзе,
Тбилисский государственный университет, Тбилиси

Ц.Баатар, Д.Тувдендорж, Б.Чадраа,
Институт физики и математики М.А.Н., Улан-Батор

Нгуен Дин Ты
Ханойский университет, Ханой

§1. Методика

В настоящей работе представлены некоторые экспериментальные результаты по инклюзивным процессам в π^-p - и π^-n -взаимодействиях при импульсе 40 Гэв/с. В работе использовались стереофотографии, полученные при облучении двухметровой пропановой пузырьковой камеры в пучке π^- -мезонов с импульсом $40,00 \pm 0,24$ Гэв/с серпуховского ускорителя.

При двукратном просмотре 21000 стереофотографий были отобраны π^-p и π^-n -события согласно критериям, описанным ранее ^{/1/}. После измерений оказалось, что в эффективной области камеры произошло 2200 событий ^{/2/}. Средняя множественность вторичных заряженных частиц в этих событиях согласуется со средней множественностью, полученной в просмотре ^{/1,2/}. Незмеримые треки составляют ~3% от полного числа треков и их доля не зависит от множественности вторичных частиц. Средняя ошибка измерения импульса вторичных частиц оказалась равной 12%, а наиболее вероятное значение - 6%. Средняя ошибка в измерении глубинного угла равна $\Delta \text{tg} \alpha = 6,1 \pm 0,1 \cdot 10^{-3}$ и для плоского угла - $\Delta \beta = 3,5 \pm 0,1$ мрад. ^{/2/}.

Распределение всех вторичных частиц по азимутальному углу не отличается от изотропного $\langle \phi \rangle = 3,14 \pm 0,02$. Однако распределение по ϕ для протонов указывает на потерю $\approx 14\%$ медленных протонов, летящих ко дну камеры ^{/2/}. Протоны с импульсами до 700 Мэв/с идентифицировались по пробегу и ионизации. При больших значениях импульсов разделение положительных частиц на

протоны и π^+ -мезоны не было проведено, поэтому среди вторичных положительных частиц содержится $\approx 15\%$ протонов с импульсом, превышающим 700 Мэв/с. Эта оценка была сделана с предположении, что вероятность перезарядки протона в нейтрон равна $0,4^{1/3}$.

Из отобранных событий были исключены случаи упругого рассеяния и когерентные трехлучевые события. Упругие события выделялись из всех двухлучевых согласно следующим критериям:

1/ события не содержат γ -квантов и V^0 -частиц;
 2/ они удовлетворяют кинематическому соотношению "угол Θ_+ - угол Θ_- " для упругих событий: $\Theta_- \leq 0,02$; $1,57 \geq \Theta_+ \geq 1,20$, где Θ_{\pm} - углы вылета положительной и отрицательной частицы;

3/ величина $M_p = \frac{2}{\gamma} (E_i - p_i \cos \theta_i)$ лежит в области $0,92 \leq M_p \leq 0,98$ Гэв. При вычислении M_p положительная частица считалась протоном. Здесь E_i , p_i - энергия и импульс вторичных заряженных частиц в л.с. координат.

Когерентные события исключались только из 3-лучевых взаимодействий по трем критериям:

1/ события не содержат идентифицированного протона, γ -квантов и V^0 -частиц;

2/ $\sum \sin \theta_i \leq 0,20$; θ_i - угол вылета вторичной частицы в л.с. координат;

3/ $M_t = \sum (E_j - p_j \cos \theta_j) \leq 0,025$ Гэв.

Эти критерии были получены на основании анализа методических распределений. В результате их применения было исключено $\approx 20\%$ двух- и $\approx 22\%$ трехлучевых событий. Эти величины согласуются с нашими оценками, сделанными в предыдущих работах [1].

