

A-646

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



18/11-74

1-8064

4494/2-74

ИМПУЛЬСНЫЕ И УГЛОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
 π^-p -ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ
ПРИ ИМПУЛЬСЕ 40 ГЭВ/С

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

1974

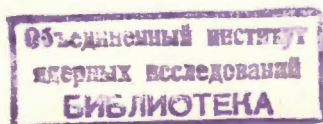
ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

1-8064

**ИМПУЛЬСНЫЕ И УГЛОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
 π^- р -ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ
ПРИ ИМПУЛЬСЕ 40 ГЭВ/С**

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

Направлено в ЯФ



Н. Ангелов, К. П. Вишневская,¹ В. Г. Гришин, Л. А. Диденко,¹
И. А. Ивановская, Ш. В. Иногамов, Т. Канарек,
Е. Н. Кладницкая, Дж. М. Кохли,² В. Б. Любямов,
Н. Н. Мельникова, В. С. Мурзин,¹ В. Ф. Никитина, В. М. Попова,¹
М. Сабэу, Л. И. Сарычева,¹ А. Н. Соломин,¹ П. М. Суд,²
Х. И. Семерджиев,¹ Л. Н. Смирнова,¹ М. И. Соловьев,
Э. Я. Супичаков, Ю. В. Тевзадзе, Н. Г. Фадеев,
Э. Т. Цивцивадзе, Л. М. Щеглова,¹ Г. Янчо, Т. Я. Иногамова

Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

Т. Гемеш, Л. Йеник, Д. Кеш, Ш. Красновски, Д. Пинтер,
М. Пош, К. Хайду, В. Яноши

Центральный институт физических исследований,
Будапешт

О. Балеа, В. Болдеа, Т. Понта, С. Фелеа

Институт атомной физики, Бухарест

Е. Бналковска, В. Вуйцик, Я. Гаевски, М. Гурски,
Р. Гокнеля, Р. Сосновски

Институт ядерных исследований и Институт физики
Варшавского университета, Варшава

Л. Анела, Е. Бартке, А. Квятковска, Г. Рудницка,
К. Эскрейс

Институт ядерной физики и Институт ядерной техники,
Краков

Н. О. Ахабабян, Н. П. Иков, П. П. Керачев, П. К. Марков,
В. Н. Пенев, А. И. Шкловская, Л. Грекова

Институт ядерных исследований и ядерной энергетики
и Машинно-электротехнический институт, София

К. Н. Абдулаева, М. Азимова, С. А. Азимов,
Ю. Ахмеджанова, К. Р. Игамбердиев, С. Л. Лутфулаев,
Х. А. Ризаев, Е. И. Трунова, Т. М. Усманов, А. А. Юлдашев,
Б. С. Юлдашев, В. Д. Липин

Физико-технический институт АН Уз.ССР, Ташкент

Л. Н. Абесалашвили, Н. С. Амаглобели, М. Т. Куталия,
Д. В. Герсамия, М. А. Дасаева, Р. Г. Салуквадзе,
М. С. Чаргейшвили, Л. В. Чхаидзе

Тбилисский государственный университет

Ц. Баатар, Д. Тувдендорж, Б. Чадраа

Институт физики и математики МАН, Улан-Батор

Нгуен Дин Ты

Ханойский университет, Ханой

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

Институт физики высоких энергий АН КазССР, Алма-Ата

¹ Физический факультет и научно-исследовательский
институт ядерной физики МГУ

² Физический факультет Пенджабского университета

1. ВВЕДЕНИЕ

Импульсные и угловые распределения вторичных частиц существенны для понимания динамики взаимодействия. Однако этим их значение не исчерпывается. Весьма важны эти распределения при проведении расчетов ядерных каскадов внутри ядра в плотных веществах и в атмосфере Земли.

При изучении адронных столкновений в последнее время результаты представляют в переменных x /переменная Фейнмана/, y /быстрота/ и др. Вместе с тем практически отсутствуют данные о распределении полных импульсов в L и C -системах.

В нашей работе мы попытаемся ликвидировать этот пробел. Рассматриваются реакции $\pi^-p \rightarrow \pi^+p$ и $\pi^-p \rightarrow \gamma$ при начальном импульсе пионов 40 ГэВ/с . Экспериментальные данные получены с помощью пропановой пузырьковой камеры, облученной на ускорителе в Серпухове. Метод выделения неупругих столкновений и другие методические вопросы рассмотрены в работах /1,2/.

Для анализа вторичных заряженных мезонов использованы 2060 событий /5222 π^\pm -мезона, 5675 π^- -мезонов/. Спектры γ -квантов получены при измерении 2044 событий с γ -квантами /3446 фотонов/.

В работе /3/ рассматривались спектры для событий с $p_\pm \geq 6$. Здесь анализируются события с $p_\pm \geq 2$. Импульсные спектры даются в расчете на одно событие.

