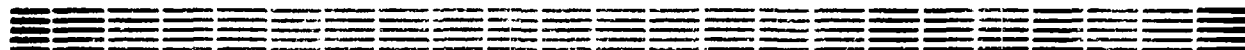


Препринт ВФИ-1228(14)-90

ԵՐԵՎԱՆԻ ՖԻԶԻԿԱԶԻ ԻՆՏԻՏՈՒՏ  
ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
YEREVAN PHYSICS INSTITUTE



А.А. АРАКЕЛЯН, В.М. АСАТУРЯН, Г.Р. ГУЛКАНЯН,

А.Г. ХУДАВЕРДЯН

ПОЛУИНКЛЮЗИВНЫЕ СПЕКТРЫ КУМУЛЯТИВНЫХ ПРОТОНОВ

В  $\pi^-$ С - ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ ПРИ 5 ГэВ/С

ЦНИИатоминформ  
ЕРЕВАН-1990

Ա.Ա.ԱՌԱՔԵԼՅԱՆ\*, Վ.Մ.ԱՍՏԱՌԻՐՅԱՆ\*, Հ.Ի.ԳՈՒԼՔԱՆՅԱՆ

Ա.Հ.ԽՈՒԴԱՎԵՐԴՅԱՆ\*

5 ԳԷՎ/Ը -ԳԵՊԵՌՈՒՄ  $\mathcal{F}^{\pm}$  -ՓՈԽԱԳԵՑՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐՈՒՄ  
ԿՈՒՄՈՒԼՅԱՏԻՎ ՊՐՈՏՈՆՆԵՐԻ ԱՌԱՌՆԱԼՈՒՑԻՎ ԱՊԵԿՏՐՆԵՐԸ

Ուսումնասիրվում է 5 ԳԷՎ/Ը -դեպքում  $\mathcal{F}^{\pm}$  -փոխազդեցություններում  $\theta > 90^\circ$  անկյունների տակ թռչող պրոտոնների էներգետիկ սպեկտրների կախվածությունը ուղեկցող մասնիկների բազմակիությունից և մի շարք այլ բնութագրերից: Ցույց է տրվել, որ երբ ինվարիանտ սպեկտրները պարամետրիզացվում են  $\exp(-T/T_0)$  կախվածությամբ /պրոտոնների էներգիայի  $T = 30-200$  ՄէՎ տիրույթում/, ապա անկման  $T_0$  պարամետրը պերիֆերիկ և մեկ ետ թռչող պրոտոնով դեպքերի համար զգալիորեն փոքր է, քան հետևյալ դեպքերի համար. գոյություն ունի երկու կամ ավելի ետ թռչող պրոտոն. որոնք բնութագրվում են հաղորդ-միջուկային փոխազդեցության համեմատաբար փոքր նշանակետային պարամետրով և մեծ թվով երկրորդային փոխազդեցություններով. որոնցում ետ թռչող պրոտոնի առաջացման մեջ մեծ ներդրում ունի երկրորդային  $\mathcal{F}^+$  -մեզոնի քվազիդեյտրոնային գույգի կողմից կլանման մեխանիզմը:

Երևանի Փիզիկայի ինստիտուտ

Երևան 1990

\* Երևանի պետական համալսարան

УДК 539.12:001.5

А.А. АРАКЕЛЯН<sup>\*)</sup>, В.М. АСАТУРЯН<sup>\*)</sup>, Г.Р. ГУЛКАНЯН,  
А.Г. ХУДАВЕРДЯН<sup>\*)</sup>

ПОЛУИНКЛЮЗИВНЫЕ СПЕКТРЫ КУМУЛЯТИВНЫХ ПРОТОНОВ  
В  $\pi^-$ -С- ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ ПРИ 5 ГэВ/С

Исследована зависимость энергетических спектров протонов, вылетающих под углами  $\vartheta > 90^\circ$  в  $\pi^-$ -С- взаимодействиях при 5 ГэВ/с, от множественных и ряда других характеристик сопровождающих частиц. Показано, что при параметризации инвариантных спектров зависимостью  $\exp(-T/T_0)$  (в области энергий протонов  $T = 30-200$  МэВ) параметр наклона  $T_0$  для взаимодействий периферического типа и для событий с одним протоном - назад значительно меньше, чем для выборок событий: i) в которых присутствуют два или более протонов - назад; ii) которые характеризуются сравнительно малыми прицельными параметрами адрон-ядерного столкновения и большим числом вторичных внутриядерных взаимодействий; iii) для которых заметный вклад в образование протона - назад вносит механизм поглощения вторичного  $\pi^+$ - мезона квазидейтронной парой в ядре.