§2. Средние характеристики π^- при π^-n -взаимодействий

В таблице I приведены средние множественности вторичных заряженных частиц, π^0 -мезонов и нейтральных странных частиц $/\Lambda^0$ и K^0 / для π^-p -и π^-n -взаимодействий при $p = 40$ Гэв/с. Как видно из таблицы, π^-p -и

Таблица I

Т и П взаимо- действ- вия	$\langle n_{\pm} \rangle$	$\sqrt{\langle n_{\pm}^2 \rangle - \langle n_{\pm} \rangle^2}$	$\langle n_{\pi^0} \rangle$	$\langle n_{\Lambda^0} \rangle$	$\langle n_{K^0} \rangle$	$\langle n_{tot} \rangle^*$
π^-p	$5,62 \pm 0,04$	$2,77 \pm 0,03$	$2,43 \pm 0,05$	$0,07 \pm 0,01$	$0,23 \pm 0,03$	$8,75 \pm 0,08$
π^-n	$5,32 \pm 0,06$	$2,84 \pm 0,04$	$2,23 \pm 0,08$	$0,06 \pm 0,02$	$0,21 \pm 0,06$	$8,42 \pm 0,13$

$\langle n_{tot} \rangle$ - полное число всех вторичных частиц, с учетом нейтронов. Коэффициент перезарядки протона в нейтрон $\alpha = 0,4$.

π^-n -взаимодействия практически не отличаются по этим характеристикам.

В таблице II даны средние значения поперечных, продольных импульсов и $\langle \cos\Theta^* \rangle$ в с.ц. инерции для π^+, π^- -мезонов, γ -квантов Λ^0 - и K^0 -частиц. Среднее значение p_{\parallel}^* определено в интервале от -2,5 до +2,5 Гэв/с, а $\langle p_{\perp} \rangle$ - в интервале 0-1,5 Гэв/с. Как видно из таблицы, средние значения поперечных импульсов для π^+ - и π^- -мезонов одинаковы. В последней колонке таблицы II даны числа π^+ - и π^- -мезонов, вылетающих назад в лабораторной системе координат в π^-p -взаимодействиях. Отсюда видно, что вероятности фрагментации протонов на π^+ -мезоны или на π^- -мезоны одинаковы.

§3. Одночастичные инклюзивные распределения

Одночастичные распределения инклюзивных процессов типа:

$\pi^-p \rightarrow \pi^+ + \dots$	/1/
$\pi^-p \rightarrow \pi^- + \dots$	/2/
$\pi^-n \rightarrow \pi^+ + \dots$	/3/
$\pi^-n \rightarrow \pi^- + \dots$	/4/

были получены для изучения общих характеристик π^-p - и π^-n -взаимодействий при $p = 40$ Гэв/с.

В таблице III приведены величины неупругих сечений (σ_{in}) числа треков, N_{π^+} и N_{π^-} - средние значения $\langle n_{\pi^+} \rangle$ и $\langle n_{\pi^-} \rangle$, использованные для нормировки при построении графиков. Здесь, как и в работах /1/, полное число неупругих π^-p - и π^-n -взаимодействий нормировалось на соответствующее сечение неупругого взаимодействия ($\sigma_{in} = \sigma_{tot} - \sigma_{el}$), где полное сечение (σ_{tot})

Таблица II

Тип взаимодействия	$\langle p_{\perp} \rangle$ Мэв/с	$\langle p_{\parallel}^* \rangle$ Мэв/с	$\langle \cos\Theta^* \rangle$	Число частиц назад на 1000 звезд
π^-p	356 ± 4	196 ± 12	$0,231 \pm 0,012$	52 ± 7
π^-n	369 ± 4	-25 ± 12	$-0,008 \pm 0,011$	54 ± 7
γ	172 ± 3	17 ± 7	$0,052 \pm 0,012$	
Λ^0	482 ± 35	-818 ± 131	$-0,597 \pm 0,071$	
K^0	436 ± 23	121 ± 65	$0,156 \pm 0,062$	
π^-	344 ± 6	231 ± 19	$0,261 \pm 0,018$	
π^+	362 ± 8	143 ± 23	$0,162 \pm 0,023$	
γ	164 ± 6	50 ± 12	$0,013 \pm 0,024$	

Таблица III

Величина	π^+	π^-
$\langle n_{\pi^+} \rangle$	5,62 ± 0,04	5,32 ± 0,06
$\langle n_{\pi^-} \rangle$	2,81 ± 0,02	3,16 ± 0,04
$\langle n_{\pi^0} \rangle$	2,61 ± 0,02	2,10 ± 0,02
σ_{in}	21,2 ± 0,35 МОН	19,6 ± 0,4 МОН
N_{π^-}	4099	1565
N_{π^+}	3778	997

было взято из работы /4/, а упругое - σ_{el} - принималось равным $\sigma_{el} = 3,50 + 0,35 \text{ мбн}^*$.

