

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



С 346.48

A-646

3888/2-77

26/IX-77

P1 - 10768

Н.Ангелов, С.Бацкович, В.Г.Гришин, С.В.Джмухадзе,
Л.А.Диденко, И.А.Ивановская, Т.Я.Иногамова,
Т.Канарек, Е.Н.Кладницкая, С.С.Козловская,
В.Б.Любимов, С.И.Лютов, Н.Н.Мельникова, Ю.Надь,
Р.М.Назаргулов, В.Ф.Никитина, В.М.Попова,
А.Н.Соломин, Х.Семерджиев, М.И.Соловьев,
М.К.Сулейманов, Д.Тувдендорж, Н.Г.Фадеев,
Н.В.Хуторной, Э.Т.Цивцивадзе, Л.М.Щеглова

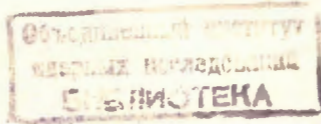
ДВУХЧАСТИЧНЫЕ ГАММА-ГАММА КОРРЕЛЯЦИИ
В π^- ¹²С-ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ ПРИ 40 ГЭВ/с

1977

Н.Ангелов, С.Бацкович,¹ В.Г.Гришин, С.В.Джмухадзе,²
 Л.А.Диденко,³ И.А.Ивановская, Т.Я.Иногамова,
 Т.Канарек, Е.Н.Кладницкая, С.С.Козловская,
 В.Б.Любимов, С.И.Лютов,³ Н.Н.Мельникова, Ю.Надь,
 Р.М.Назаргулов, В.Ф.Никитина, В.М.Попова,³
 А.Н.Соломин,³ Х.Семерджиев, М.И.Соловьев,
 М.К.Сулейманов,⁴ Д.Тувдендорж, Н.Г.Фадеев,
 Н.В.Хуторной, Э.Т.Цивцивадзе,² Л.М.Щеглова³

ДВУХЧАСТИЧНЫЕ ГАММА-ГАММА КОРРЕЛЯЦИИ
 В π^- ¹²С-ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ ПРИ 40 ГЭВ/с

Направлено в ЯФ



¹ Институт физики, Белград.

² Тбилисский государственный университет.

³ Физический факультет и Научно-исследовательский институт ядерной физики МГУ.

⁴ Институт физики АзССР, Баку.

Двухчастичные гамма-гамма корреляции в
в $\pi^{-12}\text{C}$ -взаимодействиях при 40 ГэВ/с

Приводятся экспериментальные данные по двухчастичным корреляционным функциям $C(y_1^*, y_2^*)$ и $R(y_1^*, y_2^*)$ гамма-квантов в инклюзивных и полуйнклюзивных $\pi^{-12}\text{C}$ -взаимодействиях при импульсе 40 ГэВ/с. В инклюзивных и полуйнклюзивных реакциях с $n_{\text{ch}} = 0-1-2$ и $n_{\text{ch}} > \langle n_{\text{ch}} \rangle$ наблюдаются положительные корреляции в центральной области. В основном значения функции $C_{\gamma\gamma}$ и $R_{\gamma\gamma}$ в $\pi^{-12}\text{C}$ -взаимодействиях больше, чем соответствующие значения в $\pi^{-12}\text{C}$ -взаимодействиях. В распределениях по разностям азимутальных углов γ -квантов наблюдается увеличение числа пар γ -квантов при $\phi \rightarrow 0$.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1977

Angelov N. et al.

P1 - 10768

Two-Particle γ - γ Correlations in $\pi^{-12}\text{C}$
Interactions at 40 GeV/c

Experimental data on two-particle correlation functions $C(y_1^*, y_2^*)$ and $R(y_1^*, y_2^*)$ of γ -quanta in inclusive and semi-inclusive $\pi^{-12}\text{C}$ -interactions at 40 GeV/c are given. Positive correlations in the central region are observed in inclusive and semi-inclusive reactions with $n_{\text{ch}} = 0-1-2$ and $n_{\text{ch}} > \langle n_{\text{ch}} \rangle$. In general, values of functions $C_{\gamma\gamma}$ and $R_{\gamma\gamma}$ in $\pi^{-12}\text{C}$ interactions are greater than the corresponding values in $\pi^{-12}\text{C}$ interactions. In the difference distributions for γ -quantum azimuthal angles the increase of the number of γ -quantum pairs at $\phi \rightarrow 0$ is observed.

