

объединенный
институт
ядерных
исследований
дубна

1617/2-81

30/III-81
P1-80-849

С.В.Джмухадзе, Е.Н.Кладницкая, В.М.Попова,
Г.П.Тонеева

МНОЖЕСТВЕННОСТЬ И ИНКЛЮЗИВНЫЕ СПЕКТРЫ
 γ -КВАНТОВ В π^- p- ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ
С ОБРАЗОВАНИЕМ СТРАННЫХ ЧАСТИЦ

Направлено в ЯФ

1980

В реакциях



изучалось образование γ -квантов при 40 ГэВ/с.

Использован экспериментальный материал, накопленный при обработке ~80 тыс. снимков с 2-метровой пропановой камеры.

Относительно высокая эффективность этого прибора для регистрации e^+e^- -пар от конверсии γ -квантов (~20%) позволила нам определить инклюзивные сечения и средние множественности γ -квантов, а также получить распределения дифференциальных сечений по ряду кинематических переменных не только для реакции /1/, но и для реакций с рождением γ -квантов и странных частиц /реакции /2/ и /3//. Проведен сравнительный анализ для того, чтобы проследить влияние рождения нейтральных странных частиц на характеристики γ -квантов.

Эксперимент

В ранних публикациях подробно описаны критерии /1/, которые использовались для классификации событий, отобранных в эффективном объеме камеры /2/, $\pi^- p$ -, $\pi^- p$ -, $\pi^- C$, и идентификации V^0 -событий и γ -квантов /3,4/.

Поскольку в выбранном эффективном объеме камеры регистрируются не все V^0 и γ , образовавшиеся в изучаемых нами $\pi^- p$ -взаимодействиях, то вводился ряд поправок. Для каждого $V^0(\gamma)$ определялся геометрический "вес", равный обратной величине вероятности регистрации $V^0(\gamma)$ в эффективном объеме камеры. Кроме того, были введены поправки на потери V^0 и γ -квантов вблизи звезды /до 2 см/ и в направлении ко дну камеры /3/, на эффективность просмотра и неизмеримые V^0 и γ -кванты, а для V^0 - еще и на нейтральные моды распада.

В табл.1 дается число γ -квантов, зарегистрированных в реакциях /1/-/3/, n_γ , средние геометрические, $\langle W_\gamma \rangle^{\text{геом}}$ и полные,

$\langle W_\gamma \rangle$, "веса". Там же приведены соответствующие "веса" для Λ -гиперонов и K_s^0 -мезонов.

Таблица 1

| Реакция | N_γ | $\langle W_\gamma \rangle^{\text{геом}}$ | $\langle W_\gamma \rangle$ | $\langle W_{V^0} \rangle^{\text{геом.}}$ | $\langle W_{V^0} \rangle$ |
|--|------------|--|----------------------------|--|---------------------------|
| $\pi^- p \rightarrow \gamma + \dots$ | 15491 | 4,40 \pm 0,04 | 4,98 \pm 0,05 | - | - |
| $\pi^- p \rightarrow \gamma + \Lambda + \dots$ | 492 | 4,42 \pm 0,20 | 5,05 \pm 0,23 | 1,20 \pm 0,07 | 2,28 \pm 0,17 |
| $\pi^- p \rightarrow \gamma + K_s^0 + \dots$ | 878 | 4,26 \pm 0,14 | 4,79 \pm 0,17 | 1,22 \pm 0,06 | 2,12 \pm 0,14 |

Инклюзивные сечения и средние множественности γ -квантов в реакциях /1/-/3/

Для определения инклюзивных сечений образования γ -квантов в реакциях /1/-/3/ использовалось следующее соотношение:

$$\sigma_\gamma = (3\sigma_{\text{in}}^{\pi^- 12\text{C}} + 8\sigma_{\text{in}}^{\pi^- p}) \cdot \alpha N_\gamma / 8 \cdot N_{\text{in}}^{\text{C}_3\text{H}_8}$$