Ереванский физический институт  
Ереван 1990

---

<sup>\*)</sup> Ереванский государственный университет

A.A. ARAKELYAN\*, V.M. ASATURYAN\*, H.R. GULKANYAN,  
A.L. KHUDAVERDYAN\*

SEMIINCLUSIVE SPECTRA OF CUMULATIVE PROTONS IN  
 $\pi^-$ -C INTERACTIONS AT 5 GeV/c

The dependence of the energy spectra of protons escaping at angles  $\theta > 90^\circ$  in  $\pi^-$ -c-interactions at 5 GeV/c on the multiplicity and other characteristics of accompanying particles is investigated. It is shown that when parametrizing the invariant spectra by the dependence  $\exp(-T/T_0)$  (in the proton energy range  $T=30-200$  MeV), the slope parameter  $T_0$  for peripheric type interactions and for events with one backward proton is noticeably smaller than for the samples of events: i) where two or more backward protons are present; ii) which are characterized by comparatively small impact parameters of hadron-nuclear collisions and a large number of secondary intranuclear interactions; iii) for which the mechanism of the secondary  $\pi^+$ -meson absorption by a quasideuteron pair in the nucleus makes a noticeable contribution to the production of backward protons.

Yerevan Physics Institute

Yerevan 1990

---

\*Yerevan State University

Новую информацию о механизмах образования кумулятивных протонов (протонов, которые при взаимодействии частиц высоких энергий с ядрами вылетают в запрещенную для реакций на свободном нуклоне область) могут дать эксперименты, в которых, наряду с ними, регистрируются и другие конечные продукты реакции. В частности, представляет интерес изучение полуинклюзивных спектров кумулятивных протонов (КП) в зависимости от множественных характеристик сопровождающих их частиц, т.е. для различных выборок событий, отличающихся друг от друга, например, средним прицельным параметром адрон-ядерного столкновения, количеством внутриядерных столкновений и т.д. В настоящее время выполнено сравнительно небольшое число таких экспериментов. В работах [1,2] изучались полуинклюзивные спектры протонов, вылетающих под углами

$\vartheta_p > 120^\circ$  во взаимодействиях  $\pi^-$ -мезонов с ядрами при импульсе 3,7 ГэВ/с, для выборок событий, для которых в конечном состоянии присутствуют по крайней мере четыре протона и отсутствуют

$\pi^-$ -мезоны. Было показано, что для ядра свинца в энергетическом спектре КП в пределах экспериментальных ошибок (достигающих для  $T_p \geq 100$  МэВ 30% и более) не наблюдается статистически обес-

печенная зависимость от полного числа  $n$  протонов в событии, однако некоторое ужесточение спектров при переходе от событий с  $n = 4-5$  к событиям с  $n \geq 6$  нельзя исключить. Не наблюдается также зависимость (опять-таки с погрешностью, превышающей 25% при  $T_p \geq 100$  МэВ) энергетических спектров КП от их числа  $n_k$  ( $n_k = 1, 2, 3, 4$ ); с еще меньшей статистической точностью такой же вывод сделан для ядер  $Al$  и  $Si$ .

В работе [3] изучались полуинклюзивные спектры КП во взаимодействиях  $\pi^-$ -мезонов с импульсом 3,9 ГэВ/с в легком фреоне (средний атомный вес  $\bar{A} = 22,5$ ) для выборок событий, содержащих разное число КП. Наблюдалось лишь незначительное ужесточение спектров при увеличении  $n_k$ : при параметризации инвариантного спектра в виде  $\exp(-Bp^2)$  параметр  $B$  для событий с  $n_k = 1$  примерно на 8% больше, чем для событий с  $n_k > 1$ .

Полуинклюзивные спектры КП на более легкой мишени (ядре углерода) изучались в работе [4] на пучках  $\pi^-$ -мезонов с импульсом 4 ГэВ/с и нейтронов со средним импульсом 7 ГэВ/с. Был сделан вывод о нечувствительности инклюзивных спектров КП к полному числу протонов в событии, однако небольшая статистическая точность данных (особенно в области  $T_p > 100$  МэВ) не позволяет делать определенных заключений об их зависимости (или независимости) от числа КП.

