

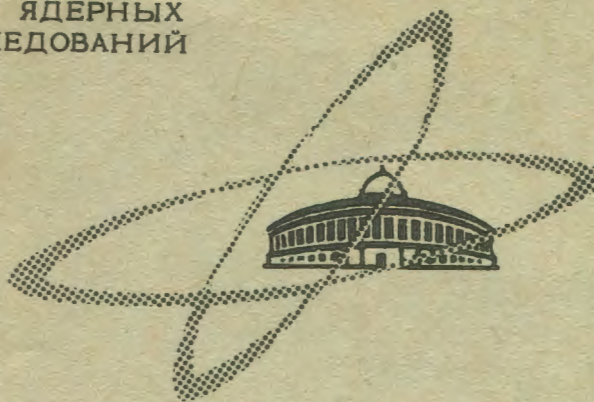
Б-232

9/1x

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

1 - 3912



УФ 9,1025 (1969)

Б.П.Банник, А.А.Кузнецов, Н.Н.Мельникова,
Б.Чадраа

КОРРЕЛЯЦИИ МЕЖДУ ПРОДОЛЬНЫМИ
И ПОПЕРЕЧНЫМИ КОМПОНЕНТАМИ
ИМПУЛЬСОВ ВТОРИЧНЫХ ЧАСТИЦ,
РОЖДЕННЫХ В Π -р-ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ
ПРИ 4,0 ГЭВ/С

ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

1968

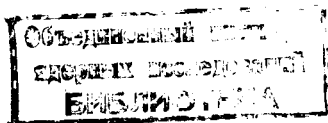
1 - 3912

7416/2 чф.

Б.П.Банник, А.А.Кузнецов, Н.Н.Мельникова,
Б.Чадраа

КОРРЕЛЯЦИИ МЕЖДУ ПРОДОЛЬНЫМИ
И ПОПЕРЕЧНЫМИ КОМПОНЕНТАМИ
ИМПУЛЬСОВ ВТОРИЧНЫХ ЧАСТИЦ,
РОЖДЕННЫХ В П^р-ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ
ПРИ 4,0 ГЭВ/С

Направлено в ЯФ



1. Введение

Исследуя различные характеристики вторичных частиц, можно получить важные сведения о внутренней структуре сталкивающихся частиц и механизме взаимодействия при высоких энергиях. В частности, свойства величин поперечного (p_{\perp}) и продольного (p_{\parallel}) импульсов вторичных частиц, а также их поведение в зависимости от различных параметров (множественности заряженных частиц, энергии первичной частицы, массы частиц и т.д.) являются важнейшими характеристиками множественного рождения частиц в неупругих взаимодействиях.

В данной работе изучались импульсные характеристики вторичных частиц, образующихся в реакциях:

$$\pi^{-} p \rightarrow \Lambda K m \pi, \quad (1)$$

$$\pi^{-} p \rightarrow K \bar{K} N m \pi, \quad (2)$$

где $m \geq 0$.

Реакции (1) и (2) регистрировались с помощью 24-литровой пропановой пузырьковой камеры ЛВЭ, облученной π^{-} -мезонами с импульсом $(4,00 \pm 0,06)$ Гэв/с /1/.

В работе использовалось всего 126 тыс. снимков с этой камеры.

При просмотре фотографий отбирались случаи взаимодействий, сопровождающиеся рождением V^0 -частиц и обладающие рядом признаков, свойственных $\pi^{-} p$ -взаимодействиям в пропане /2/. Средняя эффективность просмотра равнялась $(96 \pm 3)\%$. Методы идентификации и обработки V^0 -событий были описаны ранее /3/.

В результате измерений и идентификации было выделено 1963 случая реакций типа (1) и (2).

2. Распределения поперечных и продольных импульсов вторичных частиц

Распределения поперечных импульсов для Λ -гиперонов, K^0 и π -мезонов, образованных в реакциях (1) и (2), представлены на рис.1. В табл. 1 приведены величины средних значений поперечных импульсов (\bar{p}_\perp) этих частиц в зависимости от множественности рождения (n_s) заряженных частиц.

