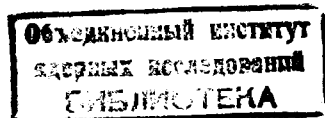


P1 - 10163

Н.Ангелов, Т.Я.Иногамова, Б.С.Юлдашев

АНАЛИЗ ИНКЛЮЗИВНЫХ СПЕКТРОВ  $\gamma$ -КВАНТОВ  
В  $\pi$ - $C^{12}$  - И  $\pi$ -N -ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ  
ПРИ ИМПУЛЬСЕ  $P = 40$  ГэВ/с

*Направлено в ЯФ*



A-646

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА



1051 / 2-77

21/3-77

P1 - 10163

Н. Ангелов, Т. Я. Иногамова, Б. С. Юлдашев

АНАЛИЗ ИНКЛЮЗИВНЫХ СПЕКТРОВ  $\gamma$ -КВАНТОВ  
В  $\pi^- C^{12}$ - И  $\pi^- N$ -ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ  
ПРИ ИМПУЛЬСЕ  $P = 40$  ГэВ/с

**1976**

Анализ инклюзивных спектров  $\gamma$ -квантов в  $\pi^-C^{12}$ - и  $\pi^-N$ -взаимодействиях при импульсе  $p = 40$  ГэВ/с

Представлены результаты сравнения различных характеристик  $\gamma$ -квантов, образованных в реакциях  $\pi^-C^{12} \rightarrow \gamma + X$  и  $\pi^-N \rightarrow \gamma + X$  при  $p = 40$  ГэВ/с. Проведенный анализ позволил выявить ряд эмпирических закономерностей зависимости инклюзивных и полунклюзивных спектров  $\gamma$ -квантов от атомного номера ядра-мишени. Экспериментальные данные анализируются в рамках различных моделей адрон-ядерных взаимодействий.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований

Дубна 1976

Angelov N., Inogamova T.Ya.,  
Yuldashev B.S.

P1 - 10163

Analysis of Inclusive Spectra of  $\gamma$ -Quanta  
Produced in  $\pi^-C^{12}$ - and  $\pi^-N$ -Interactions at  
40 GeV/c

Results of comparison of different characteristics of  $\gamma$ -quanta produced in the reactions  $\pi^-C^{12} \rightarrow \gamma + X$  and  $\pi^-N \rightarrow \gamma + X$  at 40 GeV/c are presented. The analysis reveals some empirical laws for the dependence of the inclusive and semiinclusive spectra of the  $\gamma$ -quanta on the  $A$  of the target nucleus. The experimental data are analysed in the framework of different models of hadron-nucleus interactions.

The investigation has been performed at the Laboratory of High Energies, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research

Dubna 1976

## Введение

В настоящей работе приведены результаты сравнения различных характеристик  $\gamma$ -квантов в реакциях



и



при импульсе 40 ГэВ/с.

Экспериментальные данные\* получены с помощью двухметровой пропановой пузырьковой камеры ОИЯИ, облученной  $\pi^-$ -мезонами с импульсом  $pc = /40,00 \pm \pm 0,24/$  ГэВ на серпуховском ускорителе. В соответствии со стандартными критериями для пропановых камер /см., напр., /1/, найденные при просмотре события классифицировались как  $\pi^-p$ -,  $\pi^-n$ - и  $\pi^-C$ -взаимодействия. Нормировка, проведенная на полное сечение взаимодействия  $\pi^-$ -мезонов с молекулой пропана, показывает, что  $\pi^-C^{12}$ -соударения /включая столкновения на квазисвободных нуклонах ядра углерода/ составляют 74% от всех событий, зарегистрированных в камере. В дальнейшем это учитывалось статистически. К взаимодействиям  $\pi^-$ -

\* В работе использованы данные, обработанные сотрудничеством Будапешт - Бухарест - Варшава - Дубна - Краков - Серпухов - София - Ташкент - Тбилиси - Улан-Батор - Ханой.

мезонов с нуклонами были отнесены  $\pi^-p$ - и  $\pi^-n$ -события. Процедура обработки и выделения реакций типа /1/ и /2/ изложена в работах /2,3/.