2. РАСПРЕДЕЛЕНИЯ В L-СИСТЕМЕ

а/ Импульсные спектры

Импульсные спектры для различных вторичных частиц в L-системе представлены на рис. 1 а, б/ для неупругих π^-p -столкновений. По оси ординат представ-

лена величина $\frac{dN}{dP_{\text{лаб.}}} = \frac{1}{N_{\text{зв.}}} \frac{dN}{dP_{\text{лаб.}}}$, где N - полное число

частиц данного знака, $N_{\text{зв.}}$ - число событий, $P_{\text{лаб.}}$ - импульс частицы в лабораторной (L) системе. Экспериментальные спектры удается аппроксимировать суммой двух или трех экспонент:

$$y = \frac{dN}{dP_{\text{лаб.}}} = \sum_{i=1}^k A_i e^{-P_{\text{лаб.}}/b_i}, \quad (k = 2, 3). \quad /1/$$

В табл. 1 приведены найденные значения констант в аппроксимационных выражениях /1/ для разных реакций и величина χ^2 , деленная на n степеней свободы /использовалось от 40 до 60 точек/.

Спектр π^- -мезонов более жесткий, чем остальные. Спектры π^- -мезонов и фотонов хорошо аппроксимируются тремя экспонентами, в то время как спектр π^+ -мезонов удовлетворительно можно описать двумя экспонентами. Сложная структура спектров вторичных пионов есть отражение механизмов их генерации. Самый пологий участок в спектре π^- -мезонов связан с эффектом лидирования. Два других участка, присутствующие как в спектре π^- , так и в спектре π^+ -мезонов, обусловлены, по-видимому, механизмом асимметричного рождения /4/ и пионизации. Вид спектров вблизи кинематического предела искажен из-за погрешностей в измерении импульсов частиц, близких к импульсу первичного пиона. Для π^- -мезонов измеренный импульс в 1% превысил 50 ГэВ/с. В этих случаях проводилось "редактирование" импульсов. "Редактирование" состояло в том, что частице приписывалось значение импульса, определенное из равенства:

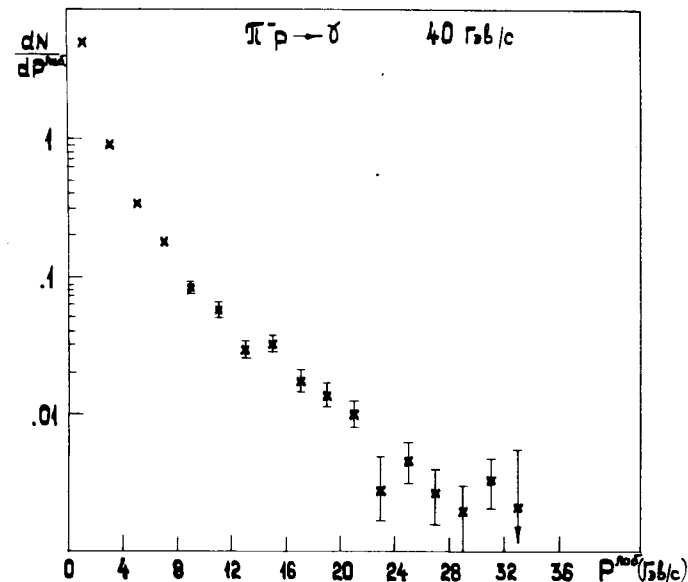
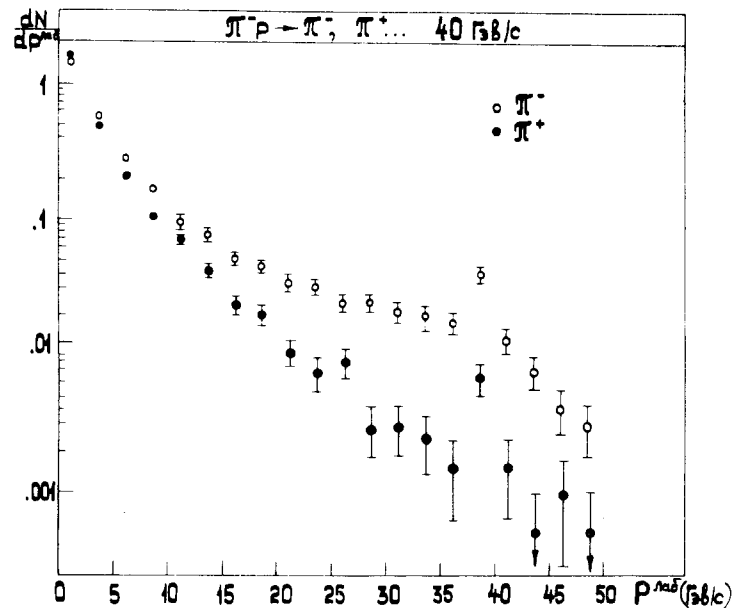


Рис. 1. Импульсные спектры вторичных частиц в π^-p взаимодействиях в лабораторной системе координат: а/ для π^\pm -мезонов, б/ для фотонов.