На рис.1 обращает на себя внимание сходство форм распределений поперечных импульсов для частиц разной массы. Как оказалось, эти распределения лучше всего было описать единым выражением вида

$$W(p_\perp, \bar{p}_\perp) = \frac{2 p_\perp}{\bar{p}_\perp} e^{-\frac{p_\perp^2}{\bar{p}_\perp^2}} \quad (3)$$

Из табл. 1 можно видеть, что средние поперечные импульсы вторичных частиц в пределах ошибок не зависят (во всяком случае слабо зависят) от n_s . В то же время можно заметить, что средний поперечный импульс вторичной частицы зависит от ее массы.

Одним из возможных объяснений зависимости \bar{p}_\perp от массы частицы считается образование частиц через промежуточные состояния /4/. В этом случае при распаде таких состояний более тяжелая частица уносит, в среднем, больший импульс.

Если при объяснении указанной зависимости исходить из соображений о структуре нуклона, то можно видеть, что образование тяжелых частиц, по-видимому, связано с меньшими пространственными областями, чем образование π -мезонов. Используя полученные экспериментальные данные, можно было оценить размеры области взаимодействия:

$$(\bar{r}^2)^{\frac{1}{2}} = (0,46 \pm 0,02) \cdot 10^{-13} \text{ см.}$$

Как можно заметить, эта область имеет примерно такие же размеры, как и ядерный радиус частиц, полученный из анализа опытов по упругому рассеянию /5/.

Сравнивая полученные результаты относительно $(\bar{r}^2)^{1/2}$ с величиной, полученной при более высоких энергиях для πp - и $p p$ -взаимодействий /5/, можно видеть, что в пределах экспериментальных ошибок величина $(\bar{r}^2)^{1/2}$ не зависит от типа и энергии сталкивающихся частиц.

Распределения продольных импульсов ($p_{||}$) для Λ -гиперонов, K^0 - и π -мезонов в с.д.м. представлены на рис.2. Из этих распределений следует, что образовавшиеся Λ -гипероны вылетают в основном с большими $p_{||}$ в заднюю полусферу, а K^0 и π -мезоны - с меньшими импульсами - вперед.

Зависимость средней величины продольного импульса ($\bar{p}_{||}$) частиц от их массы и множественности рождения (n_{\pm}) заряженных частиц показана в табл. 1.

Используя экспериментальные данные о $p_{||}$ и p_{\perp} импульсах Λ -гиперонов, можно было установить, что отношение дисперсий продольного $(\Delta p_{||})^2$ и поперечного $(\Delta p_{\perp})^2$ импульсов согласуется с величиной лоренцевского сжатия области взаимодействия, а именно: для всех Λ -гиперонов, независимо от множественности рождения, отношение лоренц-фактора π -р системы $\gamma = 2 \frac{(\Delta p_{||})^2}{(\Delta p_{\perp})^2}$ к лоренц-фактору этой же системы, вычисленной по формуле $\gamma_0 = (1 - \beta_0^2)^{-1/2}$ где β_0 - скорость центра масс, получилось равным величине:

$$\gamma / \gamma_0 = (1,23 \pm 0,16).$$

Таким образом, в пределах ошибок лоренц-факторы γ и γ_0 оказались одинаковыми. Этот результат может служить указанием на сохранение сокращенного размера области взаимодействия в процессе столкновения π -мезона с протоном.

Следует отметить, что сохранение величины γ / γ_0 может характеризовать степень экспериментального обоснования феноменологического использования в различных статистических теориях неупругих взаимодействий коэффициента $1/\gamma_0$ - продольного лоренцевского сжатия области взаимодействия.