Приведенные ниже данные основаны на анализе 10823 некогерентных \*  $\pi^-C^{12}$ -взаимодействий и 9187 неупругих  $\pi^-N$ -соударений. Числа  $\gamma$ -квантов в этих событиях составляют соответственно 12803 и 9948.

### Множественность $\pi^0$ -мезонов

В табл. 1 представлены средние множественности  $\pi^0$ -мезонов в  $\pi^-p$ -,  $\pi^-n$ -,  $\pi^-N$ - и  $\pi^-C^{12}$ -взаимодействиях при 40 ГэВ/с<sup>/10/</sup>. Значение  $\langle n_{\pi^0}(\pi^-N) \rangle$  определялось в соответствии с формулой  $\langle n_{\pi^0}(\pi^-N) \rangle = 1/2[\langle n_{\pi^0}(\pi^-p) \rangle + \langle n_{\pi^0}(\pi^-n) \rangle]$ , где множитель 1/2 появляется вследствие одинакового числа протонов и нейтронов в ядре углерода.

Таблица 1

Тип взаимодействия	Число событий в эфф. области	Число $\gamma$ -квантов	$\langle n_{\pi^0} \rangle$
$\pi^-p$	6713	7331	$2,52 \pm 0,03$
$\pi^-n$	2474	2617	$2,41 \pm 0,05$
$\pi^-C^{12}$	10823	12803	$2,91 \pm 0,04$
$\pi^-N$	9187	9948	$2,47 \pm 0,03$

Отношение  $R_{\pi^0}$  средних множественностей  $\pi^0$ -мезонов, образованных в  $\pi^-C^{12}$  и  $\pi^-N$ -взаимодействиях, оказалось равным

$$R_{\pi^0} = \frac{\langle n_{\pi^0}(\pi^-C^{12}) \rangle}{\langle n_{\pi^0}(\pi^-N) \rangle} = 1,18 \pm 0,02$$

и в пределах ошибок совпадает с данными, полученными для заряженных пионов /4/.

\* Исключены только когерентные каналы  $\pi^-C^{12} \rightarrow \pi^- \pi^- \pi^+ C^{12}$ .

В модели Готтфрида /5/ для отношения средних множественностей в адрон-ядерных и адрон-нуклонных взаимодействиях предсказывается соотношение

$$R_G = 2/3 + 1/3 \cdot \bar{\nu} + b, \quad /3/$$

где  $\bar{\nu}$  - среднее число внутриядерных столкновений налетающей /или лидирующей/ частицы,  $b$  - величина порядка  $(\ln s)^{-1}$ ,  $s$  - квадрат полной энергии адрон-нуклонного соударения в с.ц.м.

В двухфазовых моделях /6/ для этого же отношения дается выражение

$$R_{FT} = 1/2 + 1/2 \cdot \bar{\nu}. \quad /4/$$

Если использовать гауссово распределение плотности нуклонов в ядре углерода, для среднего числа внутриядерных соударений в  $\pi^-C^{12}$ -взаимодействиях при 40 ГэВ/с получается /4/ :  $\bar{\nu} = 1,53$ .

Подставляя это значение в /3/ и /4/ и пренебрегая членами порядка  $(\ln s)^{-1}$ , получаем соответственно:  $R_G = 1,18$  и  $R_{FT} = 1,27$ .

Как видно, модель каскада потока энергии /5/ неплохо согласуется с данными настоящей работы \*.

### Инклюзивные характеристики

На рис. 1 представлены нормированные на неупругие сечения распределения  $\gamma$ -квантов по быстротам

\* Необходимо отметить, что использованное значение отличается от величины, определяемой из соотношения

$$\bar{\nu}' = \frac{A \sigma_{nN}}{\sigma_{nA}}, \quad \text{где } A - \text{ атомный номер ядра-мишени, } \sigma_{nN} \text{ и}$$

$\sigma_{nA}$  - неупругие сечения адрон-нуклонных и адрон-ядерных взаимодействий. Расчеты при 40 ГэВ по этой формуле для  $\pi^-C^{12}$ -взаимодействий дают:  $\bar{\nu}' = 1,37$  и тогда соответственно  $R_G = 1,12$  и  $R_{FT} = 1,19$ , что также не противоречит эксперименту.

$$y = \frac{1}{2} \ln \frac{E + p_{||}}{E - p_{||}}$$

в лабораторной системе координат для

реакций /1/ и /2/.