В приведенных ниже результатах неопределенность в нормировке на σ_{in} не учитывалась, она составляет $\approx 2\%$. На рис. 1 /а,б/ приведены структурные функции

$$f(p_{\perp}^2) = \frac{2}{\pi\sqrt{S}} \int E^* \frac{d\sigma}{dp_{\perp}^2 dp_{\parallel}^*} dp_{\parallel}^*$$

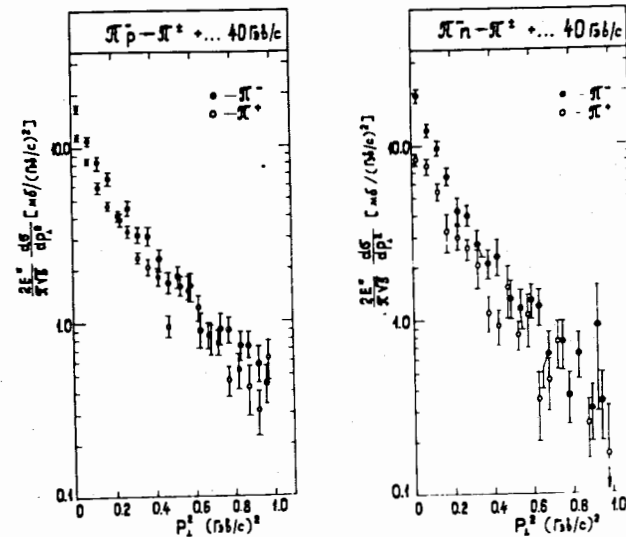


Рис. 1

для реакций /1/ : /4/ для π^+ и π^- -мезонов. Эти распределения фитировались с помощью функций вида

$$f(p_{\perp}^2) \sim \exp(-A p_{\perp}^2) + R \exp(-B p_{\perp}^2)$$

в интервале $0 \leq p_{\perp}^2 \leq 1$ /Гэв/с/. Значения полученных коэффициентов приведены в таблице IV. Здесь же для сравнения даны результаты, полученные при аппроксимации экспериментальных данных по π^+ -взаимодей-

* Величина σ_{el} оценивалась по формуле $\frac{d\sigma}{dt} \sim e^{Bt}$, где $B = 8,5$ /Гэв/с/ $^{-2}$.

Таблица IV

$$f(p_{\perp}^2) \sim \exp(-A p_{\perp}^2) + R \exp(-B p_{\perp}^2)$$

Эксперимент	Частица	A (Гэв/с) ⁻²	R	B (Гэв/с) ⁻²	x ² D.F.
π ⁻ p 40 Гэв/с	Π ⁺	7,9 ± 1,6	0,38 ± 0,26	2,4 ± 0,6	38/16
	Π ⁻	10,6 ± 1,9	0,42 ± 0,14	2,6 ± 0,4	27/16
π ⁻ n 40 Гэв/с	Π ⁺	5,19 ± 0,22	-	-	28/18
	Π ⁻	5,24 ± 0,20	-	-	32/18
π ⁻ p 16 Гэв/с	Π ⁺	9,2 ± 0,3	0,37 ± 0,04	3,1 ± 0,1	19/23
	Π ⁻	8,6 ± 0,3	0,49 ± 0,06	3,3 ± 0,1	40/23
π ⁺ p 16 Гэв/с	Π ⁺	10,4 ± 0,3	0,59 ± 0,04	3,2 ± 0,1	23/23
	Π ⁻	9,2 ± 0,3	0,43 ± 0,06	3,7 ± 0,1	52/23

ствиям при 16 Гэв/с. Результаты фитирования показали, что распределения $f(p_{\perp}^2)$ не описываются одной экспонентой для π⁻p-взаимодействий. Полученные коэффициенты в пределах ошибок согласуются с данными, полученными при $p = 16$ Гэв/с^{1/2}.