3. Корреляции между продольными и поперечными составляющими импульсов вторичных частиц

При изучении π^-p - взаимодействий с большой множественностью рождения пионов ($n_p \geq 4$) (но без образования странных частиц) в ряде работ^{/6-8/} была обнаружена сильная корреляция поперечной и продольной компонент импульсов π^- -мезонов в с.п.м.: было показано, что π^- -мезоны с малыми продольными импульсами имеют малые поперечные импульсы. Физический смысл этих корреляций до сих пор еще не установлен. Например, остается не выясненным, обусловлена ли эта зависимость целиком законами сохранения энергии и импульса или в ее основе лежит определенная физическая закономерность другого характера. Кроме того, не известно, характерна ли указанная корреляция только для π^- -мезонов или она имеет место также и для других частиц, зависит или она от типа реакций, множественности частиц, энергии первичной частицы и т.п. В этой ситуации представляет большой интерес дальнейшее изучение этого явления.

Ниже приводятся результаты изучения корреляции между продольными и поперечными компонентами импульсов для различных вторичных частиц, образующихся в π^-p -взаимодействиях, когда в этих же взаимодействиях рождаются странные частицы.

На рис.3 приведено двумерное распределение p_{\perp} и p_{\parallel} для π^- -мезонов, образующихся в 2- и 4-лучевых звездах. По этому распределению можно обнаружить существование корреляции между p_{\perp} и p_{\parallel} : π^- -мезоны с малыми p_{\parallel} имеют, как правило, меньшие p_{\perp} импульсы.

На рис.4 для π^- -мезонов приведены величины \bar{p}_{\perp} , усредненные по интервалам продольной компоненты импульсов. Для получения примерно одинаковых относительных ошибок интервалы по p_{\parallel} подбирались так, чтобы в них попадало приблизительно равное число π^- -мезонов. Как можно видеть на рис.4, в полученном распределении корреляции между \bar{p}_{\perp} и p_{\parallel} проявляются более наглядно.

В интервале продольных импульсов - $0,6 \leq p_{\parallel} \leq 0,3$ методом χ^2 была оценена вероятность совпадения полученного распределения с прямой линией. Она оказалась меньше 0,1% ($n = 4$). Для π^- -мезонов с продольными импульсами, лежащими в интервале - $0,2 \leq p_{\parallel} \leq 0,2$, был определен коэффициент корреляции:

$$r = \frac{\overline{p_{\parallel} p_{\perp}} - \overline{p_{\parallel}} \overline{p_{\perp}}}{\left[(\overline{p_{\perp}^2} - \overline{p_{\perp}}^2) (\overline{p_{\parallel}^2} - \overline{p_{\parallel}}^2) \right]^{1/2}} \quad (4)$$

Оказалось, что он равен 0,51, это определенно указывает на наличие значительной корреляции между $\overline{p_{\perp}}$ и $\overline{p_{\parallel}}$ ^{x)}.

На рис.4(б) приведено двумерное распределение $\overline{p_{\perp}}$ и $\overline{p_{\parallel}}$ для π^- -мезонов из 4-лучевых звезд. Сравнивая распределения, приведенные на рис. 4(а) и 4(б), можно видеть, что как для 2-лучевых, так и для 4-лучевых звезд в распределениях наблюдается подобная структура - типа волны. Это, возможно, означает, что указанная структура в распределениях $\overline{p_{\perp}}$ и $\overline{p_{\parallel}}$ мало связана с какими-нибудь корреляциями между пионами в процессе множественного рождения пионов.

На рис.5 приведено распределение $\overline{p_{\perp}}$ и $\overline{p_{\parallel}}$ для K^0 -мезонов, образующихся в звездах с различной множественностью заряженных частиц ($n_{\pm} = 0, 2, 4$). Видно, что и для K^0 -мезонов наблюдается характерная структура распределения типа волны аналогично тому, как это наблюдалось для π^- -мезонов. Однако можно заметить, что волна для K^0 -мезонов выражена слабее, чем в случаях π^- -мезонов (особенно для K^0 -мезонов из 0-лучевых звезд).