Таблица 1

Тип реакции	A_1 (ГэВ/с) ⁻¹	b_1 ГэВ/с	A_2 (ГэВ/с) ⁻¹	b_2 ГэВ/с	A_3 (ГэВ/с) ⁻¹	b_3 ГэВ/с	χ^2/n
$\pi^- p \rightarrow \pi^-$	$0,57 \pm 0,17$	$1,48 \pm 0,39$	$0,39 \pm 0,16$	$4,09 \pm 1,01$	0,04	$25,3 \pm 10,9$	$1,15 = \frac{38,0}{33}$
$\pi^- p \rightarrow \pi^+$	$0,86 \pm 0,017$	$1,6 \pm 0,08$	0,14	$5,84 \pm 0,30$	-	-	$1,50 = \frac{51}{34}$
$\pi^- p \rightarrow \gamma$	$0,69 \pm 0,07$	$0,33 \pm 0,05$	$0,27 \pm 0,07$	$1,04 \pm 0,16$	0,04	$3,86 \pm 0,26$	$1,59 = \frac{70}{44}$

$$P = 40 \text{ ГэВ/с} - \sum_{i=1}^{n-1} P_i,$$

где P_i - измеренные импульсы частиц в событии. Из-за неучета нейтральных частиц и некоторых других эффектов редактирование может приводить к искажению формы спектра. На рис. 2 и 3 показаны импульсные спектры π^- -мезонов без "редактирования".

б/ Спектры продольных импульсов

На рис. 4а,б показаны продольные импульсы π^\pm -мезонов и фотонов в L-системе. Эти спектры, как и спектры полных импульсов, не удастся описать экспоненциальным законом во всем интервале. Сравнение рис. 1 и 2 показывает, что спектры полных и продольных импульсов в L-системе практически одинаковы.

в/ Спектры поперечных импульсов

Распределения поперечных импульсов, полученные для пионов и фотонов, показаны на рис. 5 при $P_\perp < 1,5 \text{ ГэВ/с}$. Спектры отрицательных и положительных пионов несколько различаются / $\chi^2 = 48$ при 19 степенях свободы/. Это сказывается и на величине средних значений поперечных импульсов.

г/ Угловые распределения в L-системе

В L-системе вторичные частицы резко коллимированы по направлению движения налетающего пиона из-за кинематических эффектов. Однако степень коллимации отрицательных пионов больше, чем положительных. Это объясняется существованием лидирующего π^- -мезона /см. §3, в/, вылетающего под углом с $\cos \theta \approx 0,99$ /рис. 6а,б/.

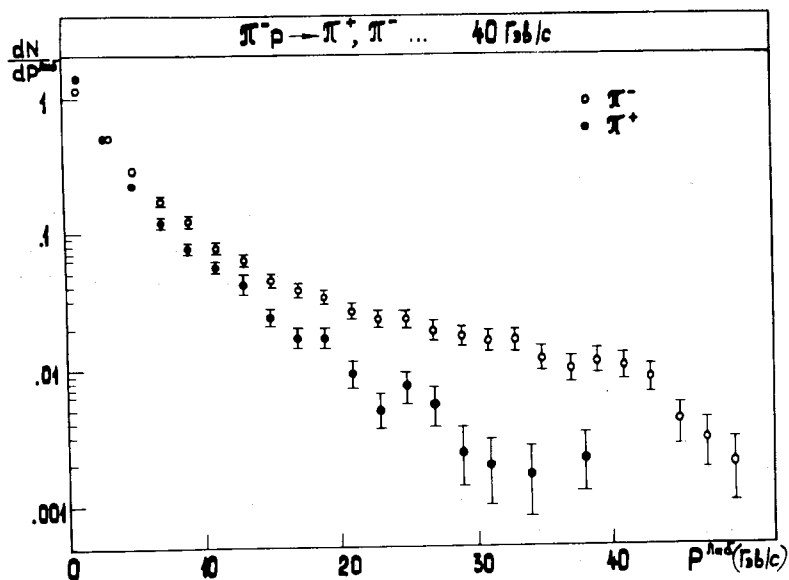


Рис. 2. Импульсные спектры вторичных частиц из π^-p -столкновений в L-системе без "редакции"