На рис. 2 /а,б/ приведена зависимость структурных функций

$$f(x) = \frac{2}{\pi\sqrt{S}} \int E * \frac{d\sigma}{dp_{\perp}^2 dx} dp_{\perp}^2$$

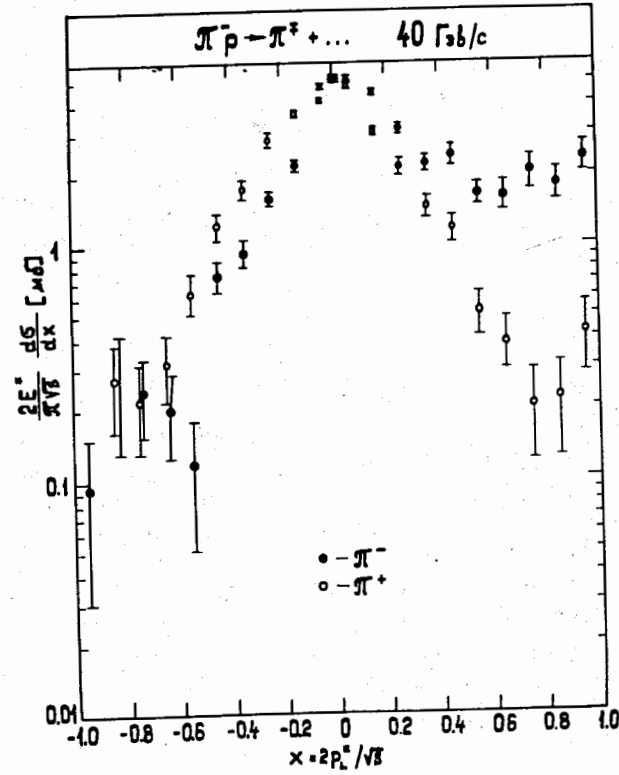


Рис. 2а

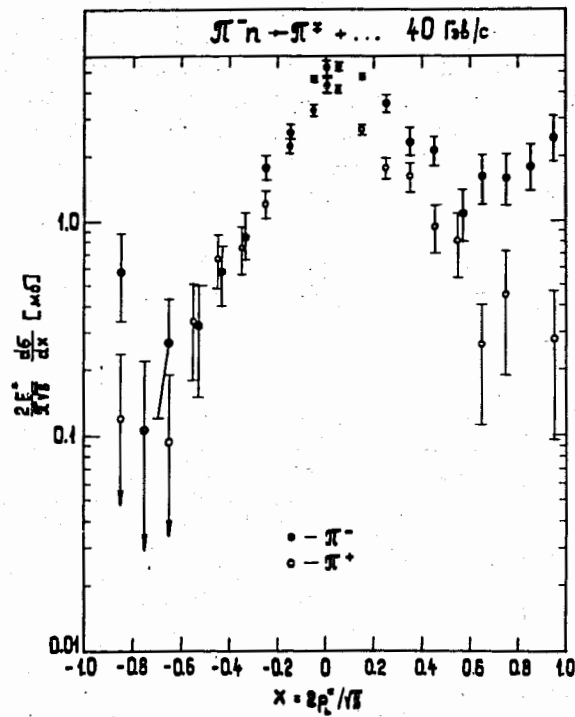


Рис. 26

от x для π^-p - и π^-n -взаимодействий. Для области $x > 0$ наблюдается эффект "лидирующей" частицы / π^- -мезона/. В центральной области $|x| \leq 0,02$ инвариантные сечения для π^+ - и π^- -мезонов в π^-p -взаимодействиях одинаковы. В области фрагментации протона ($x < 0$) структурные функции одинаковы для π^-n -взаимодействий. Разница в поведении $f(x < 0)$ для π^+ - и π^- -мезонов в π^-p -взаимодействиях может быть связана с примесью протонов /см. §1/. На рис. 3 приведены отношения структурных функций для процессов:

$$\pi^-p \rightarrow \pi^+ / \pi^-p \rightarrow \pi^-, \quad \pi^-n \rightarrow \pi^+ / \pi^-n \rightarrow \pi^-,$$

$$\pi^-p \rightarrow \pi^- / \pi^-n \rightarrow \pi^-$$

в зависимости от x . Здесь же приведены результаты

работы /5/, полученные при 16 ГэВ/с. Как видно из рисунка, основные особенности поведения $f(x)$ не меняются в интервале 16-40 ГэВ.