Целью настоящей работы является изучение полуинклюзивных спектров протонов, вылетающих в заднюю полусферу во взаимодействиях  $\pi^-$ -мезонов с ядрами углерода при импульсе 5 ГэВ/с, для различных выборок событий по множественности сопровождающих частиц: идентифицированных протонов (в том числе кумулятивных),  $\pi^+$ -мезонов с импульсами до 700 МэВ/с,  $\pi^-$ -мезонов, заряжен-

ных частиц (независимо от типа), а также по некоторым другим величинам, характеризующим процессы неупругого адрон-ядерного взаимодействия и образования КП (см. ниже).

Эксперимент выполнен на метровой пропановой пузырьковой камере Лаборатории Ядерных Проблем ОМЛ [5], облученной на синхрофазотроне ОМЯИ пучком  $\pi^-$ -мезонов с импульсом 5 ГэВ/с. Анализ основан на 12000 событиях, удовлетворяющих критериям отбора [6] неупругих  $\pi^-$ -С - взаимодействиям, из которых было отобрано 4886 событий, содержащих КП: из них 3392 события с одним, 1262 события с двумя и 232 события с тремя КП. Регистрировались также сопровождающие заряженные частицы, в том числе идентифицированные протоны и  $\pi$ -мезоны.

На рис. I представлены инвариантный инклюзивный спектр КП и полуинклюзивные спектры для выборок событий, содержащих один, два или более КП. Видно, что спектр для  $n_K \geq 2$  имеет значительно более пологую форму, чем спектр для  $n_K = 1$ . Инвариантные спектры в области  $30 \leq T_p \leq 200$  МэВ можно аппроксимировать выражением:

$$f(T_p) = \frac{1}{G_{tot}} \frac{1}{\Delta\Omega P_p} \frac{dG}{dT_p} = A \exp(-T_p/T_0).$$

Для событий с одним КП параметр наклона ( $n_K=1$ ) =  $26,05 \pm 0,7$  МэВ, в то время как для событий с  $n_K \geq 2$  он оказался значительно больше:  $T_0(n_K \geq 2) = 34,4 \pm 1,3$  МэВ.

Отдельно для событий с  $n_K = 2$  и  $n_K = 3$  эти параметры в пределах ошибок примерно одинаковы:  $T_0(n_K = 2) = 34,4 \pm 1,3$ ,  $T_0(n_K = 3) = 35,1 \pm 2,5$  (см. рис. 2а). Отметим, что для инклюзивного спектра наклон  $T_0^{incl} = 27,9 \pm 0,5$  МэВ, т.е. близок

к наклону спектра при  $n_k = 1$ . Интересно отметить, что  $T_0$  практически не зависит от числа идентифицированных протонов  $n_p$ , вылетающих в переднюю полусферу (рис.2б); рост  $T_0$  в зависимости от полного числа протонов  $n_p$  происходит, по-видимому, за счет роста среднего числа  $n_k(n_p)$  при увеличении  $n_p$ . Как видно из рис.2в, наиболее резкое падение спектра КП наблюдается при  $n_p = 1$  или 2 ( $T_0 \approx 24$  МэВ), т.е. когда процесс образования КП сопровождается вылетом не более одного протона с импульсом  $P_p < 700$  МэВ/с.

На рис.3 показана зависимость средних чисел идентифицированных протонов  $\langle n_p \rangle$  и КП  $\langle n_k \rangle$  (для выборки событий, где присутствует по крайней мере один КП) от кинетической энергии КП. Видно, что с увеличением  $T_p$  растут и  $\langle n_p \rangle$ , и  $\langle n_k \rangle$ , причем последнее - несколько более заметнее.

Приведенные данные позволяют предположить, что при малых прицельных параметрах адрон-ядерного взаимодействия, когда образуется сравнительно большое число протонов (протонов - назад), энергетические спектры КП становятся жестче по сравнению со спектрами при более периферических столкновениях. Такую картину можно было бы ожидать, например, в рамках спектаторной модели (модели малонуклонных корреляций) [7]. Согласно этой модели, КП образуются при взаимодействиях налетающей частицы с малонуклонными (в основном двухнуклонными) образованиями, причем КП непосредственно не принимает участие во взаимодействии с налетающей частицей, а вылетает из ядра с импульсом, которым он обладал в связанном состоянии. Так как плотность ядра углерода непрерывно растет к его центру, следовательно, растет и вероятность нахождения нуклонных корреляций со сравнительно большими

внутренними импульсами. Поэтому и следует ожидать, что КП, вылетающие из центральных областей ядра, в среднем будут более энергичными.