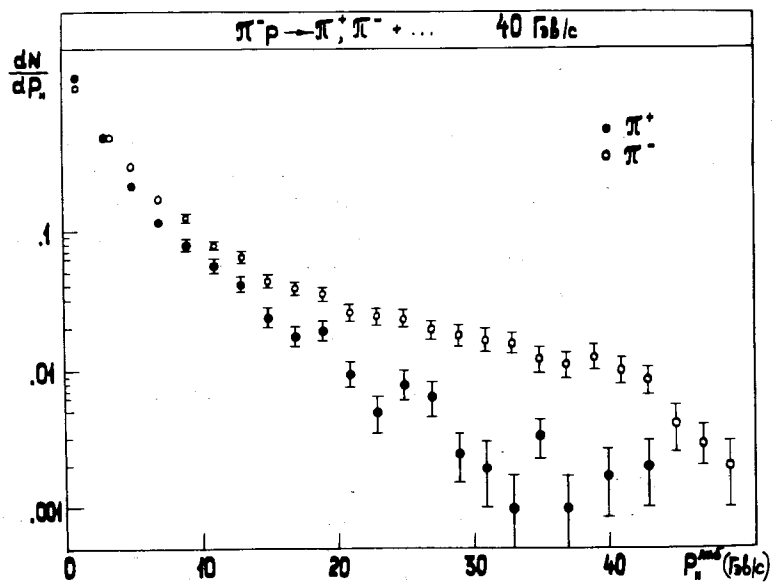


Рис. 3. Распределение продольных импульсов вторичных частиц в L-системе без "редакции".

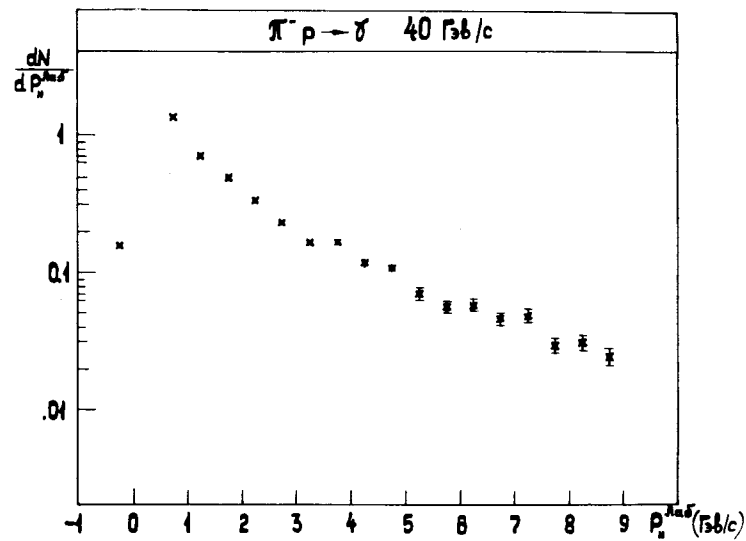
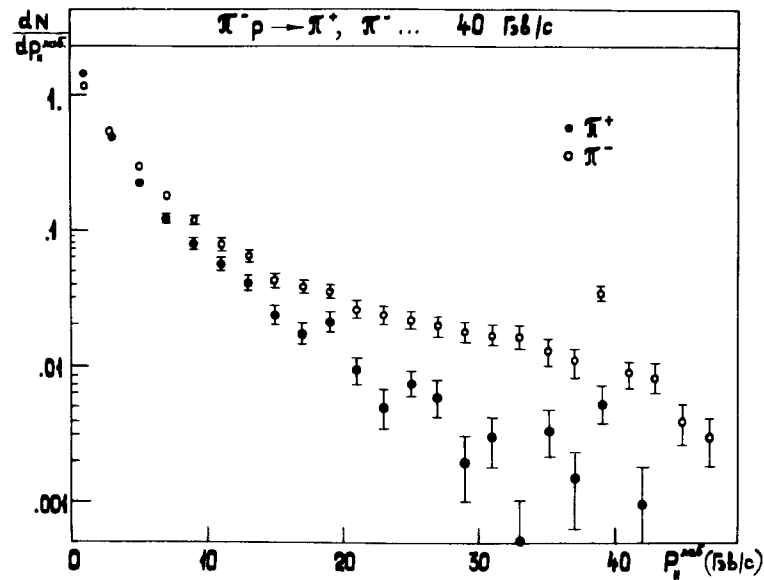


Рис. 4. Распределение продольных импульсов вторичных частиц в L-системе а/ для π^\pm -мезонов, б/ для фотонов.

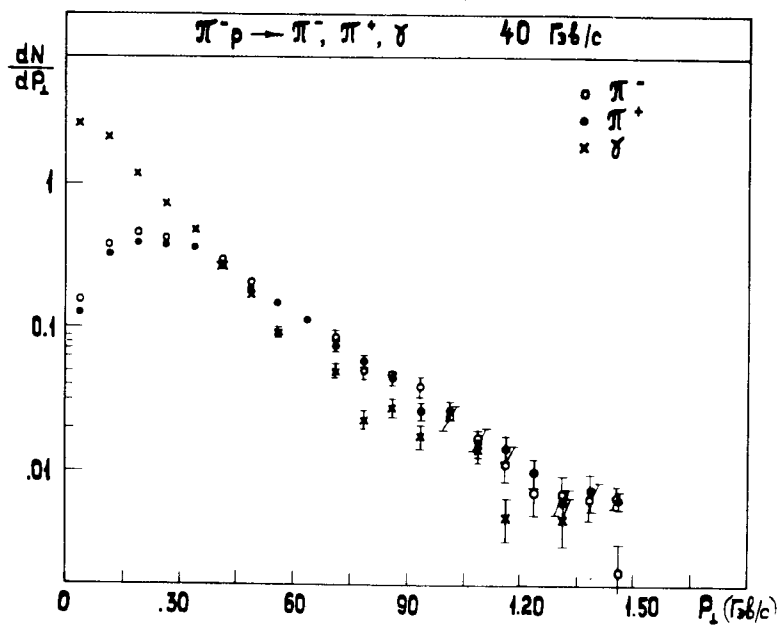


Рис. 5. Распределение поперечных импульсов вторичных частиц.