где $\sigma_{\text{in}}^{\pi^- p} = 21,38 \pm 0,16$ мб^{5/}; $\sigma_{\text{in}}^{\pi^- 12\text{C}} = 179 \pm 2$ мб^{6/}; $N_{\text{in}}^{\text{C}_3\text{H}_8} = 34469$ - полное число неупругих взаимодействий в пропане, $\alpha = 0,56 \pm 0,01$ - доля взаимодействий π^- -мезонов со свободными протонами в пропане^{7/}. Полное число γ -квантов в реакциях /1-3/ определялось как:

$$N_\gamma = n_\gamma \langle W_\gamma \rangle \quad - \text{ для реакции /1/}$$

$$N_\gamma = n_\gamma \langle W_\gamma \rangle \langle W_\Lambda \rangle \quad - \text{ для реакции /2/}$$

$$N_\gamma = n_\gamma \langle W_\gamma \rangle \langle W_{K_s^0} \rangle \quad - \text{ для реакции /3/}.$$

Инклюзивные сечения образования γ -квантов во всех $\pi^- p$ взаимодействиях и $\pi^- p$ -событиях с рождением Λ -гиперонов и K_s^0 -мезонов даны в табл.2.

Таблица 2

| Реакция | $\langle n_\gamma \rangle$ | $\langle n_{\pi^0} \rangle$ | σ_γ /мб/ |
|---------|----------------------------|-----------------------------|----------------------|
| 1 | 5,10 \pm 0,07 | 2,55 \pm 0,04 | 110,9 \pm 2,6 |
| 2 | 5,76 \pm 0,57 | 2,88 \pm 0,28 | 8,0 \pm 0,8 |
| 3 | 5,26 \pm 0,40 | 2,63 \pm 0,20 | 12,7 \pm 1,0 |

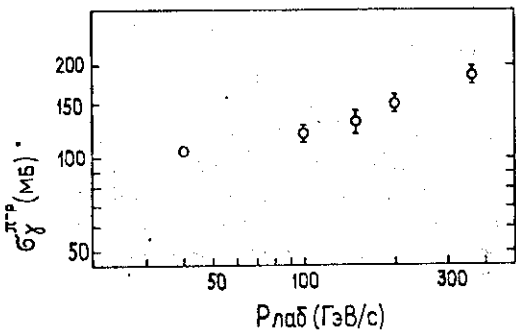


Рис.1. Энергетическая зависимость инклюзивных сечений γ -квантов в π^-p -взаимодействиях.

Энергетическая зависимость сечений образования γ -квантов в π^-p -взаимодействиях в интервале импульсов от 40 до 360 ГэВ/с ^[10,11] показана на рис.1.

Среднее число γ -квантов на одно π^-p -взаимодействие в реакциях /1+3/ приведено в табл.2. Там же даны значения $\langle n_{\pi^0} \rangle$ в предположении, что $\langle n_{\pi^0} \rangle = 1/2 \langle n_{\gamma} \rangle$. Следует отметить, что в событиях с рождением K_s^0 -мезонов в среднем рождается столько же γ -квантов, сколько и во всех π^-p -взаимодействиях, а в реакции /2/ даже больше, хотя можно было ожидать некоторого уменьшения $\langle n_{\gamma} \rangle$ в реакциях /2/, /3/, поскольку полная энергия, которая может пойти на образование π^0 -мезонов, в этих реакциях в среднем меньше, чем в реакции /1/. Рост $\langle n_{\gamma} \rangle$ в реакции /2/ естественно объяснить вкладом γ -квантов от распада $\Sigma^0 \rightarrow \Lambda + \gamma$.