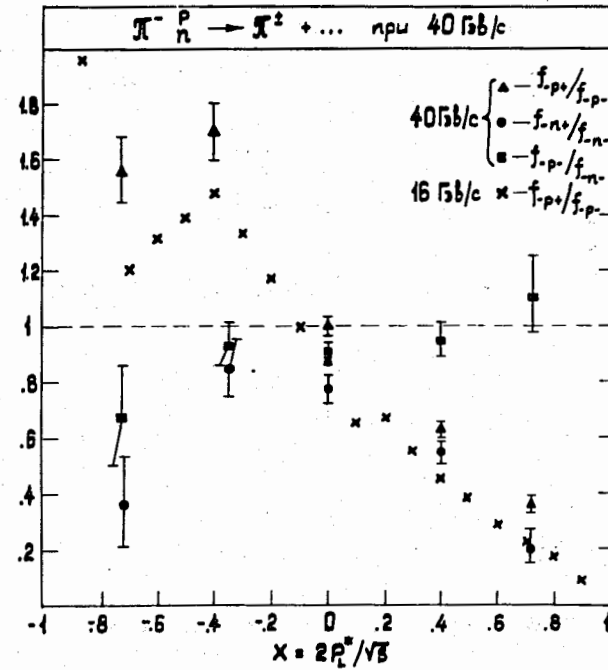


Рис. 3

На рис. 4 /а,б/ даны распределения π^+ - и π^- -мезонов в зависимости от $y^* = \frac{1}{2} \ln \frac{E^* + p_{||}^*}{E^* - p_{||}^*}$.

Одной из интересных характеристик многочастичных процессов является распределение dQ/dx , где Q - суммарный заряд всех вторичных частиц. Считая, что вторичные заряженные частицы - протоны, π^+ - и π^- -мезоны, получим

$$\frac{dQ}{dx} = \frac{1}{\sigma_{in}} \left\{ \frac{d\sigma}{dx}(p) + \frac{d\sigma}{dx}(\pi^+) - \frac{d\sigma}{dx}(\pi^-) \right\}.$$

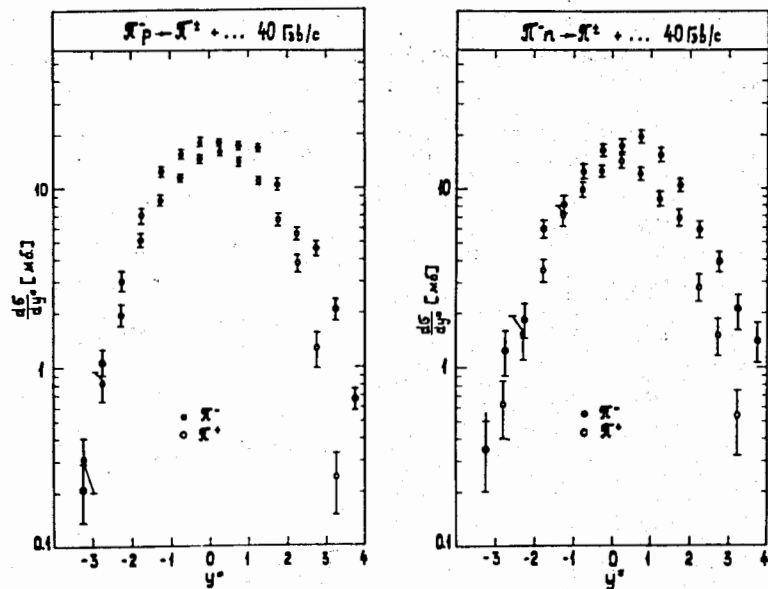


Рис. 4

В этом случае интеграл $\int \frac{dQ}{dx} dx = 0$ для $\pi^- p$ -взаимодействий и равен -1 - для $\pi^- n$ -столкновений. На рис. 5 приведена зависимость dQ/dx для $p = 40$ ГэВ/с и $p = 16$ ГэВ/с. В этом распределении явно видна роль фрагментирующих частиц - протона и нейтрона ($x < 0$) и π^- -мезонов ($x > 0$). Аналогичная зависимость наблюдается и для $\pi^- p$ -взаимодействий при $p = 16$ ГэВ/с /сплошная кривая на рис. 5/17/.

Для проверки гипотезы масштабной инвариантности /скейлинга/ в сильных взаимодействиях в "центральной области" ($x \approx 0$) полученные результаты сравнивались с имеющимися данными по $\pi^\pm p$ -столкновениям / $E_\pi \leq 25$ ГэВ/ и по pp -соударениям / $E_p \leq 1500$ ГэВ/*.