The investigations has been performed at the Laboratory of High Energy Physics, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research, Dubna 1977

Введение

В ряде работ последних лет экспериментально изучались и анализировались двухчастичные корреляции между различными вторичными частицами, образованными в основном в адрон-адронных взаимодействиях^{/1,2/}. Полученные результаты, несомненно, имеют существенное значение для понимания динамики процессов множественного рождения частиц при высоких энергиях. Значительно меньше данных по этому вопросу получено при изучении адрон-ядерных и ядерно-ядерных соударений^{/3/}.

В настоящей работе исследуются двухчастичные корреляции гамма-квантов, образованных в $\pi^{-12}\text{C}$ -взаимодействиях. Экспериментальный материал получен при облучении двухметровой пропановой (C_3H_8) пузырьковой камеры на серпуховском ускорителе π^- -мезонами с импульсом 40 ГэВ/с. Методика эксперимента, критерий отбора пион-нуклонных и пион-ядерных взаимодействий описаны в работах^{/4/}. Данные по двухчастичным гамма-гамма корреляциям в инклюзивных и полуйнклюзивных π^-p и π^-p -соударениях при $P = 40$ ГэВ/с были получены нами ранее^{/5,6/}. Приводимые в §§1,2 экспериментальные результаты для $\pi^{-12}\text{C}$ -взаимодействий сравниваются с аналогичными данными для пион-нуклонных (π^-N)-взаимодействий. Число протонов и нейтронов в ядре углерода одинаково, поэтому в π^-N -взаимодействиях все характеристики были получены как среднее арифметическое от соответствующих характеристик π^-p и π^-p -соударений.

Статистика составляет 13070 π^-p , 4545 π^-p и 17673 $\pi^-^{12}C$ -взаимодействий, в которых было зарегистрировано соответственно 13434, 4585 и 19811 (e^+e^-)-пар конверсии гамма-квантов. Основным источником гамма-квантов в нашем эксперименте являются π^0 -мезоны / $\approx 99\%$ /. Для исключения кинематических двухчастичных корреляций гамма-квантов, связанных с распадом $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$, в статистику не включался один из двух гамма-квантов, для которых выполнялось условие $|M_{\gamma\gamma} - M_{\pi^0}| \leq 2 \Delta M_{\gamma\gamma}$.

В первом параграфе приведены данные по двухчастичным корреляционным функциям γ -квантов $-C(y_1^*, y_2^*)$ и $R(y_1^*, y_2^*)$. В §2 исследуются распределения по разностям азимутальных углов γ -квантов.

§1. Инклюзивные и полуинклюзивные корреляции гамма-квантов по продольным быстрой

Двухчастичные корреляции гамма-квантов в инклюзивных и полуинклюзивных процессах были исследованы при помощи стандартных корреляционных функций

$$C(y_1^*, y_2^*) = \frac{1}{\sigma} \frac{d^2 \sigma}{dy_1^* dy_2^*} - \frac{1}{\sigma^2} \frac{d\sigma}{dy_1^*} \frac{d\sigma}{dy_2^*} =$$

$$= \rho(y_1^*, y_2^*) - \rho(y_1^*)\rho(y_2^*),$$

$$R(y_1^*, y_2^*) = \sigma \frac{d^2 \sigma}{dy_1^* dy_2^*} / \frac{d\sigma}{dy_1^*} \frac{d\sigma}{dy_2^*} - 1. \quad /1/$$

Значения продольной быстроты $y^* = \frac{1}{2} \ln \frac{E^* + P_{||}^*}{E^* - P_{||}^*}$ для $\pi^-^{12}C$ - и π^-N -взаимодействий вычислялись в системе центра инерции π^-N -взаимодействий. Сечения σ равны /7/: $\sigma = \sigma_{in}$ для инклюзивного процесса

$$\pi^- + b \rightarrow \gamma + \gamma + \dots \quad /2/$$

и $\sigma = \sigma_n$ для полуинклюзивных процессов

$$\pi^- + b \rightarrow \gamma + \gamma + n_{ch} + \dots, \quad /3/$$

где n_{ch} - количество заряженных частиц, b - тип мишени, которая в нашем случае является свободным или квазисвободным протоном, квазисвободным нейтроном или ядром углерода.