Для более детальной проверки этого предположения мы проанализировали выборки событий с различным суммарным зарядом вторичных частиц  $Q = n'_+ - n_-$ , где  $n'_+$  — полное число частиц с положительным зарядом (из которого исключены испарительные протоны с энергией меньше 30 МэВ),  $n_-$  — полное число частиц с отрицательным зарядом. Как известно, среднее значение  $\bar{Q}$  связано со средним числом внутриядерных столкновений:

$\bar{Q} = A/z(\bar{Q} - q_n)$ , где  $z$  — заряд ядра,  $q_n$  — заряд первичной частицы. Можно ожидать, что большим значениям  $Q$  соответствуют в основном взаимодействия с малыми прицельными параметрами столкновения, а малым значениям (например,  $Q = 0,1$ ) — в основном периферические столкновения.

На рис.4 приведена зависимость  $T_0$  от  $Q$ . Видно, что при малых значениях  $Q$  (или среднего числа внутриядерных столкновений) спектры КП имеют значительно более круто падающую форму ( $T_0 = 26,1 \pm 0,7$  МэВ), чем при больших значениях  $Q$ . Мы исследовали также инклюзивные спектры КП для выборки событий с  $Q = 0$  и с полным числом заряженных частиц (помимо КП)

$n'_{ch} = 1,3,5$  (суммарный заряд которых равен  $-1$ ), в состав которых может входить не более одного (вперед летящего) протона. Этим выборкам событий топологически могут соответствовать взаимодействия налетающего  $\pi^-$ -мезона с нейтроном из квазидейтронной пары, находящейся в периферических областях ядра углерода, т.е. реакции типа  $\pi^- d \rightarrow \bar{p} + (\pi n \rightarrow n'_{ch})$ . Оказалось, что для этих выборок событий значения  $T_0$  практически

не зависят от  $n'_{ch}$  (т.е. от характеристик  $\pi^-n$ -взаимодействия) и равны примерно  $T_0 \sim 26$  МэВ, что заметно меньше наклона для выборок событий с  $Q \geq 2$  (см.рис.4).

Представляет также интерес изучение инклюзивных спектров КП для выборок событий с различным числом  $\pi^\pm$ -мезонов и полным числом заряженных частиц в событии  $n_{ch}$ . Как видно из рис.5, параметр  $T_0$  практически не зависит от  $n_{ch}$  и  $n_\pi$ , однако с ростом  $n_{\pi^+}$  наблюдается тенденция к уменьшению  $T_0$ . Последнее обстоятельство, по-видимому, связано с проявлением механизма поглощения вторичных малоэнергичных  $\pi^\pm$ -мезонов в ядерном веществе, сопровождающегося вылетом КП.

Ранее нами были получены свидетельства о проявлениях этого механизма в корреляциях между множественными характеристиками КП и малоэнергичных пионов [8,9] и в корреляциях между кинематическими переменными пары протонов [10-12] в  $\pi^-C$ -взаимодействиях при 5 ГэВ/с; было показано ([10-12], см.также[13]), что при поглощении вторичного  $\pi^\pm$ -мезона квазидеитронной парой в ядре кинематические переменные конечных протонов (обладающих импульсами  $\vec{P}_1, \vec{P}_2$  и кинетическими энергиями  $T_1, T_2$ ) удовлетворяют условию  $\mu^2 = (T_1 + T_2)^2 - (\vec{P}_1 + \vec{P}_2)^2 > -0,3$  (ГэВ/с<sup>2</sup>)<sup>2</sup>, в области же  $\mu^2 < -0,3$  (ГэВ/с<sup>2</sup>)<sup>2</sup> вкладом механизма квазидеитронного поглощения можно пренебречь. С другой стороны, мы исследовали отдельно инклюзивные спектры для двух выборок событий, удовлетворяющих, соответственно, условиям а)  $\mu^2 > -0,3$  (ГэВ/с<sup>2</sup>)<sup>2</sup> и б)  $\mu^2 < -0,3$  (ГэВ/с<sup>2</sup>)<sup>2</sup>. Для этого мы использовали выборку событий с двумя или более заряженными протонами, по крайней мере один из которых удовлетворял параметр наклона  $T_0$  инвариантного спектра для этих выборок