* Поведение $\pi^- n$ -взаимодействий в "центральной области" отличается от $\pi^- p$ -взаимодействий. Для изучения этого отличия необходима большая статистика событий.

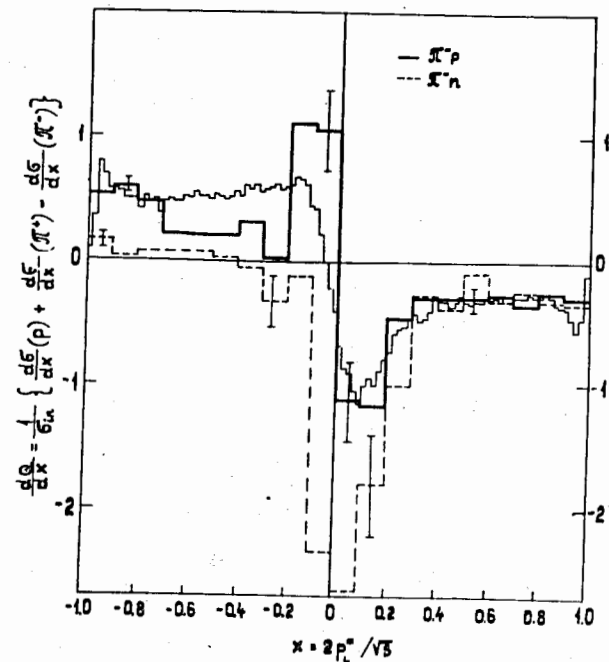


Рис. 5

Сравнение проводилось по трем характеристикам:

$$\frac{f(x=0)}{\sigma_{tot}}, \frac{1}{\sigma_{in}} \frac{d\sigma(\theta^*=90^\circ)}{d\Omega} \text{ и } R = \frac{N_{\pi^+}}{N_{\pi^-}}.$$

В случае скейлинга $f(x=0)$ не должно зависеть от энергии сталкивающихся частиц. На рис. 6 приведены значения $f(x=0)$ для $\pi^\pm p$ -столкновений в зависимости от $s^{-1/4}$ /6/* . Как видно из рисунка, $f(0)$ для $\pi^- p \rightarrow \pi^-$ -взаимодействий постоянна в пределах ошибок для различных энергий / $E \leq 40$ ГэВ/. Отсутствие экспериментальных данных для этой реакции при более высоких энергиях не дает возможности сделать прямого заключения о независимости $f(0)$ от энергии. Однако норми-

* Значение $f(x=0)$ бралось по интервалу $|\Delta x| \leq 0,02$.

рованные значения $f(0)/\sigma_{tot}$ для π^-p -взаимодействий при $p = 40$ Гэв/с и pp -взаимодействий при $E \approx 1000$ Гэв совпадают по абсолютной величине*.

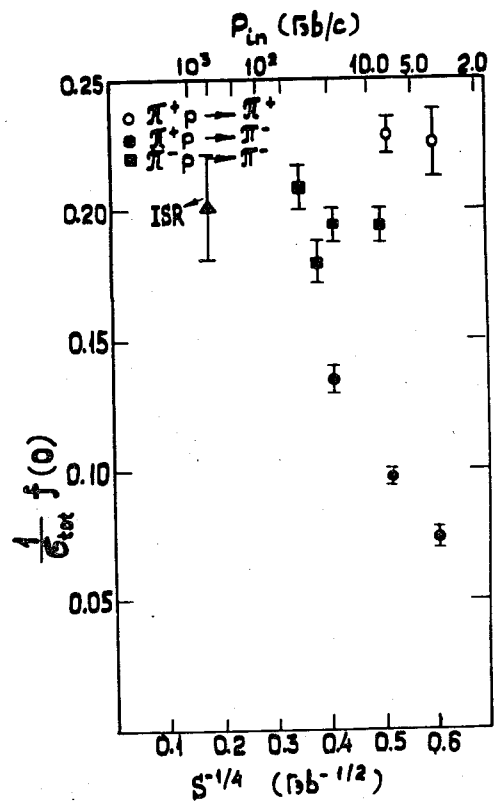


Рис. 6

* Эти величины в случае масштабной инвариантности в рамках модели Редже также должны быть одинаковы для различных типов первичных частиц.