На рис.6 приведено двумерное распределение продольной и поперечной компонент импульса для Λ^- -гиперонов. Видно, что в области малых значений $\overline{p_{\parallel}}$ указанной выше корреляции не наблюдается. Следует заметить, однако, что в случае Λ^- -гиперонов имеют место ошибки большие, чем в случаях π^- - и K^0 -мезонов.

Итак, анализ экспериментальных данных о π^-p -взаимодействиях с образованием странных частиц при импульсе 4,0 Гэв/с показывает следующее:

- 1) наблюдается заметная корреляция между продольными и поперечными компонентами импульсов π^- -мезонов;
- 2) эта корреляция наблюдается (хотя и слабее, чем у π^- -мезонов) также и у K^0 -мезонов;

^{x)} Отсутствие корреляции характеризуется значением $r=0$.

3) указанная корреляция имеет место не только в многоионных реакциях, но также и в реакциях с меньшим числом π -мезонов.

Если уменьшение p_{\perp} частиц при приближении их продольных импульсов к максимально возможным в с.ц.м. следует из закона сохранения импульса, то значительное уменьшение p_{\perp} при малых p_{\parallel} не имеет такого простого объяснения. Например, авторы работы /6,7/, исследуя π p - взаимодействия без образования странных частиц, пришли к выводу, что наблюдаемая в эксперименте корреляция между p_{\perp} и p_{\parallel} не может быть объяснена учетом фазового объема (по крайней мере количественно), а может служить указанием в пользу образования частиц через два промежуточных состояния. Авторы другой работы /8/, анализируя аналогичные экспериментальные данные, утверждают, что указанная корреляция между p_{\perp} и p_{\parallel} может быть описана фазовой кривой вполне удовлетворительно.

В связи с этим нами также была сделана попытка объяснить наблюдаемую корреляцию соответствующим фазовым объемом.

Расчет фазовых кривых проводился с помощью методики "случайных звезд", предложенной Г.И.Копыловым /9/. Следуя этой методике, можно в рамках закона сохранения импульса случайно разыграть 4-импульсы p_1, p_2, \dots, p_n системы частиц 1,2, . . . n и получить таблицу случайных звезд. Такие таблицы были сгенерированы для рассматриваемых реакций (1) и (2). С помощью этих таблиц и с учетом сечений различных реакций /3/ находились средние значения \bar{p}_{\perp} в определенных интервалах значений продольного импульса.

Результаты расчета для π -мезонов представлены на рис.7. На рисунке видно, что в области малых значений p_{\parallel} средние значения \bar{p}_{\perp} заметно уменьшаются так же, как на экспериментальной гистограмме (см. рис.4). Отсюда можно заключить, что наблюдаемая корреляция между p_{\parallel} - и \bar{p}_{\perp} -импульсами π -мезонов, во всяком случае частично, может быть описана фазовым объемом. Если, однако, рассмотреть экспериментальные распределения для других вторичных частиц (Λ -гиперонов и K^0 -мезонов), то оказывается, что корреляция не может быть объяснена статистической моделью. Действительно, в эксперименте, например, не наблюдается симметрии в распределениях по \bar{p}_{\perp} и p_{\parallel} для K^0 -ме-

зонов и Λ -гиперонов (в особенности для 0-лучевых событий). В связи с этим имеет смысл рассмотреть альтернативное статистической модели объяснение, не опирающееся на предположение об образовании единой возбужденной системы. Проще всего использовать модель бинарных реакций /10/.

Если π -мезоны образуются при распаде двух возбужденных систем, движущихся в противоположных направлениях, то из кинематических соображений следует ожидать корреляцию между \bar{p}_\perp и $p_{||}$: π -мезоны с малыми $p_{||}$ должны иметь также и малые p_\perp . Конечно, это будет иметь место при предположении, что обе возбужденные системы сохраняют первоначальные направления движения первичных частиц, а π -мезоны в с.ц.м. покоя этих систем распределяются изотропно. В нашем случае возбужденными системами могут быть, например, известные гиперонные и K -мезонные резонансы.