Корреляционные C -функции инклюзивного /2/ и полуинклюзивных /3/ процессов связаны между собой следующим соотношением:

$$C_{in} = \sum a_n C_n + \sum a_n [\rho_n(y_1^*) - \rho_{in}(y_1^*)][\rho_n(y_2^*) - \rho_{in}(y_2^*)], \quad /4/$$

$$\text{где } a_n = \frac{\sigma_n}{\sigma_{in}}.$$

На рис. 1а-е приведены значения функций $C(y_1^*, y_2^*)$ и $R(y_1^*, y_2^*)$ гамма-квантов в зависимости от y_1^* при фиксированных значениях y_2^* .

В инклюзивных реакциях /рис. 1а/ в центральной области ($-1 \leq y_1^*, y_2^* \leq 1$) имеются положительные гамма-гамма корреляции. В остальных областях значения корреляционных функций либо отрицательны, либо равны нулю. С увеличением y_2^* максимум в распределениях $C(y_1^*, y_2^* = \text{const})$ и $R(y_1^*, y_2^* = \text{const})$ смещается по линии $y_1^* = y_2^*$. В основном значения функций C и R в π^-N -взаимодействиях больше, чем соответствующие значения в $\pi^-^{12}C$ -взаимодействиях.

В полуинклюзивных реакциях с малой множественностью вторичных заряженных частиц $n_{ch} \leq 2$ /рис. 1б/ положительные корреляции наблюдаются в области $0 \leq y_1^*, y_2^* \leq 1$. Они отсутствуют в полуинклюзивных каналах с $3 \leq n_{ch} \leq 6$ /рис. 1в, г/. Положительные значения корреляционных функций, правда, недостаточно обеспеченные статистически, снова появляются в событиях с $n_{ch} \geq 7$. Причина появления положительных гамма-гамма корреляций в инклюзивных и некоторых полуинклюзивных реакциях может быть обусловлена различием одночастичных спектров гамма-квантов. Так, из /4/ видно, что даже при $C_n = 0$ может быть $C_{in} \neq 0$ из-за