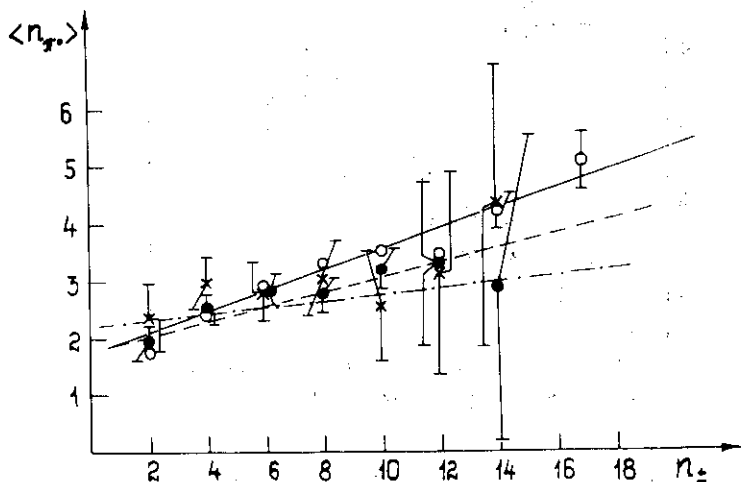


Рис.2. Зависимость средней множественности π^0 -мезонов от числа заряженных частиц в π^-p -взаимодействиях при 40 ГэВ/с; о - для реакции /1/, x - для реакции /2/, ● - для реакции /3/.

На рис.2 приведены зависимости среднего числа π^0 -мезонов от множественности n_{\pm} для реакций /1/-/3/. Эти зависимости аппроксимировались прямыми $\langle n_{\pi^0} \rangle = a + b \cdot n_{\pm}$ для $2 < n_{\pm} < 14$. Результаты аппроксимации приведены в табл.3. Аппроксимирующие прямые показаны на рис.2. Можно видеть, что в событиях с рождением Λ -гиперонов и K_s^0 -мезонов при 40 ГэВ/с, практически нет корреляции между $\langle n_{\gamma} \rangle$ и n_{\pm} . Для всех π^-p -взаимодействий корреляция имеет место для $2 < n_{\pm} < 14$ и значение параметра "b" совпадает со значением, определенным ранее на меньшей статистике γ -квантов ^{/4/}.

Таблица 3

| Реакция | a | b | $\chi^2/N_{\text{ст. св.}}$ |
|---------|-----------|-----------|-----------------------------|
| 1 | 1,74±0,07 | 0,17±0,01 | 3,77 |
| 2 | 2,22±0,53 | 0,05±0,09 | 0,19 |
| 3 | 1,75±0,28 | 0,13±0,05 | 0,38 |

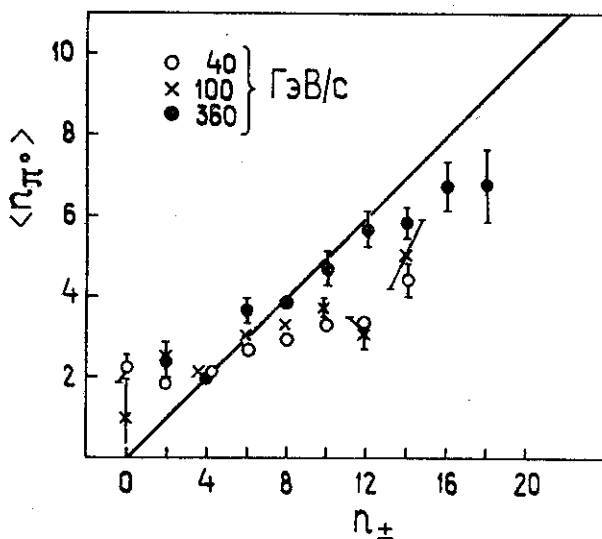


Рис.3. Зависимость $\langle n_{\pi^0} \rangle$ от n_{\pm} при 40, 100 и 360 ГэВ/с.

На рис.3 приведены зависимости $\langle n_{\pi^0} \rangle$ от n_{\pm} для реакции $\pi^-p \rightarrow \gamma + \dots$ при импульсах первичного π^- -мезона 40, 100 и

360 ГэВ/с. Сплошная линия соответствует функции $\langle n_{\pi^0} \rangle = 1/2 n_{\pm}$. Видно, что с ростом энергии $\langle n_{\pi^0} \rangle$ растет по топологиям и увеличивается диапазон n_{\pm} , в котором $\langle n_{\pi^0} \rangle = 1/2 n_{\pm}$. Превышение $\langle n_{\gamma} \rangle$ над прямой в двухлучевых событиях связано с дифракционными событиями /12,10/.

Зависимость $\langle n_{\pi^0} \rangle$ от энергии в с.ц.м. (\sqrt{s}) аппроксимируется функцией $\langle n_{\pi^0} \rangle = A + B \ln \sqrt{s}$ с $A = -0,24 \pm 0,06$ и $B = 1,3 \pm 0,2$, $\chi^2/N_{\text{ст.св.}} = 3,8$ в интервале импульсов от 5 до 360 ГэВ/с /8,9,10/.