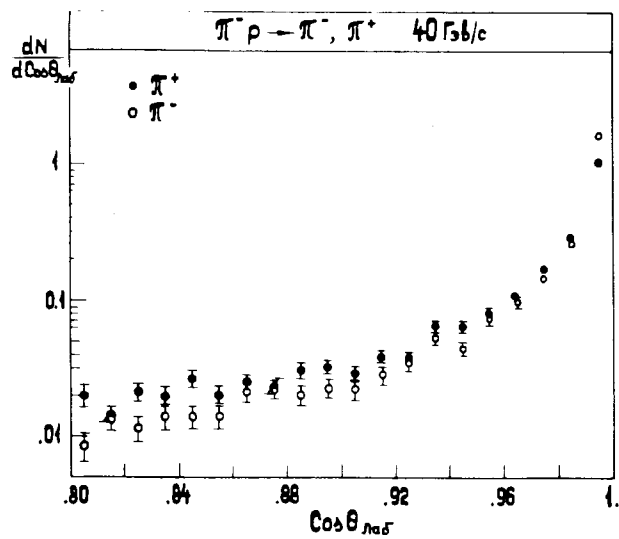


Рис. 6а

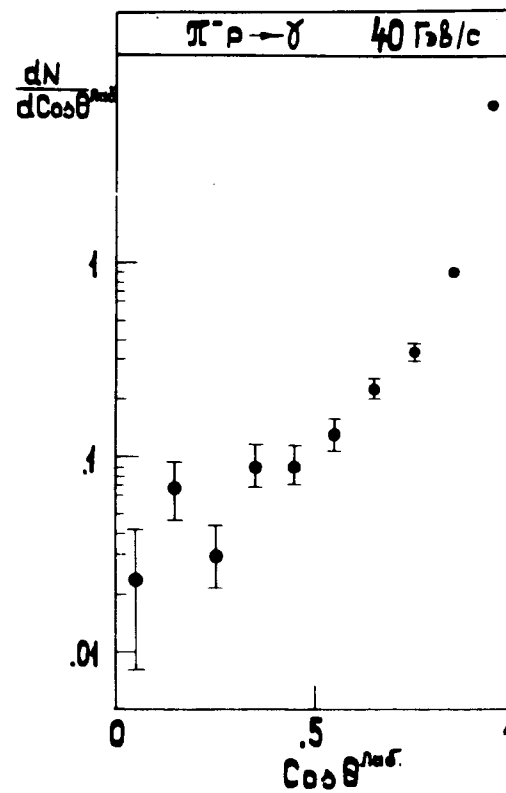


Рис. 6б

Рис. 6а,б. Угловые распределения вторичных частиц в π^-p взаимодействиях и в лабораторной системе: а/ для π^\pm -мезонов; б/ для фотонов. Имеется 25 фотонов, вылетающих назад.

§3. РАСПРЕДЕЛЕНИЯ В С И S-СИСТЕМАХ

Рассмотрим распределения в С-системе - системе центра масс сталкивающихся частиц и в S-системе /4/: S-система определяется из условия $\sum_{i=1}^n P_i S = 0$,

где суммирование производится по всем заряженным частицам, за исключением протона, π^- -мезона /если он имел наибольшую энергию/ и π^+ -мезона наименьшей энергии в случаях, где не было идентифицированного протона.

а/ Распределение полных импульсов

На рис. 7а,б представлены распределения полных импульсов вторичных π^\pm -мезонов и γ -квантов в С-системе. Края этих импульсных спектров несколько искажены. В области малых значений импульсов пионов - за счет возможной примеси неидентифицированных протонов, в области больших импульсов - из-за погрешностей измерения импульсов частиц /см. §2,а/.

Была предпринята попытка аппроксимировать импульсные спектры пионов распределением Планка в виде /5/

$$y = \frac{1}{F(z)} \frac{P^{*2}}{e^z \sqrt{P^{*2} + m_\pi^2} - 1}; \quad F(z) = \sqrt{\frac{\pi}{z}} e^{-z} \frac{1}{z} \left(1 + \frac{15}{18} \frac{1}{z}\right),$$

параметр $z = \frac{1}{T}$, m_π - масса пиона, T - температура системы. В табл. 2 представлены наилучшие /по χ^2 / значения параметров z для импульсных распределений в С-и S-системах для спектров π^+ и π^- частиц.