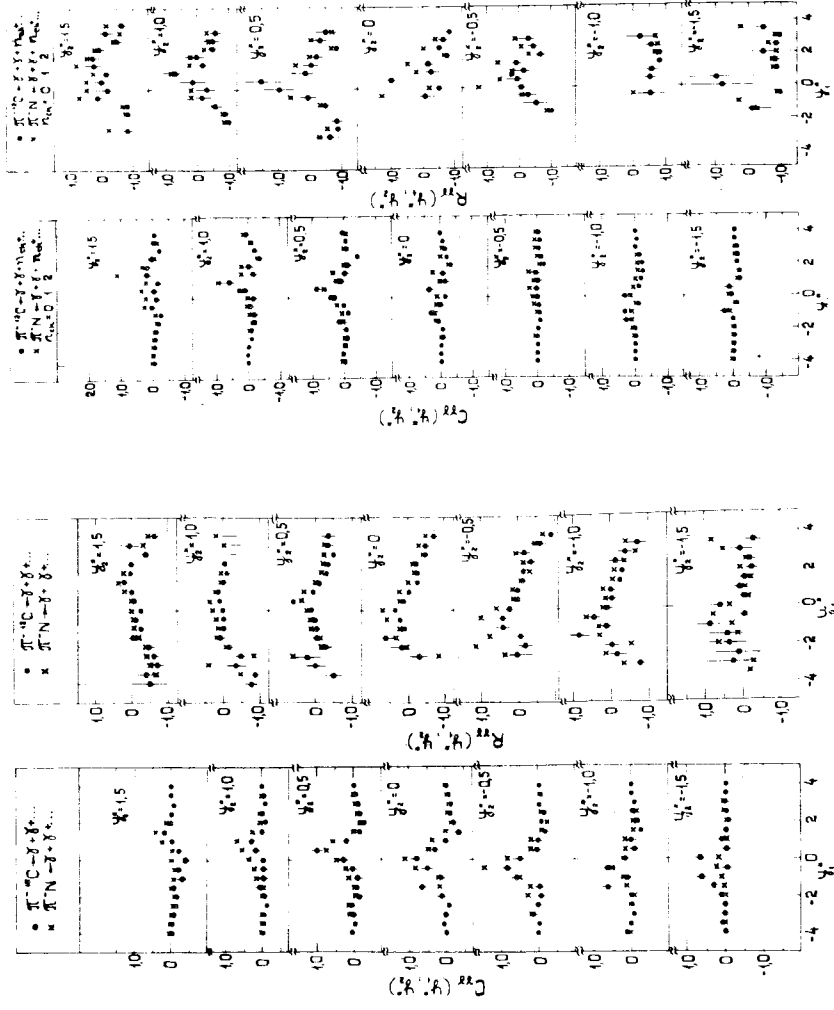
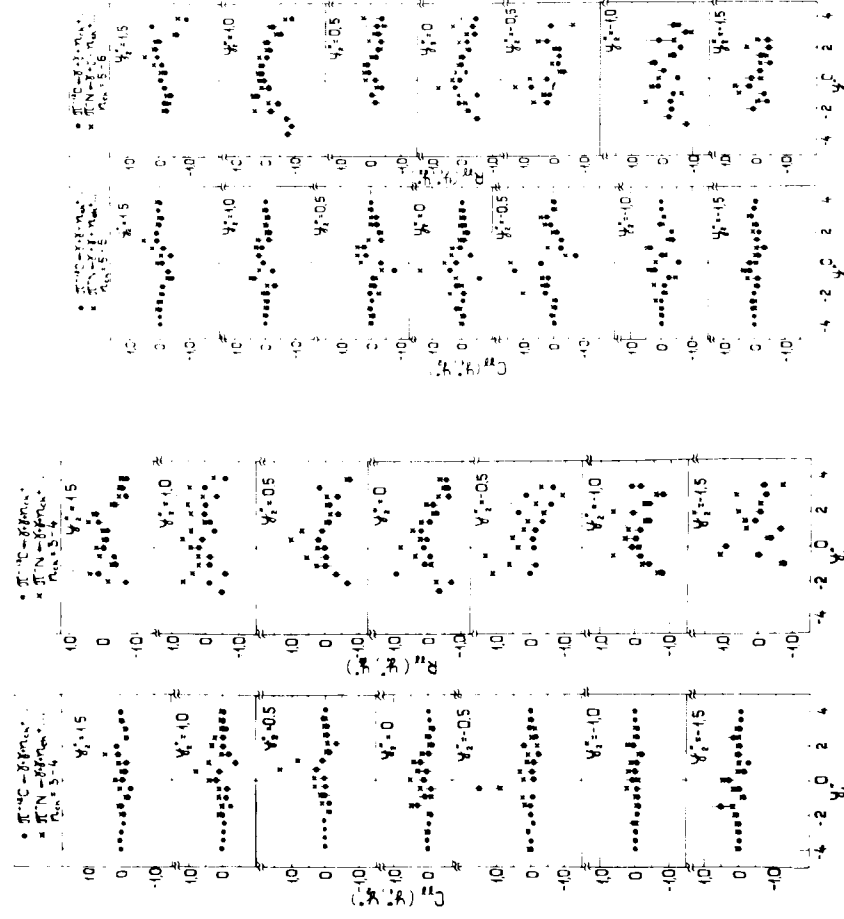