В заключение авторы приносят глубокую благодарность Г.И.Копылову за помощь в проведении расчетов, Ким Хи Ину и Э.Г.Бубелеву за обсуждение экспериментальных данных и ценные замечания, а также лаборантам В.Ф.Никитиной, Т.И.Борисовой, Е.А.Маклаковой, И.А.Первушиной и А.И.Соковниной, участвовавшим в измерениях.

Л и т е р а т у р а

1. Ван Ган-чан, М.И.Соловьев, Ю.Н. Шкобин. ПТЭ №1, 41 (1959).
2. Б.П.Банник, А.А.Кузнецов, Н.Н.Мельникова, Б.Чадраа. Препринт ОИЯИ, 1-3096, Дубна (1966).
3. Б.П.Банник, А.А.Кузнецов, Ким Хи Ин, Н.Н.Мельникова, Б.Чадраа. Препринт ОИЯИ 1-3682, Дубна (1968).
4. A. Bigi, S. Brandt et al. Nuovo Cimento, 33, 1265 (1964).
5. V.S. Barashenkov. Fortschritte d. Phys., 9, 29 (1961).
6. M. Bardadin, L. Michejda, et al. Repot N 511 /VI, Warsawa, (1964).
7. В.А.Беляков, Е.Н.Кладницкая, Е.С.Кузнецова и др. ЯФ, 5, 834 (1967).
8. M. Bardadin, L. Michejda, et al., Phys. Letters, 21, 351 (1966).

9. Г.И. Копылов, В.Е. Комолова. Препринт ОИЯИ, Р-2027, Дубна, 1964.
10. Э.Г. Бубелев. Труды XII Международной конференции по физике высоких энергий 1964 г., Дубна. Атомиздат, 1966, т.1, стр. 561; В.А. Беляков, Э.Г. Бубелев. Изв. АН СССР, 31, №9, 1491 (1967).

Рукопись поступила в издательский отдел
3 июня 1968 года.

Таблица I

Средние характеристики вторичных частиц

Вид час- тицы	Множ. рождения	заряженных частиц		
		0	2	3
\bar{P} (Мэв/с)	Λ	839 ± 17	723 ± 12	709 ± 35
\bar{P}_\perp (Мэв/с)	Λ	381 ± 16	378 ± 9	382 ± 21
	K^0	365 ± 11	363 ± 8	320 ± 22
	π^-		290 ± 7	245 ± 11
\bar{P}_\parallel (Мэв/с)	Λ	-686 ± 18	-343 ± 13	-465 ± 21
	K^0	333 ± 22	108 ± 15	-129 ± 25
	π^-		86 ± 10	5 ± 1
$\frac{n}{\bar{z}}$	Λ	$-0,73 \pm 0,04$	$20,66 \pm 0,04$	$-0,64 \pm 0,07$
	K^0	$0,50 \pm 0,05$	$0,25 \pm 0,04$	$-0,12 \pm 0,01$
	π^-		$0,23 \pm 0,04$	$0,11 \pm 0,02$

\bar{P} , \bar{P}_\perp , \bar{P}_\parallel - средний полный, поперечный и продольный импульс в с.ц.м.

$\frac{n}{\bar{z}} = \frac{N_+ - N_-}{N_+ + N_-}$, где N_+ и N_- - число частиц, вылетающих в переднюю и заднюю полусферу в с.ц.м.