оказался равным  $T_0 = 35,5 \pm 2,3$  МэВ для выборки а) и

$T_0 = 27,7 \pm 1,5$  МэВ для выборки б). необходимо подчеркнуть, что выборка а), кроме событий квазидейтронного поглощения, содержит также некоторую долю "фоновых" событий, связанных с другими механизмами образования КП. Если предположить, что для последних форма инвариантного спектра КП примерно такая же, как и для подвыборки б), то следует ожидать, что спектр КП, образующихся по механизму квазидейтронного поглощения, будет характеризоваться параметром наклона, большим, чем для выборки а), т.е.  $T_0^{\pi d} > 36$  МэВ. Таким образом, из сказанного следует важный вывод о том, что механизму поглощения вторичных  $\pi^+$ -мезонов квазидейтронными парами соответствует значительно более жесткий спектр КП, чем в среднем другим механизмам (в области энергий  $T_p = 50 - 200$  МэВ).

В заключение сформулируем основные выводы данной работы.

Впервые наблюдалась статистически обеспеченная зависимость энергетических спектров КП (в области  $T_p = 30 - 200$  МэВ) от характеристик сопровождающих их частиц в  $\pi^-C$ -взаимодействиях при 5 ГэВ/с. Показано, что во взаимодействиях периферического типа спектры падают значительно быстрее, чем при малых прицельных параметрах столкновения налетающей частицы с ядром. Механизм квазидейтронного поглощения  $\pi^+$ -мезонов характеризуется заметно более жестким спектром, чем в среднем другие механизмы образования КП.

авторы выражают благодарность ю.А.Будагову за предоставление ленты суммарных результатов с 1 м пропановой камеры ОИИИ.