Рис. 1 а, б



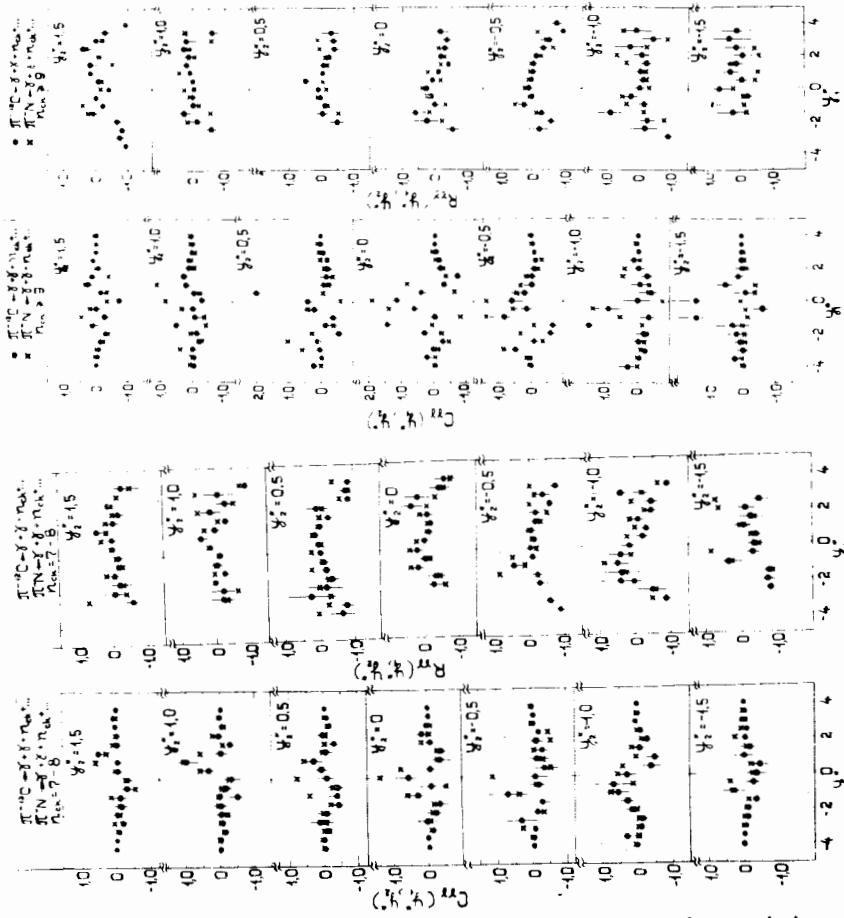


Рис. 1а-е. Значения корреляционных функций $C(y_1^*, y_2^*)$ и $R(y_1^*, y_2^*)$, гамма-квантов в зависимости от y_1^* при фиксированных значениях y_2^* .

Рис. 1б,е

разницы $(\rho_n - \rho_{in})$ между одночастичными инклюзивными и полуинклюзивными распределениями. Аналогичная ситуация наблюдалась при исследовании двухчастичных корреляций между вторичными заряженными частицами в адрон-адронных соударениях. В инклюзивных реакциях проявлялись сильные положительные корреляции, в то время как в полуинклюзивных реакциях они либо отсутствовали, либо были значительно слабее.

В случае фиксированной множественности вторичных заряженных частиц полуинклюзивные реакции являются суммой эксклюзивных каналов с разным числом образованных π^0 -мезонов. Одночастичные спектры гамма-квантов в этих эксклюзивных каналах могут быть разными и в конечном счете привести к тому, что $C_n \neq 0$. Особенно это существенно при $n_{ch} > \langle n_{ch} \rangle$, так как в $\pi^-^{12}\text{C}$ -соударениях при $P = 40 \text{ ГэВ/с}$ средняя множественность π^0 -мезонов растет с ростом n_{ch} от $\langle n_{\pi^0} \rangle = 1,68 \pm 0,09$ для событий с $n_{ch} = 1$ до $\langle n_{\pi^0} \rangle = 4,99 \pm 0,28$ для событий с $n_{ch} \geq 16$ ^{/8/}.

Двухчастичные гамма-гамма-корреляции при $n_{ch} \leq 2$ могут быть обусловлены тем, что мы суммируем три полуинклюзивных канала, для которых, как показали наши предыдущие исследования, одночастичные спектры гамма-квантов сильно меняются в зависимости от n_{ch} ^{/8/}.

В табл. 1 приведены значения корреляционных функций гамма-квантов $C(0,0)$ и $R(0,0)$ для $\pi^-^{12}\text{C}$ и $\pi^- \text{N}$ -взаимодействий при $P = 40 \text{ ГэВ/с}$.

Таблица 1

n_{ch}	$C(0,0)$		$R(0,0)$	
	$\pi^-^{12}\text{C}$	$\pi^- \text{N}$	$\pi^-^{12}\text{C}$	$\pi^- \text{N}$
0-1-2	$-0,15 \pm 0,05$	$0,11 \pm 0,10$	$-0,55 \pm 0,16$	$-0,20 \pm 0,21$
3-4	$0,14 \pm 0,21$	$0,52 \pm 0,22$	$0,13 \pm 0,20$	$0,80 \pm 0,36$
5-6	$0,15 \pm 0,28$	$0,56 \pm 0,22$	$0,08 \pm 0,15$	$0,34 \pm 0,20$
7-8	$0,57 \pm 0,49$	$1,34 \pm 0,85$	$0,21 \pm 0,19$	$0,42 \pm 0,28$
≥ 9	$1,19 \pm 0,56$	$1,89 \pm 1,44$	$0,25 \pm 0,12$	$0,40 \pm 0,32$
Все	$0,82 \pm 0,21$	$1,11 \pm 0,28$	$0,34 \pm 0,09$	$0,68 \pm 0,18$