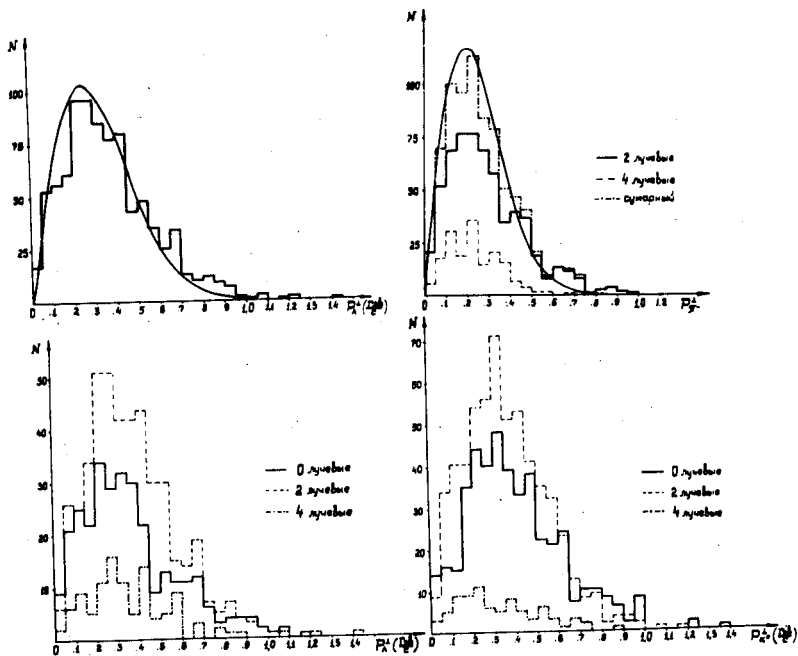


Рис.1. Распределения поперечных импульсов вторичных частиц. Сплошная линия - расчет по формуле (1).

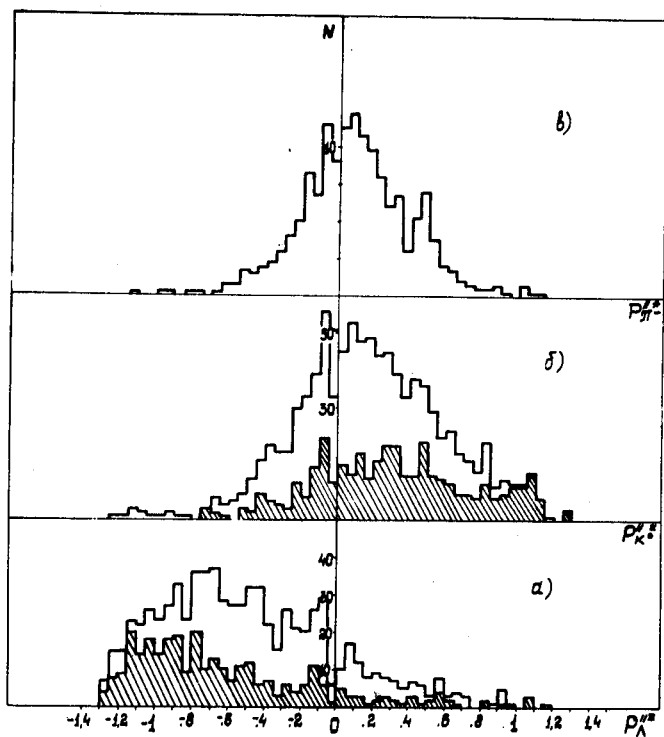


Рис.2. Распределения продольных импульсов вторичных частиц. Заштрихованы события с $n_s = 0$.