Из таблицы видно, что инклюзивные импульсные распределения в С-системе не удается описать функцией Планка. Чтобы проверить, не связано ли это с коллективным движением пионов, были определены импульсные спектры частиц в собственной системе /S-системе/, которые снова аппроксимировались функцией Планка. Результаты аппроксимаций приведены в табл. 3 и показывают, что и в S-системе планковское распределение также не описывает импульсные спектры, хотя значения

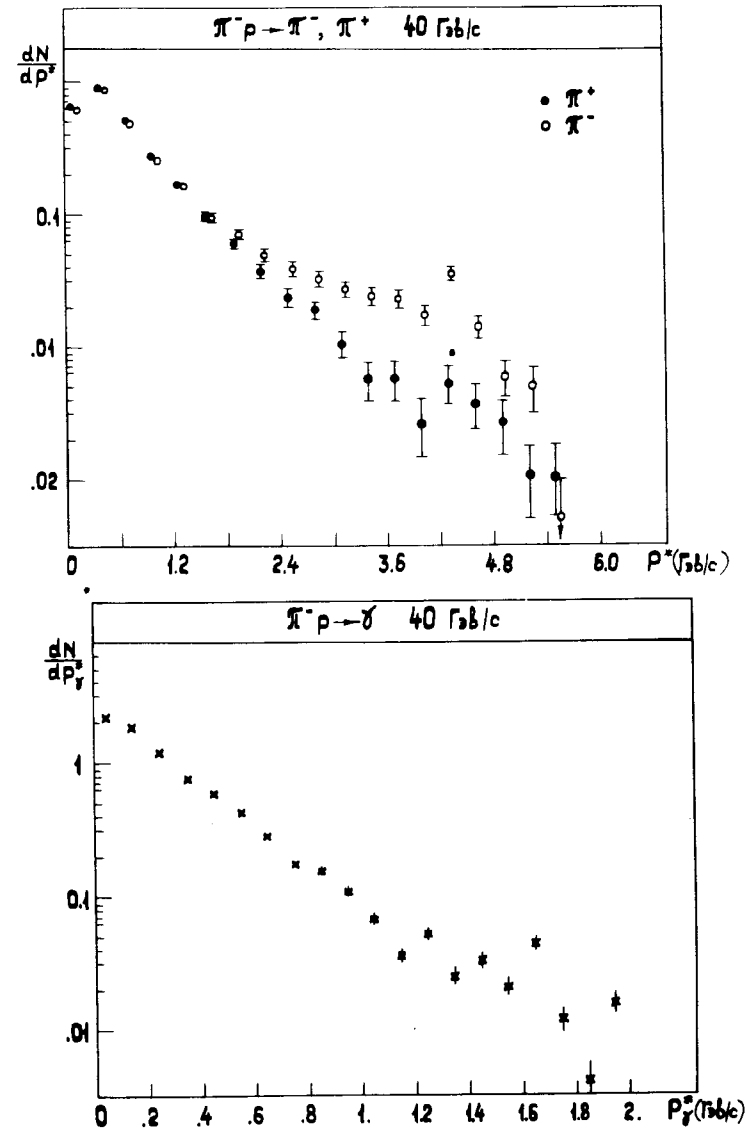


Рис. 7. Распределение полных импульсов вторичных частиц в π^-p взаимодействиях в С-системе. а/ Для π^\pm -мезонов, б/ для фотонов.

Таблица 2

	С -система		S -система	
	z	χ^2/n	z	χ^2/n
π^-	$4,46 \pm 0,05$	$\frac{418}{16} = 26$	$5,27 \pm 0,06$	$\frac{150}{31} = 4,8$
π^+	$4,46 \pm 0,05$	$\frac{780}{17} = 46$	$6,42 \pm 0,07$	$\frac{163}{27} = 6,0$

χ^2/n меньше, чем в первом случае. На рис. 8 приводятся импульсные спектры π^\pm -мезонов в S -системе и распределения Планка при нескольких значениях параметра z .

б/ Продольные импульсы

В связи с ограниченностью и независимостью от энергии распределений и средних значений P_\perp /до энергий в несколько сот ГэВ/ основную информацию о взаимодействии несут продольные составляющие импульсов. Распределение продольных составляющих импульсов различных частиц представлено на рис. 9а,б.

в/ Спектры лидирующих пионов

Характерной особенностью представленных спектров является их различие для π^+ и π^- -мезонов. Это различие связано с присутствием лидирующих /сохранившихся/ отрицательных пионов. Таким образом, лидированием здесь мы называем процесс преимущественного сохранения энергии на частице той же природы, что и первичная частица. Можно получить импульсное распределение этих пионов, вычитая из спектра отрицательных пионов спектр положительных. На рис. 10 показан результат такого вычитания. Из представленного распределения следует, что число лидирующих пионов равно $\langle n_L \rangle = 0,25 \pm 0,05$, т.е. не в каждом столкновении возникает заряженный лидирующий пион.

г/ Угловые распределения

Угловые распределения пионов и фотонов в С -системе представлены на рис. 11. В распределении продольных импульсов проявляется эффект сохранения π^- -мезонов, тогда как π^+ мезоны и фотоны разлетаются практически симметрично в С-системе.