§2. Азимутальные гамма-гамма корреляции
в $\pi^{-12}\text{C}$ -взаимодействиях при $P = 40 \text{ ГэВ}/c$

При исследовании азимутальных корреляций анализируются распределения $\frac{1}{\pi\sigma} \frac{d\sigma}{d\Phi}$ в зависимости от угла

Φ между поперечными импульсами двух частиц:

$$\cos \Phi = \frac{\vec{P}_{\perp 1} \cdot \vec{P}_{\perp 2}}{|\vec{P}_{\perp 1}| \cdot |\vec{P}_{\perp 2}|},$$

а также значения коэффициента асимметрии B :

$$B = \frac{N(\Phi > \frac{\pi}{2}) - N(\Phi \leq \frac{\pi}{2})}{N(\Phi > \frac{\pi}{2}) + N(\Phi \leq \frac{\pi}{2})},$$

где $N(\Phi > \frac{\pi}{2})$ - число пар частиц, имеющих угол $\Phi > \frac{\pi}{2}$.

Соответствующие распределения $\frac{1}{\pi\sigma} \frac{d\sigma}{d\Phi}$ для инклюзивных и полуинклюзивных $\pi^{-12}\text{C}$ - и $\pi^{-}\text{N}$ -взаимодействий показаны на рис. 2. На фоне приблизительно равномерного распределения по Φ наблюдается увеличение числа пар гамма-квантов при $\Phi \rightarrow 0$. Эффект проявляется в инклюзивных и во всех полуинклюзивных распределениях.

На рис. 3 представлены распределения $\frac{1}{\pi\sigma} \frac{d\sigma}{d\Phi}$ в зависимости от разности продольных быстрых двух гамма-квантов $|\Delta y^*| = |y_1^* - y_2^*|$. Три дополнительных распределения соответствуют трем случаям:

1/ оба гамма-кванта находятся в центральной области - условия $|y_1^*| \leq 1, |y_2^*| \leq 1$;

2/ гамма-кванты находятся в разных областях фрагментации - условия $|y_1^*| > 1, |y_2^*| > 1, y_1^* \cdot y_2^* < 0$;

3/ гамма-кванты расположены в одной и той же фрагментационной области - условия $|y_1^*| > 1, |y_2^*| > 1, y_1^* \cdot y_2^* > 0$.

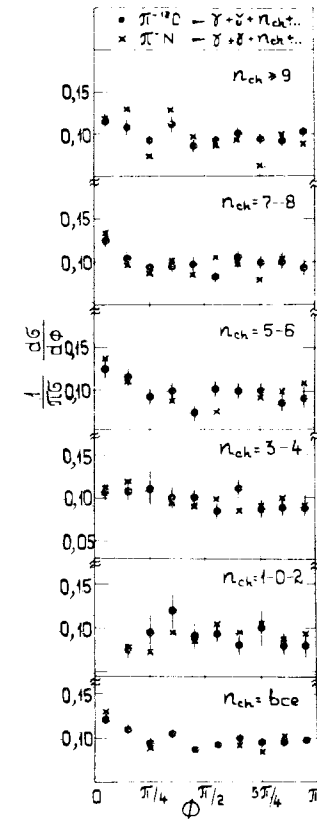


Рис. 2. Распределения по азимутальному углу Φ гамма-квантов в $\pi^{-}\text{N}$ - и $\pi^{-12}\text{C}$ -взаимодействиях.

Как видно из рис. 3, эффект увеличения числа пар гамма-квантов при $\Phi > 0$ зависит от разности быстрых $|\Delta y^*|$. Наиболее сильно он выражен при $0 \leq |\Delta y^*| \leq 0.4$, слабее - при $0.4 \leq |\Delta y^*| \leq 0.8$ и исчезает при больших значениях $|\Delta y^*|$. Эффект наблюдается также при $|y_1^*| \leq 1, |y_2^*| \leq 1$ - случай, когда оба гамма-кванта находятся в центральной области.