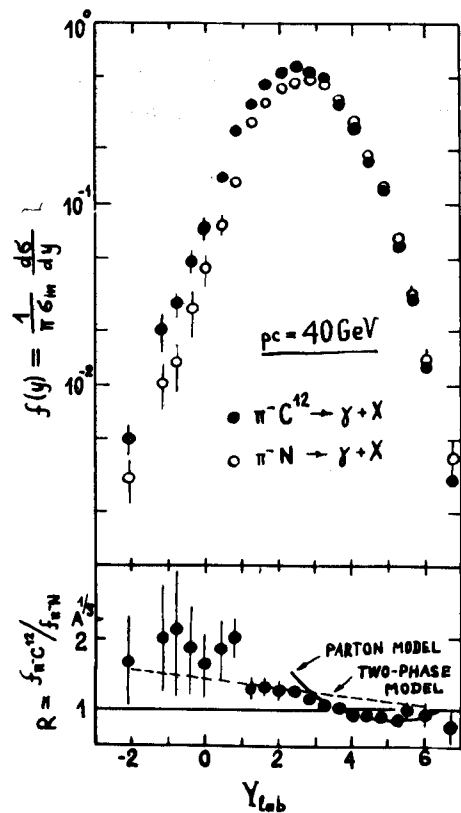


Рис.1. Распределения  $\gamma$ -квантов по быстротам в л.с.к. в реакциях /1/ и /2/ и отношение нормированных инклюзивных сечений. Сплошная кривая - предсказание партонной модели /7/; штриховая прямая соответствует двухфазовой модели /6/.

Распределение для  $\pi^-N$ -взаимодействий получено с помощью соотношения

$$f_{\pi^-N}(y) = \left( \frac{1}{\pi \sigma_{in}} \frac{d\sigma}{dy} \right)_{\pi^-N} =$$

$$= \frac{1}{2} \left[ \left( \frac{1}{\pi \sigma_{in}} \frac{d\sigma}{dy} \right)_{\pi^-p} + \left( \frac{1}{\pi \sigma_{in}} \frac{d\sigma}{dy} \right)_{\pi^-n} \right],$$

/5/

/ $\pi^-p$  и  $\pi^-n$  соответственно  $\pi^-p$ - и  $\pi^-n$ -соударения/.

На этом же рисунке показано отношение нормированных инклюзивных спектров  $\gamma$ -квантов в  $\pi^-C^{12}$  и  $\pi^-N$ -взаимодействиях:

$$R(y) = \frac{f_{\pi^-C^{12}}(y)}{f_{\pi^-N}(y)} = \frac{(1/\pi \sigma_{in} d\sigma/dy)_{\pi^-C^{12}}}{(1/\pi \sigma_{in} d\sigma/dy)_{\pi^-N}}$$

Видно, что спектры  $\gamma$ -квантов в реакциях /1/ и /2/ различаются практически при всех значениях  $y$ . Значение  $R(y)$  максимально в области  $y < -1$ , затем плавно спадает, пересекая  $R=1$  при  $y \approx 4$  и, пройдя через минимум в районе  $y \approx 5$ , стремится к единице снизу.

Такое поведение инклюзивных спектров в адрон-ядерных взаимодействиях находится в согласии с предсказаниями партонной модели Н.Н.Николаева /7/. Сплошная кривая на рис. 1 представляет расчеты по этой модели в области  $y > 3$ . Видно, что экспериментальные данные удовлетворительно описываются моделью.