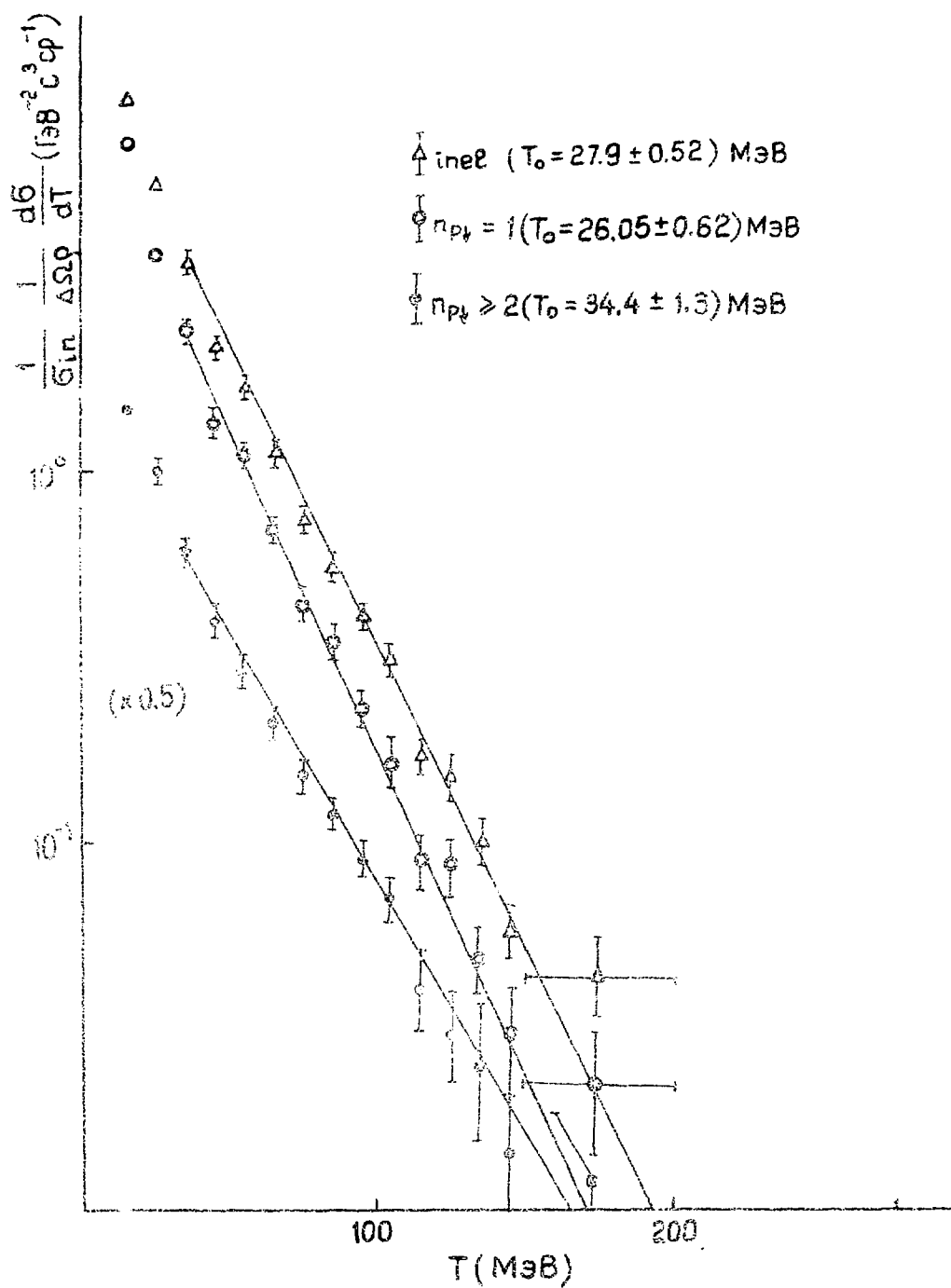


Рис.1 Инвариантные инклюзивные спектры КР для а) всех КР, б) событий, содержащих один ( $n_K = 1$ ) КР, в) событий, содержащих два и более ( $n_K \geq 2$ ) КР.

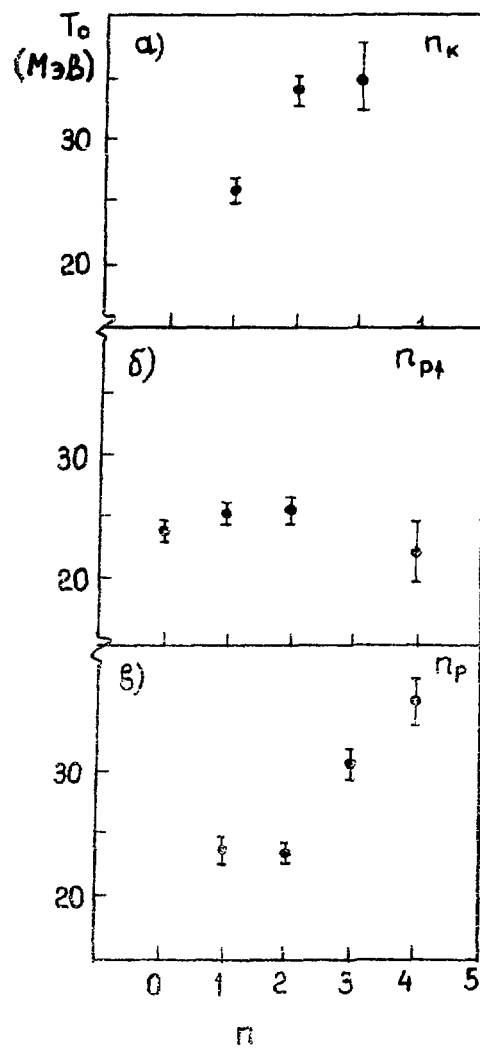


Рис.2 Зависимость параметра наклона  $T_0$  от а) числа КЛ, б) числа вперед летящих протонов, в) общего числа протонов.