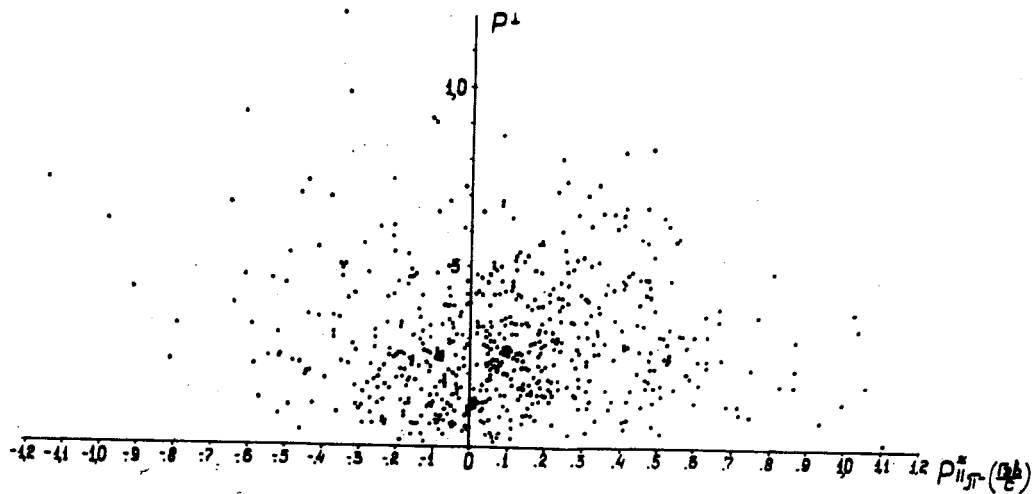


Рис.3. Распределение поперечного и продольного импульсов π^- -мезонов в с.ц.м.

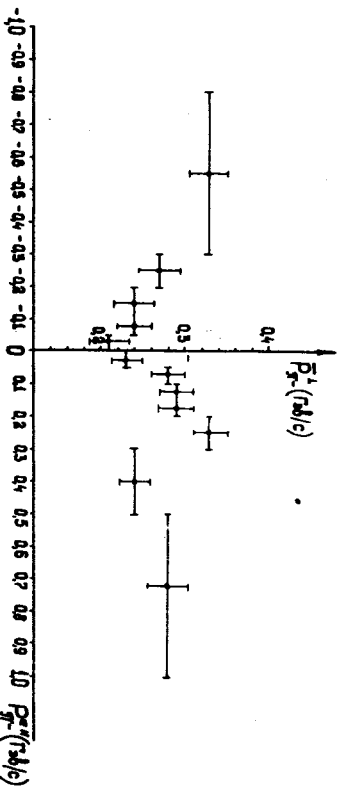
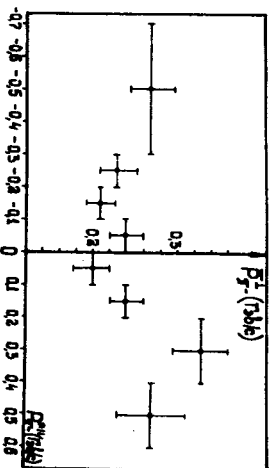


Рис.4. Зависимость среднего поперечного импульса P_T^- - мезона от его продольного импульса в с.ц.м.