В табл.4 приведены средние значения некоторых характеристик γ -квантов для реакций /1/-/3/. Обращает на себя внимание тот факт, что импульсы γ -квантов в лаб. системе для реакций со странными частицами значительно меньше, чем для всех $\pi^- p$ событий. Здесь сказываются два фактора: первый - в событиях, где родились тяжелые частицы, на образование γ -квантов остается меньше энергии, и второй - среднее число γ -квантов для реакций со странными частицами не меньше, чем для всех $\pi^- p$ -взаимодействий.

Таблица 4

| Реакция | $\langle P_{\text{лаб.}} \rangle_{\gamma}$ ГэВ/с | $\langle P_{\perp} \rangle_{\gamma}$ ГэВ/с | $\langle \cos \theta^* \rangle_{\gamma}$ |
|--|---|---|--|
| $\pi^- p \rightarrow \gamma + \dots$ | $1,87 \pm 0,02$ | $0,166 \pm 0,001$ | $0,185 \pm 0,003$ |
| $\pi^- p \rightarrow \gamma + \Lambda + \dots$ | $1,51 \pm 0,08$ | $0,165 \pm 0,004$ | $0,076 \pm 0,019$ |
| $\pi^- p \rightarrow \gamma + K_s^0 + \dots$ | $1,52 \pm 0,05$ | $0,156 \pm 0,003$ | $0,148 \pm 0,011$ |

Средние поперечные импульсы γ -квантов в пределах ошибок для всех трех реакций одинаковы.

Инклюзивные распределения γ -квантов

Чтобы выяснить, как влияет рождение странных частиц на образование γ -квантов, были построены некоторые инклюзивные распределения γ -квантов для реакций /1/-/3/.

Нормированные импульсные распределения γ -квантов приведены на рис.4*. Они совпадают для импульсов, меньших 4 ГэВ/с.

При более высоких импульсах спектр γ -квантов для реакций /2/ и /3/ падает быстрее, чем для реакции /1/.

* $d\sigma/dp_{\text{лаб.}}$ для реакции /1/ нормировались на $\sigma_{\text{in}}^{\pi^- p}$, а для реакций /2/ и /3/ - на инклюзивные сечения Λ и K_s^0 , соответственно.

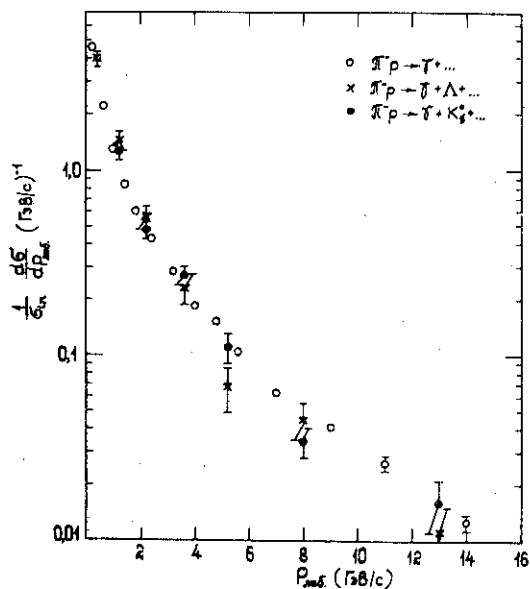


Рис. 4. Нормированные импульсные распределения γ -квантов в лаб. системе для реакций /1/, /2/, /3/.