Таблица V

$\frac{1}{\sigma_{in}} \frac{d\sigma}{d\Omega}$ ПРИ $\theta^* = 90^\circ$

\sqrt{s} ГэВ	Тип взаимо- дейст- вия	Π^+	Π^-	γ
31	pp	0,105±0,005	1,108±0,005	0,22±0,02
53	pp	0,117±0,005	0,121±0,005	0,24±0,02
8,7	π^-p	0,117±0,011	0,108±0,011	0,23±0,02
	π^-n	0,094±0,020	0,117±0,022	0,23±0,03

Прямое сравнение такого же типа можно провести и для величины $\frac{1}{\sigma_{in}} \frac{d\sigma(\theta^* \approx 90^\circ)}{d\Omega}$ для π^-p -и pp -взаимодействий /рис. 7, таблица V / [7]. Кривая на рис. 7 соответствует $-\frac{A}{\sin^2 \theta^*}$. В пределах ошибок нормированные угловые распределения при $\theta^* \approx 90^\circ$ совпадают для π^-p -соударений при $E_\pi = 40$ Гэв и pp -столкновений при $E_p = 500 - 1500$ Гэв *.

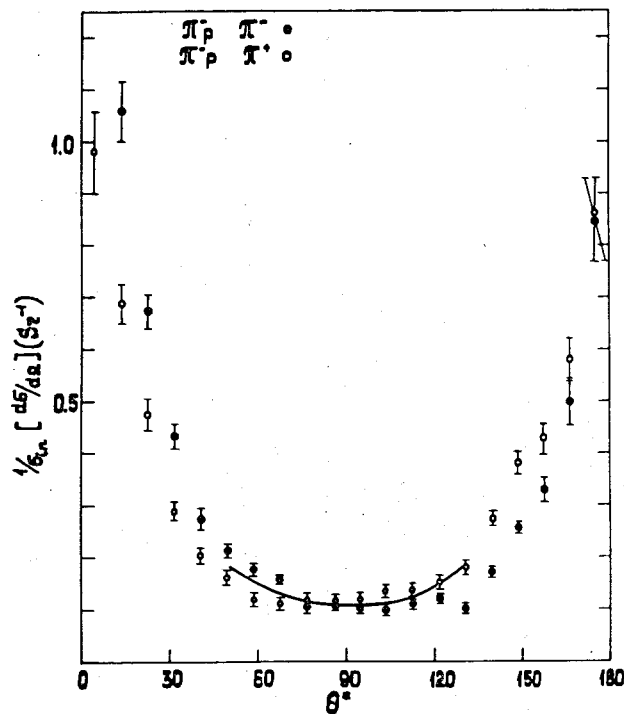


Рис. 7а

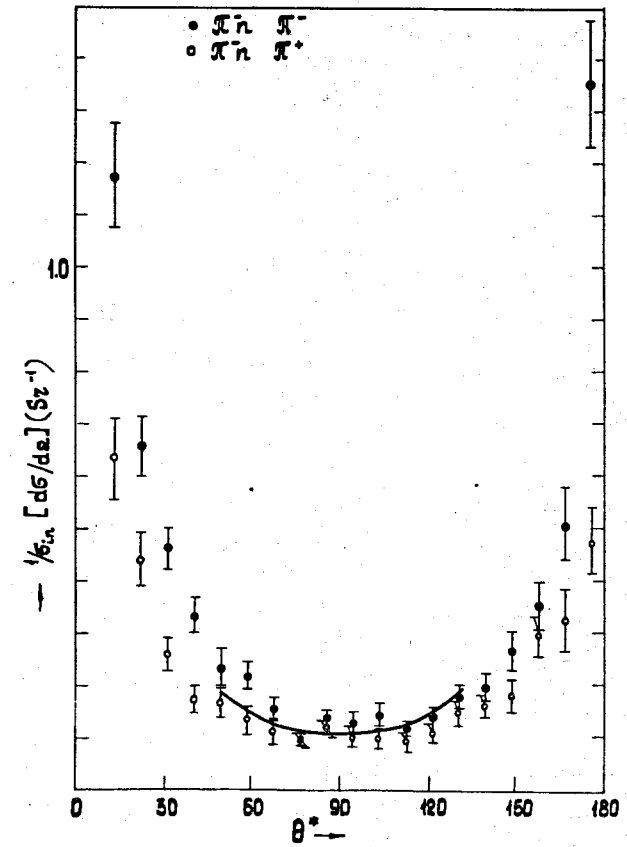
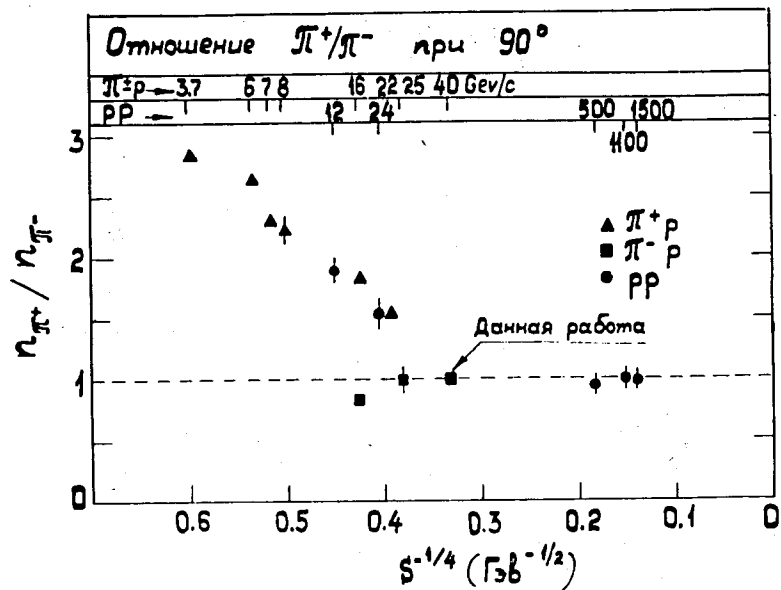


Рис. 7б

Наконец, величина R в этом случае должна быть равна 1. На рис. 8 приведены значения R для различных энергий. При $E_\pi = 40$ Гэв и $E_p = 500-1500$ Гэв значение R в пределах ошибок $\pm 6\%$ равно 1.

Таким образом, анализ экспериментальных данных по π^-p -взаимодействиям при $p = 40$ Гэв/с показывает, что нормированные структурные функции π^+ , π^- и π^0 -мезонов совпадают с аналогичными величинами для pp -взаимодействий при $E_p = 500-1500$ Гэв в "центральной области" *.