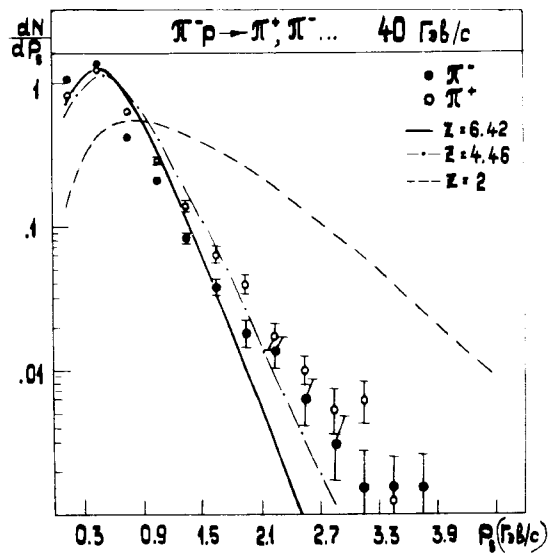


Рис. 8. Импульсные спектры π^+ -мезонов в S-системе и распределения Планка при нескольких значениях параметра z .

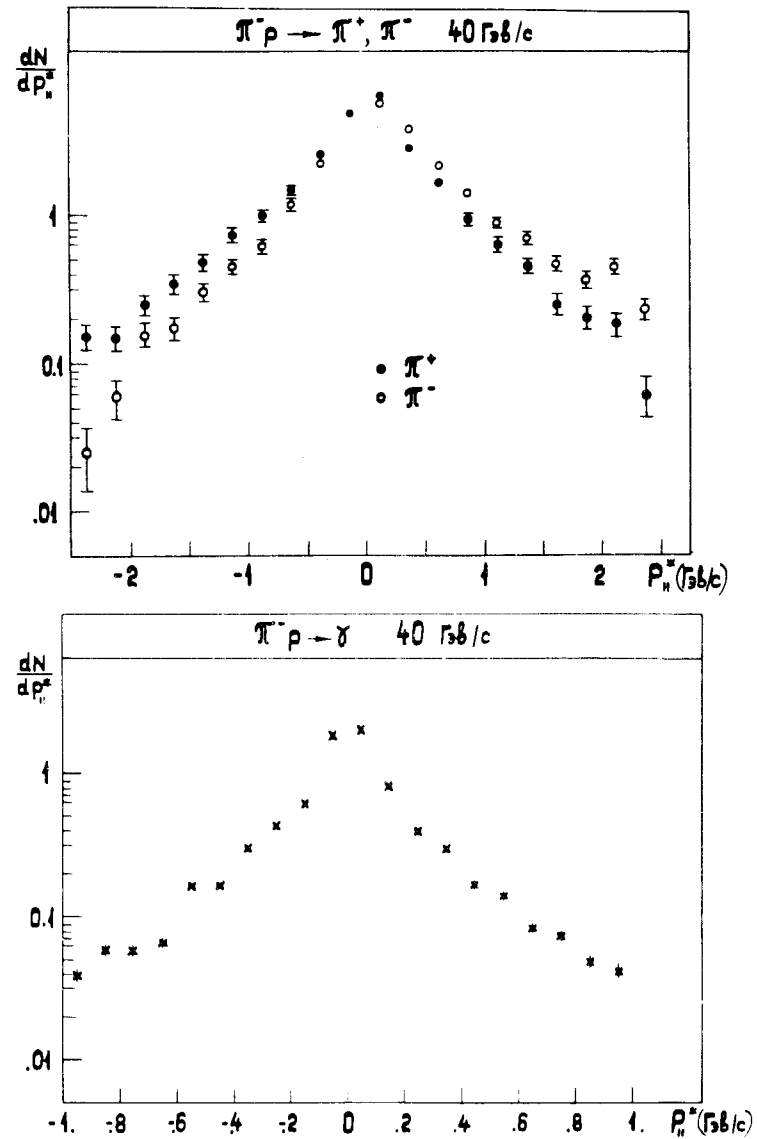


Рис. 9. Распределение продольных импульсов вторичных частиц в $\pi^- p$ взаимодействиях в S-системе: а/ для π^+ -мезонов, б/ для γ -квантов.