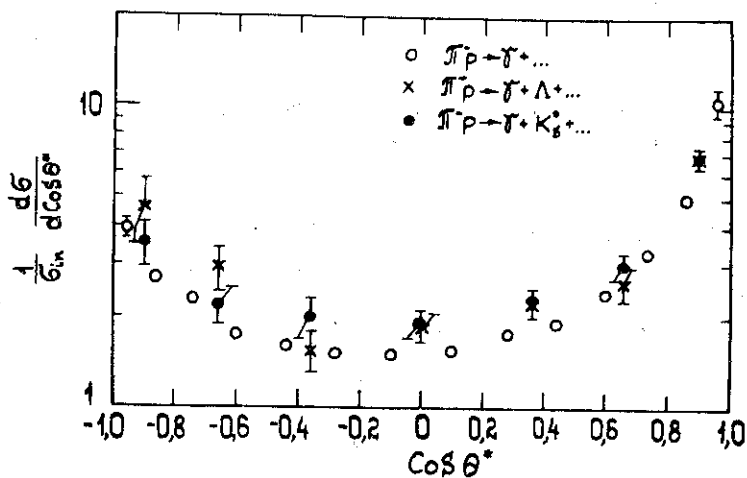


Рис. 5. Нормированные угловые распределения γ -квантов в с.ц.м. для реакций /1/, /2/, /3/.

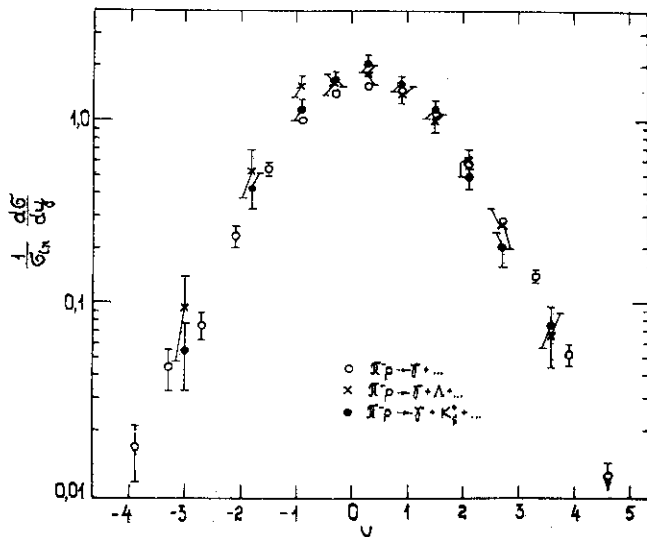


Рис.6. Нормированные распределения y -квантов по быстроте в с.ц.м. для реакций /1/, /2/, /3/.

Нормированные распределения по $\cos\theta^*$ показаны на рис.5. Определены коэффициенты асимметрии этих распределений

$$A = (N_f - N_b) / (N_f + N_b)$$

N_f , N_b - числа y -квантов, вылетающих в переднюю и заднюю полусферы, соответственно/. Для реакции /1/ $A = 0,22 \pm 0,05$. Для реакций /2/ и /3/ величины A в пределах экспериментальных ошибок равны нулю.

Интересно рассмотреть распределение y -квантов по продольной быстроте $y = 1/2 \ln(E^* + p_{\parallel}^*) / (E^* - p_{\parallel}^*)$ /рис.6/. Видно, что как для реакции /1/, так и для реакций /2/ и /3/ главным источником y -квантов является центральная область. Для реакций с Λ -гиперонами максимум несколько смещен к полусфере мишени. Основным источником $\Lambda(\Sigma^0)$ -гиперонов является фрагментация мишени, поэтому возможно, что рождение Σ^0 -гиперонов и $\Lambda\pi^0$ -резонансов является причиной такого смещения максимума распределения для реакции /2/.

Нормированные распределения y -квантов из реакций /1/-/3/ по квадрату поперечного импульса, p_{\perp}^2 , в пределах ошибок совпадают /рис.7/.

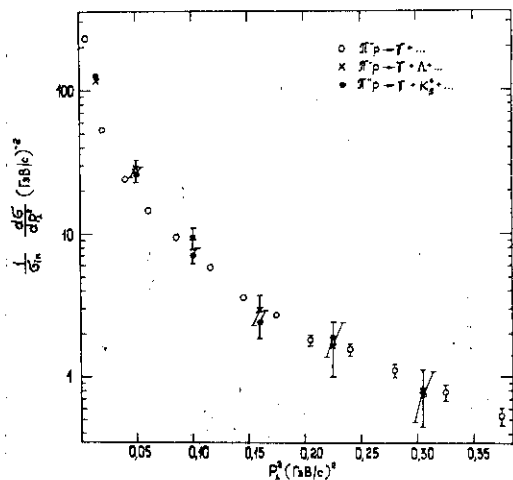


Рис.7. Нормированные распределения γ -квантов по квадрату поперечного импульса для реакций /1/, /2/, /3/.