* Эффекты, связанные с "лидирующими" частицами, здесь не рассматриваются.



Значение величины R в пределах ошибок также равно 1. Отсюда следует, что если имеет место масштабная инвариантность для pp -взаимодействий при $E \approx 1000$ Гэв, то она также, возможно, имеет место и в случае πp -взаимодействий при $p = 40$ Гэв/с.

В заключение авторы выражают благодарность группе лаборантов, которые принимали участие в обработке экспериментального материала.

Литература

1. Сотрудничество Будапешт - Бухарест - Варшава - Дубна - Краков - Серпухов - София - Ташкент - Тбилиси - Улан-Батор - Ханой. Препринт ОИЯИ, P1-6277, Дубна, 1972; Препринт ОИЯИ, P1-6491, Дубна, 1972; Препринт ОИЯИ P1-6298, Дубна, 1973; ИЯИ, Варшава. Report "P" No. 1411/V//, 1972; Phys.Lett., 39B, 571, 1972; Ж.Я.Ф. 16, 989, 1972; Nucl.Phys., B52, 414, 1973.

2. А.У.Абдурахимов, Н.Ангелов и др. Препринт ОИЯИ, P1-6967, Дубна, 1973. Препринт ОИЯИ, P1-6326, Дубна, 1972.
3. V.G.Grishin et al. JINR E2-6596, Dubna, 1972; JINR P2-6950, Dubna, 1973.
4. CERN - Serpukhov Collaboration. Phys.Lett., 30, 500, 1969.
5. A.B.V.C.S.H.W. Collaboration. CERN /D.Ph. II/ Phys. 72-45, 1972.
6. D.R.O.Morrison. CERN /D.Ph. II/Phys. 72-19, 1972.
7. British - Scandinavian Collaboration, report to be presented at XVth Int. Conf. on High Energy Physics, Batavia, 1972.

Рукопись поступила в издательский отдел
27 апреля 1973 года.