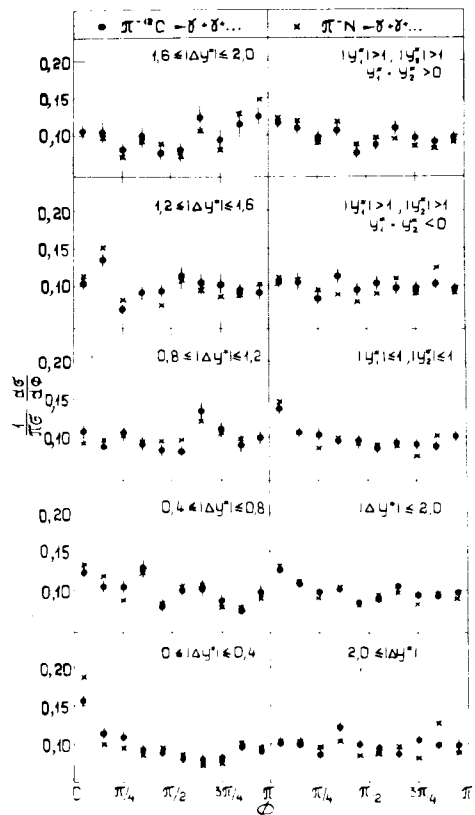
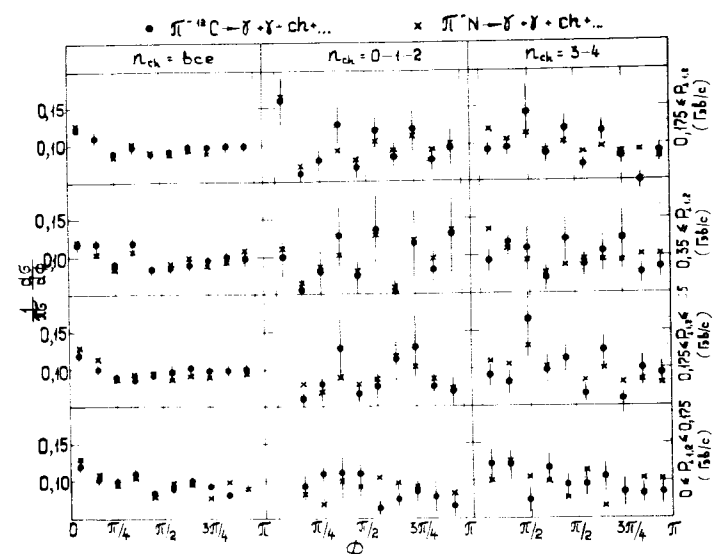
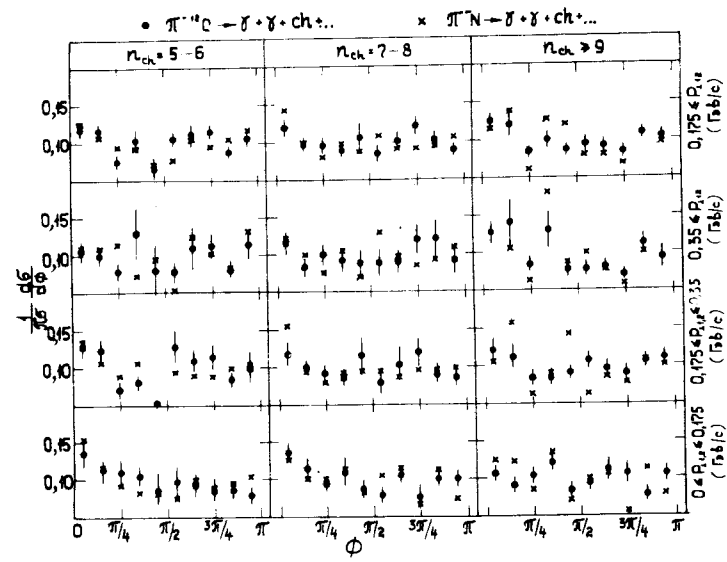


Рис. 3. Распределения по азимутальному углу Φ в зависимости от разности продольных быстрых двух гамма-квантов $|\Delta y^*|$.

На рис. 4а,б приведены распределения $\frac{1}{\pi \sigma} \frac{d\sigma}{d\Phi}$, полученные при разных ограничениях на поперечные импульсы обоих гамма-квантов. В основном эти распределения сохраняют свой вид, т.е. в них не наблюдается какой-либо заметной зависимости от значений поперечных импульсов.