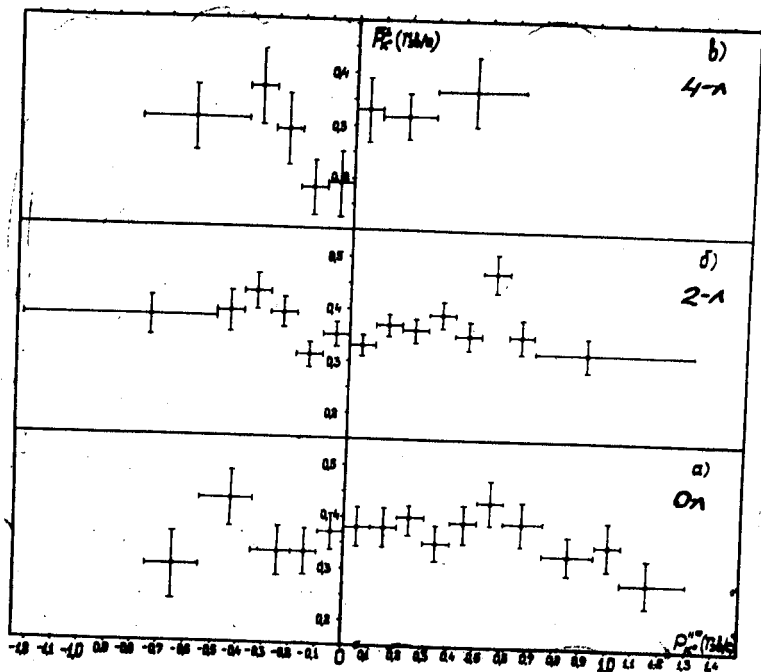


Рис.5. Зависимость среднего поперечного импульса K^0 -мезона от его продольного импульса в с.ц.м.

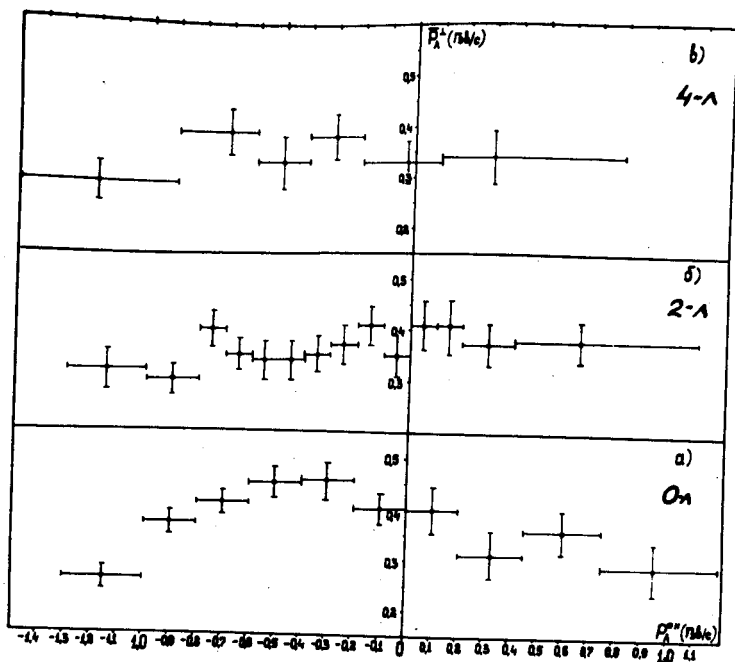


Рис.6. Зависимость среднего поперечного импульса Λ -гиперона от его продольного импульса в с.п.м.

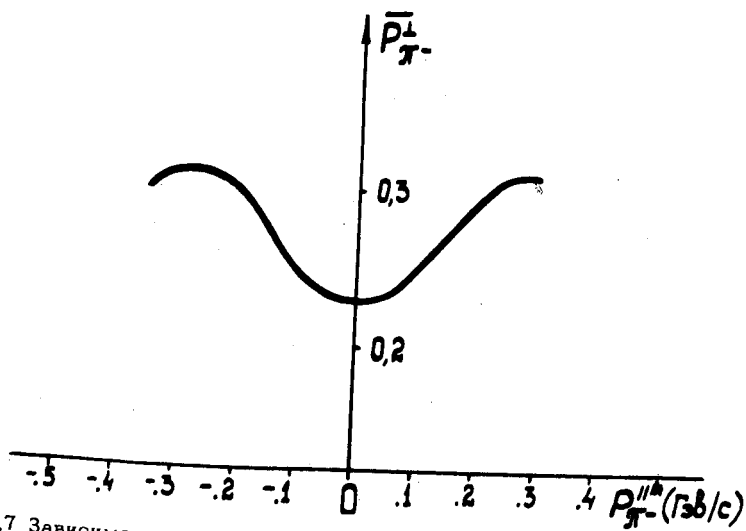


Рис.7. Зависимость среднего поперечного импульса π -мезона от его продольного импульса, рассчитанная по статистической теории.