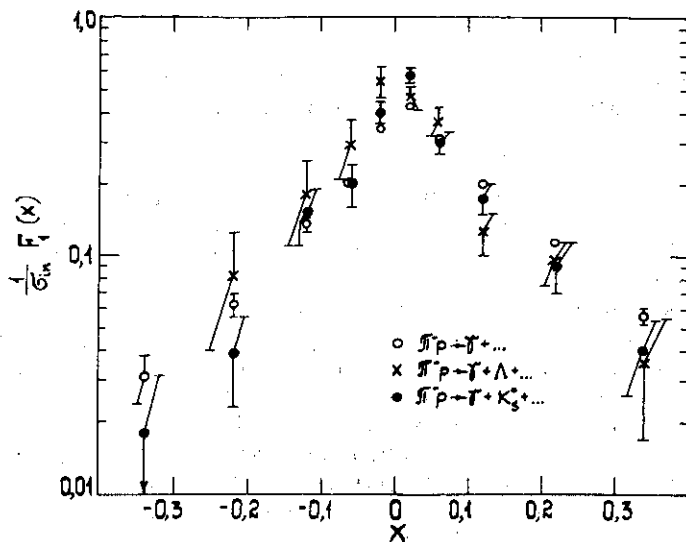


Рис.8. Нормированные структурные функции $F_1(x)$ для γ -квантов из реакций /1/, /2/, /3/.

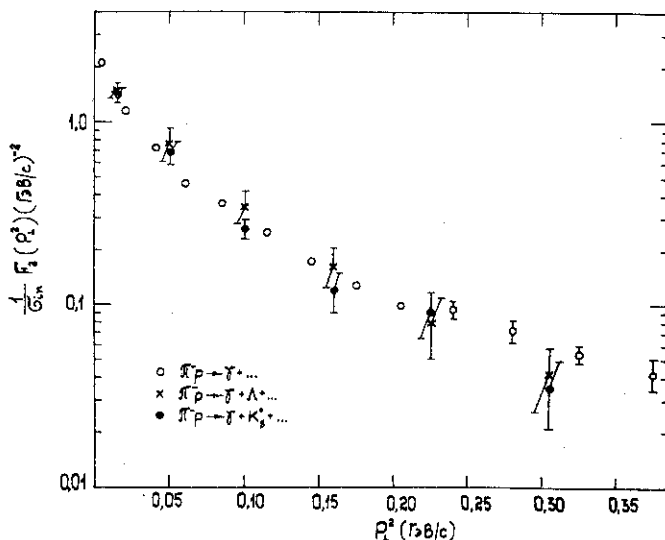


Рис.9. Нормированные структурные функции $F_2(p_{\perp}^2)$ для γ -квантов из реакций /1/, /2/, /3/.

Рассмотрим нормированные структурные функции $F_1(x)$ и $F(p_{\perp}^2)$ для γ -квантов из реакций /1/-/3/.

$$F_1(x) = 1/\sigma_{in} \int 2E^*/\pi\sqrt{s} \cdot d\sigma/(dx \cdot dp_{\perp}^2) dp_{\perp}^2,$$

$$F_2(p_{\perp}^2) = 1/\sigma_{in} \int 2E^*/\pi\sqrt{s} \cdot d\sigma/(dx \cdot dp_{\perp}^2) dx,$$

где $x=2p^*/\sqrt{s}$, E^* и p_{\parallel}^* - энергия и продольный импульс γ -квантов в с.ц.м.

Максимумы $F_1(x)$ для γ -квантов из реакций /1/-/3/ находятся при $x=0$ и совпадают между собой. С ростом x $F_1(x)$ для реакций /2/ и /3/ убывает быстрее, чем для реакции /1/ /рис.8/. Значения $F_2(p_{\perp}^2)$ для γ -квантов из реакций /1/-/3/ совпадают до $p_{\perp}^2 \approx 0,2$. При более высоких p_{\perp}^2 $F_2(p_{\perp}^2)$ для реакций со странными частицами уменьшается быстрее, чем для реакции /1/ /рис.9/.