а/



б/

Рис. 4а,б. Распределения по азимутальному углу Φ при разных ограничениях на поперечные импульсы гамма-квантов.

Таблица 2

Значения коэффициента асимметрии В

n_{ch}	$0 \leq \Delta y^* \leq 0.4$	$0.4 \leq \Delta y^* \leq 0.8$	$0.8 \leq \Delta y^* \leq 1.2$	$ y_1^* \leq 1, y_2^* \leq 1$
0-1-2	-0,14 \pm 0,13	-0,10 \pm 0,12	0,15 \pm 0,13	-0,20 \pm 0,14
3-4	-0,33 \pm 0,08	-0,08 \pm 0,08	-0,03 \pm 0,09	-0,20 \pm 0,08
5-6	-0,15 \pm 0,07	-0,05 \pm 0,07	0,05 \pm 0,08	-0,01 \pm 0,06
7-8	-0,10 \pm 0,06	-0,11 \pm 0,07	-0,01 \pm 0,07	-0,08 \pm 0,05
≥ 9	-0,11 \pm 0,05	-0,09 \pm 0,06	0,06 \pm 0,05	-0,08 \pm 0,03
Все	-0,14 \pm 0,03	-0,08 \pm 0,03	0,04 \pm 0,03	-0,08 \pm 0,02

В табл. 2 приведены значения коэффициентов асимметрии В для $\pi^{-12}\text{C}$ -взаимодействий.

Заключение

Исследование двухчастичных гамма-гамма корреляций в $\pi^{-12}\text{C}$ -взаимодействиях при 40 ГэВ/с показывает:

1. В инклюзивных реакциях наблюдаются положительные корреляции в центральной области ($-1 \leq y_1^*, y_2^* \leq 1$). Максимум значений корреляционных функций $C(y_1^*, y_2^*)$ и $R(y_1^*, y_2^*)$ смещается по линии $y_1^* = y_2^*$.
2. Положительные корреляции также наблюдаются в полуинклюзивных каналах с $n_{ch} = 0-1-2$ и $n_{ch} < \langle n_{ch} \rangle$.
3. Причина появления положительных корреляций может быть обусловлена различием в одночастичных спектрах γ -квантов в эксклюзивных каналах.
4. В основном значения функций $C_{\gamma\gamma}$ и $R_{\gamma\gamma}$ в π^{-N} -взаимодействиях больше, чем соответствующие значения в $\pi^{-12}\text{C}$ -взаимодействиях.
5. В распределениях по разностям азимутальных углов γ -квантов наблюдается увеличение числа пар γ -квантов при $\Phi \rightarrow 0$. Эффект зависит от разности быстрот $|\Delta y^*|$ и увеличивается при $|\Delta y^*| \rightarrow 0$.

Нам приятно поблагодарить участников Сотрудничества по исследованию процессов множественного рождения частиц при $p = 40$ ГэВ/с за полезные обсуждения, а также лаборантов группы двухметровой пропановой камеры за большую помощь в работе.

Литература

1. Гришин В.Г. ЭЧАЯ, 1976, т.7, вып.3, с.595.
2. Мурзин В.С., Сарычева Л.И. Множественные процессы при высоких энергиях, Атомиздат., М., 1974.
3. Воинов В.Г. и др. Письма в ЖЭТФ, 1976, т.24, вып.2, с.107.
4. Абдурахимов А.У. и др. ОИЯИ, P1-6326, 1-6967, Дубна, 1973.
5. Сотрудничество: Алма-Ата - Будапешт - Бухарест - Варшава - Дубна - Краков - Москва - София - Ташкент - Тбилиси - Улан-Батор - Ханой - Чандигар. ОИЯИ, P1-9207, Дубна, 1975.
6. Ангелов Н. и др. ОИЯИ, P1-9585, P1-9612, Дубна, 1976.
7. Ангелов Н.С. и др. ОИЯИ, P1-9785, P1-9978, Дубна, 1976.
8. Сотрудничество: Алма-Ата - Будапешт - Бухарест - Варшава - Дубна - Краков - Москва - София - Ташкент - Тбилиси - Улан-Батор - Ханой. ОИЯИ, P1-9882, Дубна, 1976.

Рукопись поступила в издательский отдел
20 июня 1977 года.