В некоторых партонных моделях /см., напр., /8/ / вводится понятие критической быстроты  $y_{crit}$ , значение которой определяется радиусом ядра-мишени  $\xi$  и време-

нем жизни партона  $\tau_0$ :  $y_{crit} = \ln \frac{4\xi}{\tau_0}$ ,  $h = c = 1$ . В этих

же моделях предсказывается, что отношение  $R(y)$  должно быть больше единицы в области  $y < y_{crit}$  и  $R(y) = 1$  при  $y > y_{crit}$ . Данные настоящего эксперимента показывают, что для ядра углерода  $y_{crit} \approx 4$ . Тогда, используя выражение для  $y_{crit}$ , можно оценить верхнюю границу времени жизни

партона  $\tau_0 \lesssim \frac{4\xi}{e^{y_{crit}}} = \frac{4A^{1/3}}{e^{y_{crit}}} = 0,17 \text{ Фм}$ , что на порядок

меньше характерного времени сильных взаимодействий

$$\tau = \frac{1}{m_\pi} = 1,4 \text{ Фм} / m_\pi - \text{масса } \pi - \text{мезона} / .$$

Штриховая прямая на *рис. 1* соответствует предсказанию двухфазовой модели Фишбана-Трефила<sup>/6/</sup> при асимптотических энергиях. Согласно этой модели, отношение  $R(y)$  максимально в области минимальных значений быстрой и равно  $R(y)=\bar{v}$ . В области максимальных значений  $y$  величина  $R(y)$  стремится к единице сверху. При конечных энергиях модель предсказывает ступенчатый спад отношения  $R(y)$  вдоль прямой, нанесенной на *рис. 1*.

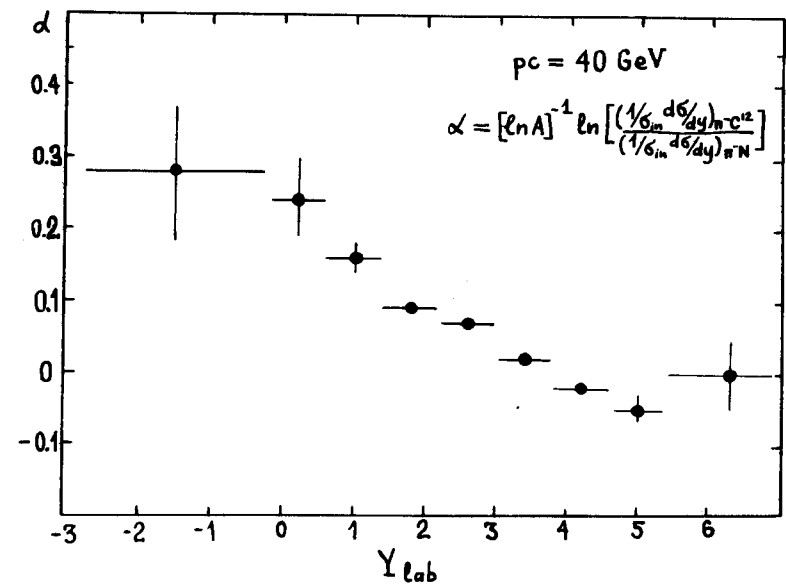
Из рисунка видно, что модель при  $y < 0,5$  не противоречит эксперименту, хотя следует отметить большие значения экспериментальных ошибок в этом случае.

Необходимо также подчеркнуть, что представленные данные в области  $y \leq 0,5$  не противоречат предсказанию и некоторых других моделей адрон-ядерных взаимодействий /см., напр.,<sup>/5,9/</sup>/.

Одной из важных характеристик адрон-ядерных взаимодействий является зависимость инклюзивных спектров вторичных частиц от атомного номера ядра-мишени. Предполагая, что отношение  $R(y)$  параметризуется в виде

$$R(y) = \frac{f_{nA}(y)}{f_{nN}(y)} = A^a(y) \quad /6/$$

/A - атомный номер ядра/, мы определили зависимость параметра  $a(y)$  от быстрой в л.с.к. /*рис. 2*/. Величина  $a$ , как видно из рисунка, уменьшается приблизительно линейно с ростом  $y$  и в области  $y \geq 3,5$   $a \approx 0$ .