На рис.10 приведены распределения $F_1(x)$ для γ -квантов из реакции $\pi p \rightarrow \gamma + \dots$ при 40, 100 и 360 ГэВ/с. Видно, что с ростом энергии $F_1(x)$ растет в центральной области.

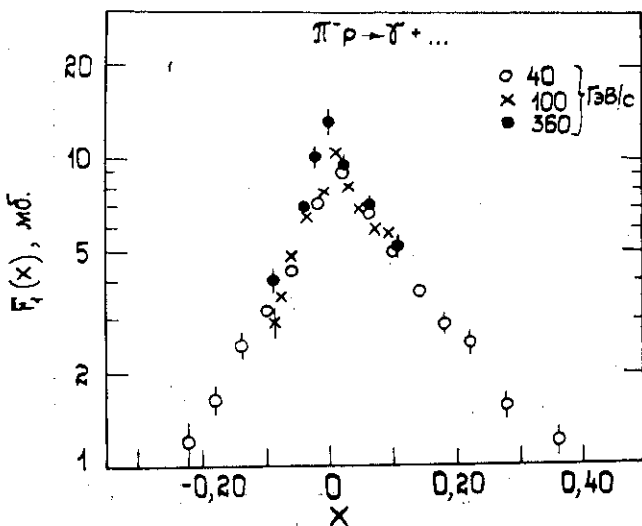


Рис.10. Структурные функции $F_1(x)$ для γ -квантов из π^-p -взаимодействий при 40, 100 и 360 ГэВ/с.

Выводы

1. Образование Λ -гиперонов и K_S^0 -мезонов в π^-p -взаимодействиях при 40 ГэВ/с /реакции /2/ и /3// не приводит к уменьшению среднего числа γ -квантов в этих реакциях по сравнению со всеми π^-p -взаимодействиями /реакция /1//, однако уменьшает корреляцию между $\langle n_\gamma \rangle$ и p_\perp .

2. Рождение Λ -гиперонов и K_S^0 -мезонов сказывается на уменьшении доли быстрых γ -квантов по сравнению с реакцией /1/, что приводит к уменьшению среднего импульса γ -квантов в лаб. системе в реакциях /2/ и /3/.

3. Рождение Λ и K_S^0 частиц не влияет на распределение γ -квантов по поперечному импульсу.

Авторы благодарят дубненскую группу Сотрудничества по обработке снимков с двухметровой пропановой камеры за участие в получении экспериментального материала, Ю.М.Шабельского - за полезные обсуждения, И.А.Первушину и Н.В.Печенова - за оформление рисунков.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абдурахимов А.У. и др. ОИЯИ, Р1-6326, Дубна, 1972.
2. Абдурахимов А.У. и др. ОИЯИ, 1-6967, Дубна, 1973.
3. Абдурахимов А.У. и др. ОИЯИ, Р1-7267, Дубна, 1973; ЯФ, 1973, т.18, с.1261; Nucl.Phys., 1974, В79, р.57.
4. Абдурахимов А.У. и др. ОИЯИ, Р1-6928, Дубна, 1973; ЯФ, 1973, т.17, с.1235.
5. CERN - Serpukhov Collaboration. Phys.Lett., 1969, 30, р.500; Ангелов Н. и др. ОИЯИ, Р1-9785, Дубна, 1976; ЯФ, 1977, т.25, с.581.
6. Аллаби Д.В. и др. ЯФ, 1970, т.12, с.538.
7. Ангелов Н. и др. ЯФ, 1976, т.24, с.732.
8. Амаглобели Н.С. и др. ЯФ, 1975, т.22, с.1269.
9. Elbert J.W. et al. Nucl.Phys., 1970, В19, р.95.
10. Biswas N.N. et al. Nucl.Phys., 1980, В167, р.41.
11. Brick D. et al. Phys.Rev., 1979, D20, р.2123.
12. Ангелов Н. и др. ОИЯИ, Р1-7024, Дубна, 1974; ЯФ, 1975, т.21, с.139.

Рукопись поступила в издательский отдел
24 декабря 1980 года.