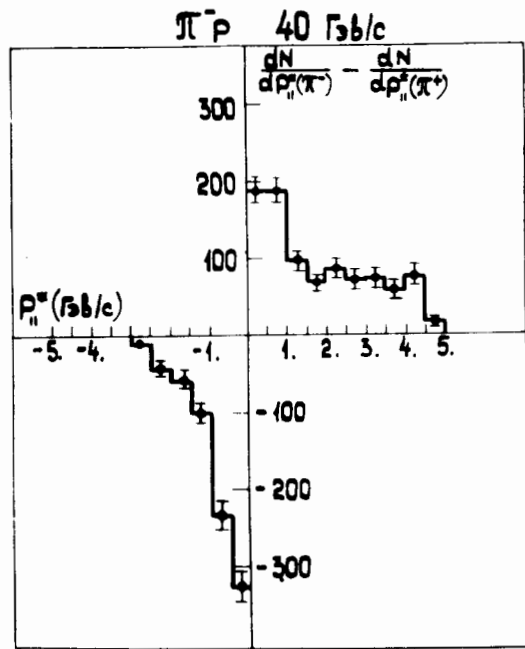


Рис. 10. Разность спектров продольных импульсов π^- и π^+ -мезонов в С-системе. Избыток π^- над π^+ -мезонами в передней полусфере связан с эффектом "сохранения". Недостаток π^- -мезонов по сравнению с π^+ в задней полусфере - следствие эффекта перезарядки $p \rightarrow n$.

Таблица 3

	π^-	π^+	γ
$\langle P_L \rangle$, ГэВ/с	$6,148 \pm 0,116$	$3,449 \pm 0,068$	$1,612 \pm 0,048$
L-система $\langle P_L^{\parallel} \rangle$, ГэВ/с	$6,095 \pm 0,117$	$3,370 \pm 0,069$	$1,580 \pm 0,048$
$\langle P_L^{\perp} \rangle$, ГэВ/с	$0,368 \pm 0,004$	$0,379 \pm 0,004$	$0,166 \pm 0,003$
$\langle \cos \theta_L \rangle$	$0,922 \pm 0,003$	$0,883 \pm 0,003$	$0,883 \pm 0,005$
$\langle P_c \rangle$, ГэВ/с	$0,897 \pm 0,012$	$0,733 \pm 0,009$	$0,320 \pm 0,009$
C-система $\langle P_c^{\parallel} \rangle$, ГэВ/с	$0,374 \pm 0,019$	$-0,053 \pm 0,018$	$0,027 \pm 0,007$
$\langle \cos \theta_c \rangle$	$0,235 \pm 0,009$	$-0,010 \pm 0,009$	$0,081 \pm 0,012$

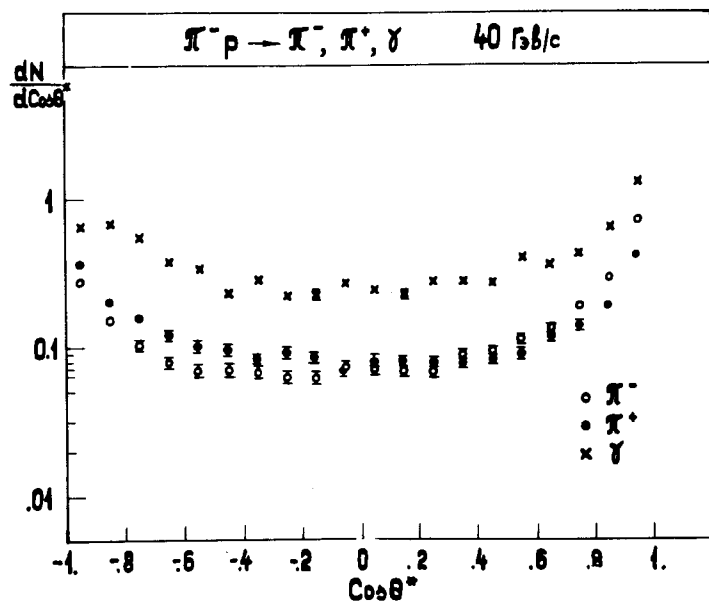


Рис. 11. Угловые распределения вторичных частиц в С-системе.

§4. СРЕДНИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Средние характеристики импульсных и угловых распределений в L и С-системах для π^\pm -мезонов и фотонов представлены в табл. 3.

Средние значения поперечных импульсов определены в интервале $0 \div 3$ ГэВ/с. Остальные значения приведены для полного интервала.

В табл. 5,6,7,8,9,10 приведены экспериментальные данные о спектрах импульсов π^\pm -мезонов и фотонов в L, С и S-системах.

Литература

1. Сотрудничество Будапешт - Бухарест - Варшава - Дубна - Краков - Серпухов - София - Ташкент - Тбилиси - Улан-Батор - Ханой. Препринт ОИЯИ, P1-6277, Дубна, 1972. Phys. Lett., 39B, No. 4, 571, 1972.
2. А.У.Абдурахимов, Н.Ангелов, В.А.Беляков и др. Сообщения ОИЯИ, P1-6326, Дубна, 1972.
3. А.У.Абдурахимов, Н.Ангелов, К.П.Вишневская и др. Препринт ОИЯИ, P1-7680, Дубна, 1973.
4. А.У.Абдурахимов, Н.Ангелов, К.П.Вишневская и др. ЖЯФ, т. 19, в. 1, 103, 1974.
5. С.А.Славатинский. Труды ФИАН, т. 4В, 40, 1970. Изд-во "Наука", Москва.

Рукопись поступила в издательский отдел
3 июля 1974 года.