*Рис. 2.* Зависимость параметра  $a(y)$  в отношении /6/ от быстрой  $y$ -квантов в л.с.к.

На *рис. 3* представлены распределения  $y$ -квантов по квадрату поперечного импульса  $p_\perp^2$  в реакциях /1/ и /2/. Оба распределения нормированы на неупругие сечения соответственно  $\pi^-C^{12}$  и  $\pi^-N$ -взаимодействий. На этом же рисунке представлено отношение

$$R(p_\perp^2) = \frac{f_{\pi^-C^{12}}(p_\perp^2)}{f_{\pi^-N}(p_\perp^2)} \equiv \frac{(1/\sigma_{in} d\sigma/dp_\perp^2)_{\pi^-C^{12}}}{(1/\sigma_{in} d\sigma/dp_\perp^2)_{\pi^-N}}$$

в зависимости от  $p_\perp^2$ . Видно, что формы  $p_\perp^2$ -распределений одинаковы для реакций /1/ и /2/ и при этом

$$f_{\pi^-C^{12}}(p_\perp^2) \geq f_{\pi^-N}(p_\perp^2).$$

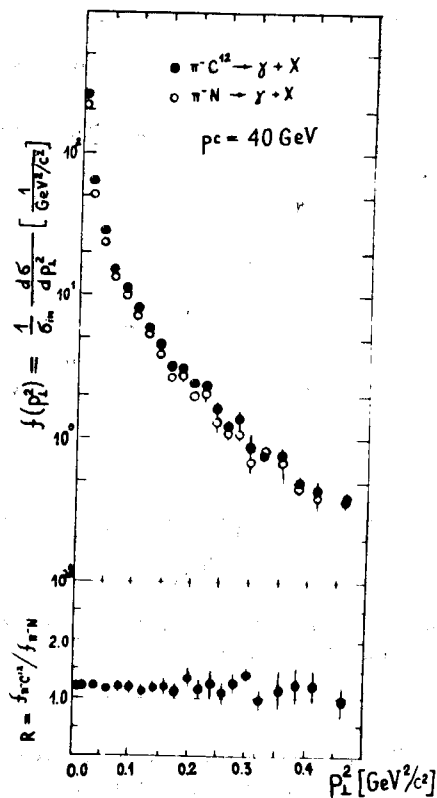


Рис. 3. Распределения  $\gamma$ -квантов по квадрату поперечного импульса в реакциях /1/ и /2/. Внизу показано отношение нормированных инклюзивных сечений в  $\pi^-C^{12}$  и  $\pi^-N$ -взаимодействиях.

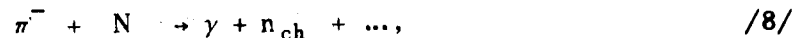
В интервале  $0 \leq p_{\perp} \leq 1,5$  ГэВ/с средние значения поперечных импульсов  $\gamma$ -квантов в обоих типах взаимодействий совпадают в пределах ошибок:  $\langle p_{\perp} \rangle_{\pi^-N} = 167 \pm 2$  МэВ/с и  $\langle p_{\perp} \rangle_{\pi^-C^{12}} = 166 \pm 2$  МэВ/с.

#### Полуинклюзивные характеристики

В данной работе проведено также сравнение различных характеристик  $\gamma$ -квантов в полуинклюзивных реакциях типа



и



где  $n_{ch}$  - множественность заряженных частиц /в  $\pi^-C^{12}$  взаимодействиях  $n_{ch}$  не включает визуально идентифицированные протоны/.

Как показывает анализ, формы спектров  $\gamma$ -квантов по полным ( $p$ ), поперечным ( $p_{\perp}$ ) и продольным ( $p_{\parallel}$ ) импульсам в л.с.к. в реакциях /1/ и /2/ практически не отличаются друг от друга при любых множественностях заряженных частиц.