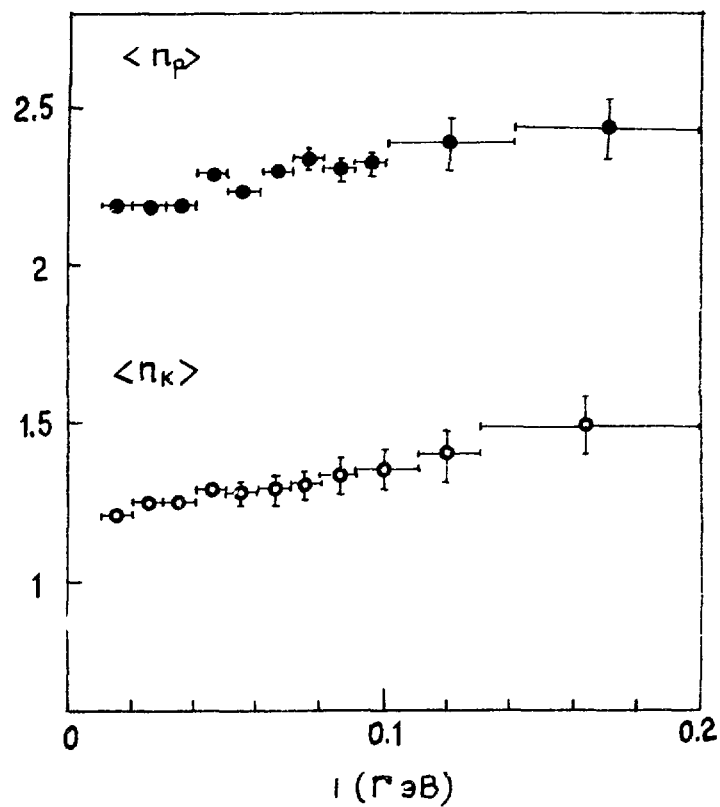


Рис.3 Зависимость среднего числа протонов -  $\langle n_p \rangle$  и  
 нейтронов -  $\langle n_k \rangle$  от кинетической энергии ядра.

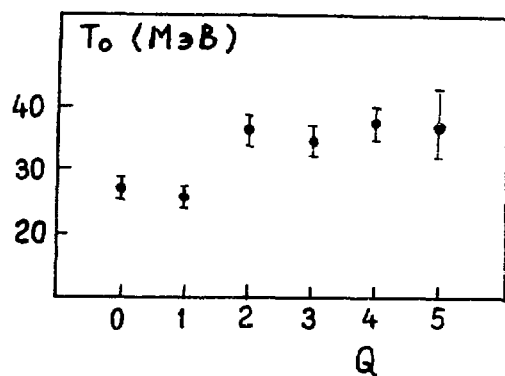


Рис.4 Зависимость параметра наклона  $T_0$  от суммарного заря-  
 да события  $Q$ .