На рис. 4 представлены зависимости средних значений  $p$ ,  $p_{\parallel}$ ,  $p_{\perp}$  и  $\cos\theta$  /  $\theta$  - угол вылета  $\gamma$ -кванта в л.с.к./ от множественности  $n_{ch}$ . Характер зависимости указанных величин от  $n_{ch}$  приблизительно одинаков для обоих типов

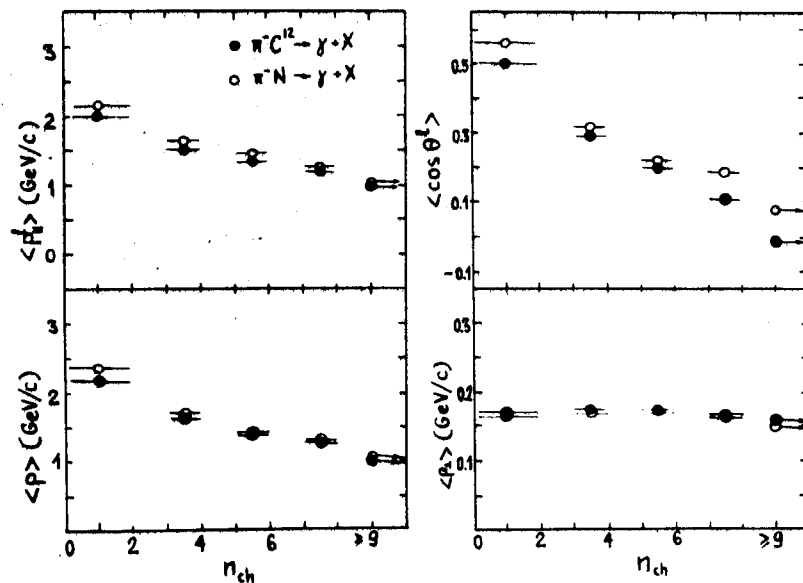


Рис. 4. Зависимости средних характеристик  $\gamma$ -квантов в л.с.к. от множественности заряженных частиц в полуинклюзивных реакциях /7/ и /8/.

взаимодействий. Обращает на себя внимание независимость средних поперечных импульсов  $\gamma$ -квантов от множественности заряженных частиц.

Нам приятно выразить глубокую благодарность за полезные обсуждения Н.Н.Николаеву и участникам сотрудничества по обработке снимков с двухметровой пропановой пузырьковой камеры ОИЯИ.

#### *Литература*

1. Bucharest - Budapest - Cracow - Dubna - Hanoi - Moscow - Sofia - Tashkent - Tbilisi - Ulan-Bator - Warsaw Collaboration. *Phys.Lett.*, 39B, 571 (1972).
2. Bucharest - Budapest - Cracow - Dubna - Hanoi - Moscow - Sofia - Tashkent - Tbilisi - Ulan-Bator - Warsaw Collaboration, *Phys.Lett.*, B63, 114 (1973).
3. Bucharest - Budapest - Cracow - Dubna - Hanoi - Moscow - Sofia - Tashkent - Tbilisi - Ulan-Bator - Warsaw Collaboration, *Nucl.Phys.*, B83, 365 (1974).
4. С.А.Азимов и др. *ЯФ*, 22, 1168 /1975/.
5. K.Gottfried. CERN preprint TH 1735 (1973); *Phys. Rev.Lett.*, 32, 957 (1974).
6. P.M.Fishbane, J.S.Trefil. *Phys.Lett.*, 51B, 139(1974).
7. Н.Н.Николаев. Доклад на IV Международном семинаре по проблемам физики высоких энергий /множественные процессы/, Дубна, 1975 г., Препринт ИТФ-18. Черноголовка, 1975.
8. L.Bertocchi. *Multiparticle Production on Nuclei-Theory, Report IC/75/67, 1975, Miramare-Trieste.*
9. О.В.Канчели. Письма в ЖЭТФ, 18, 465 /1973/.
10. Н.Ангелов, К.П.Вишневская, В.Г.Гришин и др. Препринт ОИЯИ, P1-9882, Дубна, 1976.

Рукопись поступила в издательский отдел  
11 октября 1976