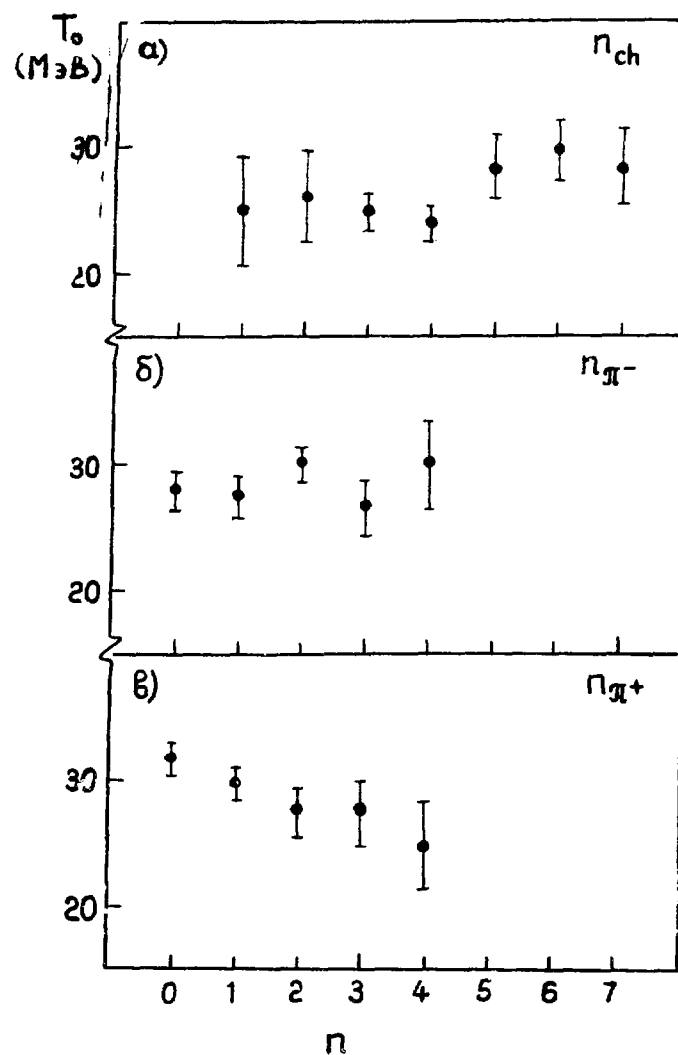


Рис.5 Зависимость параметра наклона  $T_0$  от количества в  
тии а) заряженных частиц  $n_{ch}$ , б)  $\pi^-$ -мезонов,  
в)  $\pi^+$ -мезонов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Арефьев А.В., Баюков М.Д., Гаврилов В.Б. и др. Энергетические спектры вторичных протонов из реакции  $\pi^+A \rightarrow p + p \dots p + \text{нейтр.} + A$ , вылетающих назад в лабораторной системе координат при импульсе  $\pi^-$ -мезонов 3,7 ГэВ/с. Препринт ИТЭФ-109, 1975.
2. Арефьев А.В., Баюков М.Д., Гаврилов В.Б. и др. Изучение  $\pi^+A$ -взаимодействий с вылетом нескольких быстрых протонов. ЯФ, 1978, т.2, с. 716.
3. Горнов М.Г., Лапуткин С.В., Орлов В.И. и др. Характеристики протонов, испускаемых в заднюю полусферу в пион-ядерных взаимодействиях. ЯФ, 1977, т.25, с.606.
4. Темников П.П., Шахбазян Б.А. Испускание протонов назад в многопротонных  $\pi^-C$  и  $pC$  - взаимодействиях. Препринт ОИЯИ РИ-12139, 1979.
5. Богомолов А.В., Будагов Д.А., Василенко А.Т. и др. Метровая пузырьковая камера в магнитном поле. ПТЭ, 1964, № I, с.61.
6. Байрамов А.А., Будагов Ю.А., Валкар Ш. и др. Инклюзивные спектры протонов в  $\pi^-C$  - взаимодействиях при 5 ГэВ. ЯФ, 1982, т.35, с.1627.
7. Стрикман М.Н., Франкфурт Л.Л. Рассеяние частиц высокой энергии как метод исследования малонуклонных корреляций на ядрах. ЭЧАЯ, 1980, т.II, с.571.
8. Асатурян В.М., Байрамов А.А., Гулканын Г.Р. и др. Исследование корреляций между множествами малоэнергичных пионов и протонов-назад в  $\pi^-C$  - взаимодействиях. ЯФ, 1983, т.38, с.864.

9. Асатурян В.М., Гулканян Г.Р., Худавердян А.Г. Исследование корреляций между парами протонов и малоэнергичными пионами образованными в  $\pi^-C$  - взаимодействиях при 5 ГэВ/с. Изв. АН Арм.ССР, 1986, т.21, с.3.
10. Асатурян В.М., Гулканян Г.Р., Худавердян А.Г. Экспериментальная оценка вклада вторичных процессов поглощения в образование кумулятивных протонов. ЯФ, 1987, т.45, с.1059.
11. Аракелян А.А., Асатурян В.М., Гулканян Г.Р., Худавердян А.Г. Оценка вклада вторичных реакций в образование кумулятивных протонов в  $\pi^-C$ - взаимодействиях при 5 ГэВ/с. ЯФ, 1987, т.46, с.1706.
12. Asaturyan V.M., Khudaverdian A. G., Gulkanian H.R.  
" Estimation of the contribution of secondary intranuclear processes to cumulative proton production in  $\pi^-C$ -interaction at 5GeV/c"  
Nucl. Phys. A, 1989, v.497, p.770.
13. Армутлийски Д., Гаспарян А.П., Гришин В.Г. и др. Экспериментальная оценка вклада вторичных процессов поглощения в образование протонов, испущенных в заднюю полусферу, в нуклон-углеродных взаимодействиях при импульсах 4,2 и 10 ГэВ ЯФ, 1987, т.46, с.1712.

Рукопись поступила 4 января 1990 г.

АКЕЛЯН, В. М. АСАТУРЯН, Г. Р. ГУЛКАНЯН, А. Х. ХУДАВЕРДИН  
ПОЛУИНКЛЮЗИВНЫЕ СПЕКТРЫ КУМУЛЯТИВНЫХ ПРОТОНОВ В  
 $\pi^+p$  - ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ ПРИ 5 ГэВ/С

Редактор Л. Н. Мукаян

Технический редактор А. С. Абрамян

---

Подписано в печать 24/УП-90г. ВФ-01351 Формат 60x84/16  
Офсетная печать. Уч. изд. л. 0,5 Тираж 299 экз. Ц. 8 к.  
Зак. тип. л. 190 Индекс 3649

---

Отпечатано в Ереванском физическом институте  
Ереван 36, ул. Братьев Алиханян, 2

**The address for requests:**  
**Information Department**  
**Yerevan Physics Institute**  
Alikhanian Brothers 2,  
Yerevan, 375036  
Armenia, USSR

**ИНДЕКС 3649**



**ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ**