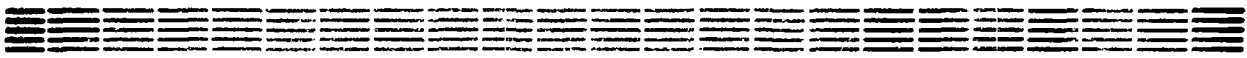


Препринт ВФИ-1228(14)-90

ԵՐԵՎԱՆԻ ՖԻԶԻԿԱԿԱՆ ԻՆՏԻՏՈՒՏ
ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
YEREVAN PHYSICS INSTITUTE



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

ПОЛУИНКЛЮЗИВНЫЕ СПЕКТРЫ КУМУЛЯТИВНЫХ ПРОТОНОВ
В π^- С - ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ ПРИ 5 ГэВ/С

ЦНИИАтоминформ
ЕРЕВАН-1990

Ա.Ա.ԱՌԱՔԵՆՅԱՆ,* Վ.Մ.ԱՍՏԱՌԻՐՑՅԱՆ,* Հ.Է.ԳՈՒԼՔԱՆՅԱՆ

Ա.Հ.ԽՈՒԴԱՎԵՐԴՅԱՆ*

5 ԳԷՎԸ -ԳԵՊԵՌՈՒՄ ԽՇԸ -ՓՈԽԱԳԻԵՑՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐՈՒՄ
ԿՈՒՄՈՒԼՅԱՏԻՎ ՊՐՈՏՈՆՆԵՐԻ ՆԻՍԱԻՆՎՈՒՑԻՎ ԱՊԵԿՏՐՆԵՐԸ

Ուսումնասիրվում է 5 ԳԷՎԸ -դեպքում ԽՇԸ -փոխազդեցություններում $\vartheta > 90^\circ$ 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 հազրոն-միջուկային փոխազդեցության համեմատաբար փոքր նշանակետային պարամետրով և մեծ թվով երկրորդային փոխազդեցություններով. որոնցում ետ թռչող պրոտոնի առաջացման մեջ մեծ ներդրում ունի երկրորդային \mathcal{K}^+ -մեզոնի քվազիդեյտրոնային գույգի կողմից կլանման մեխանիզմը:

Երևանի Փիզիկայի ինստիտուտ

Երևան 1990

* Երևանի պետական համալսարան

УДК 539.12:001.5

А.А. АРАКЕЛЯН^{*)}, В.М. АСАТУРЯН^{*)}, Г.Р. ГУЛКАНЯН,
А.Г. ХУДАВЕРДЯН^{*)}

ПОЛУИНКЛЮЗИВНЫЕ СПЕКТРЫ КУМУЛЯТИВНЫХ ПРОТОНОВ
В π^- -ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ ПРИ 5 ГэВ/с

Исследована зависимость энергетических спектров протонов, вылетающих под углами $\vartheta > 90^\circ$ в π^- -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 π^+ -мезона квазидейтронной парой в ядре.

Ереванский физический институт
Ереван 1990

*) Ереванский государственный университет

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

SEMIINCLUSIVE SPECTRA OF CUMULATIVE PROTONS IN
 π^- -C INTERACTIONS AT 5 GeV/c

The dependence of the energy spectra of protons escaping at angles $\theta > 90^\circ$ in π^- -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 π^+ -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 π^- -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 π^- -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 Cu .

В работе [3] изучались полуинклюзивные спектры КП во взаимодействиях π^- - 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 π^- - 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 π^- - мезонов с ядрами углерода при импульсе 5 ГэВ/с, для различных выборок событий по множественности сопровождающих частиц: идентифицированных протонов (в том числе кумулятивных), π^+ - мезонов с импульсами до 700 МэВ/с, π^- - 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 ОМЯИ [5], облученной на синхрофазотроне ОМЯИ пучком π^- - мезонов с импульсом 5 ГэВ/с. Анализ основан на 12000 событиях, удовлетворяющих критериям отбора [6] неупругих π^- -С - взаимодействий, 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 π^- - 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:

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

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 π^- - мезона с нейтроном из квазидейтронной пары, находящейся в периферических областях ядра углерода, т.е. реакции типа $\pi^- \cdot d \rightarrow \bar{p} + (\pi n \rightarrow n'_{ch})$. Оказалось, что для этих выборок событий значения T_0 практически

не зависят от n'_{ch} (т.е. от характеристик π^-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 π^+ -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_{π^-} , однако с ростом n_{π^+} наблюдается тенденция к уменьшению T_0 . Последнее обстоятельство, по-видимому, связано с проявлением механизма поглощения вторичных малоэнергичных π^+ -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 π^-C -взаимодействиях при 5 ГэВ/с; было показано ([10-12], см. также [13]), что при поглощении вторичного π^+ -мезона квазидейтронной 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/с²)², в области же $\mu^2 < -0,3$ (ГэВ/с²)² вкладом механизма квазидейтронного поглощения можно пренебречь. С другой стороны, мы последовали специально инклюзивные спектры для двух выборок событий, удовлетворяющих, соответственно, условиям а) $\mu^2 > -0,3$ (ГэВ/с²)² и б) $\mu^2 < -0,3$ (ГэВ/с²)². Для этого мы использовали выборку событий с двумя или тремя 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 π^+ -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 π^-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 π^+ -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.

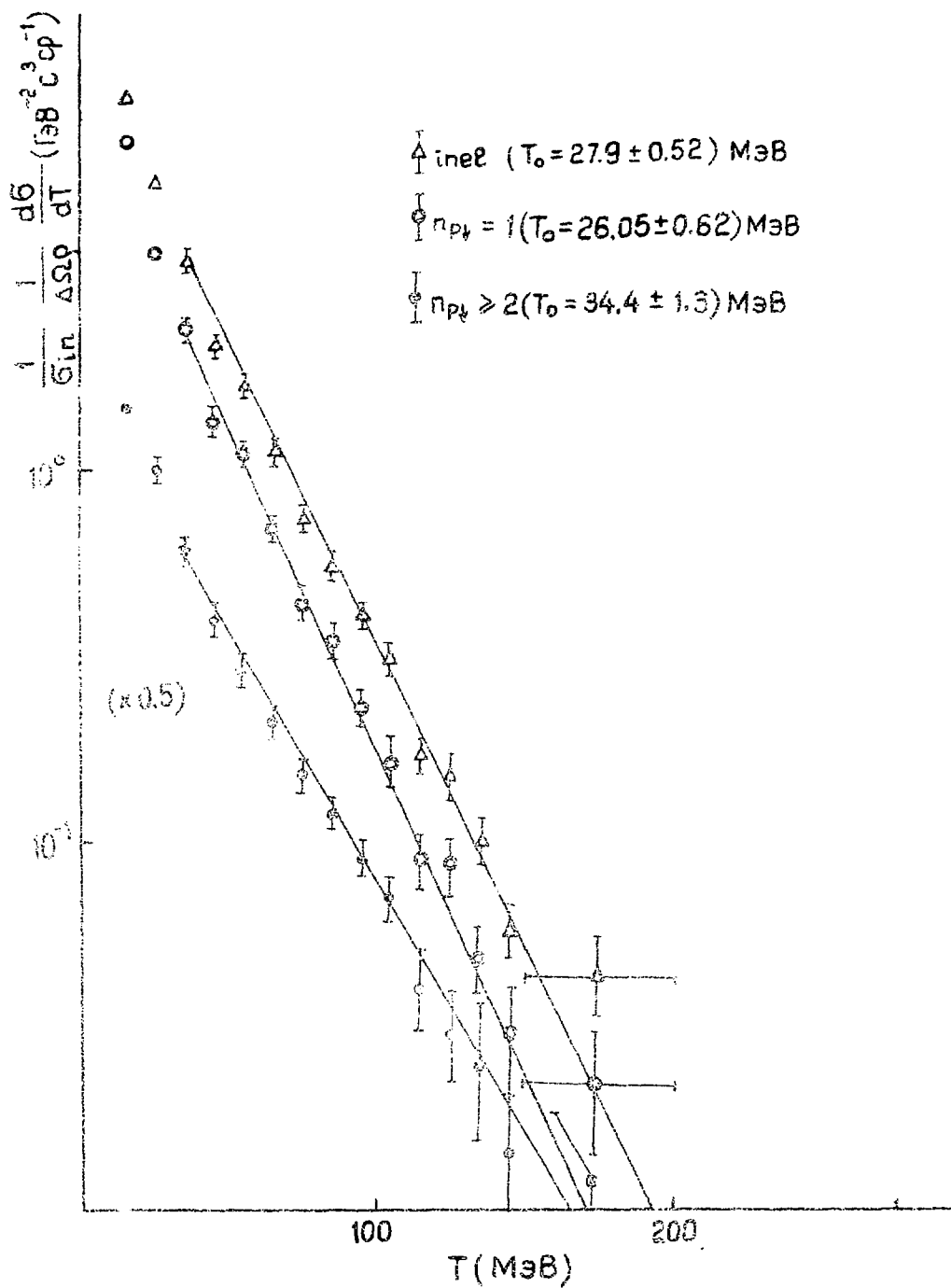


Рис. 1 Инвариантные инклюзивные спектры КП для а) всех КП, б) событий, содержащих один ($n_K = 1$) КП, в) событий, содержащих два и более ($n_K \geq 2$) КП.

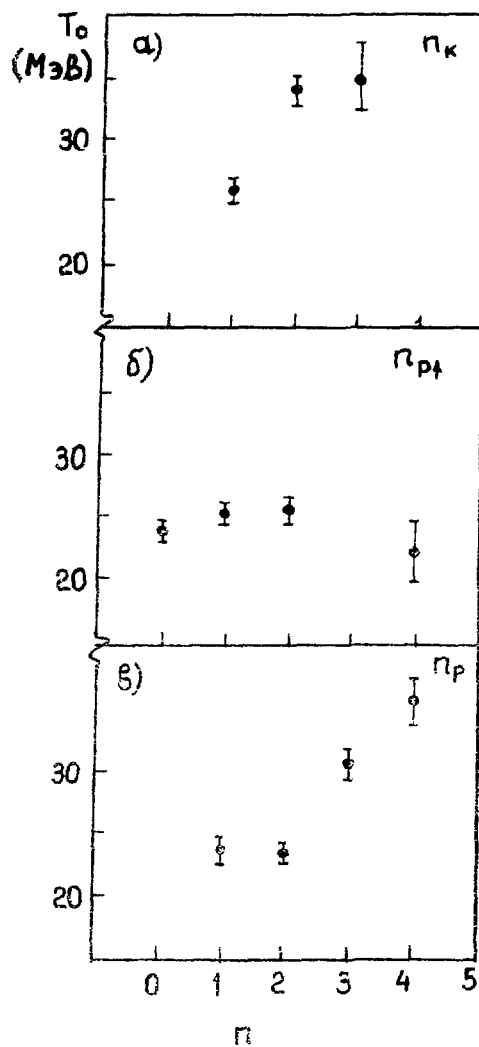


Рис.2 Зависимость параметра наклона T_0 от а) числа кп, б) числа вперед летящих протонов, в) общего числа протонов.

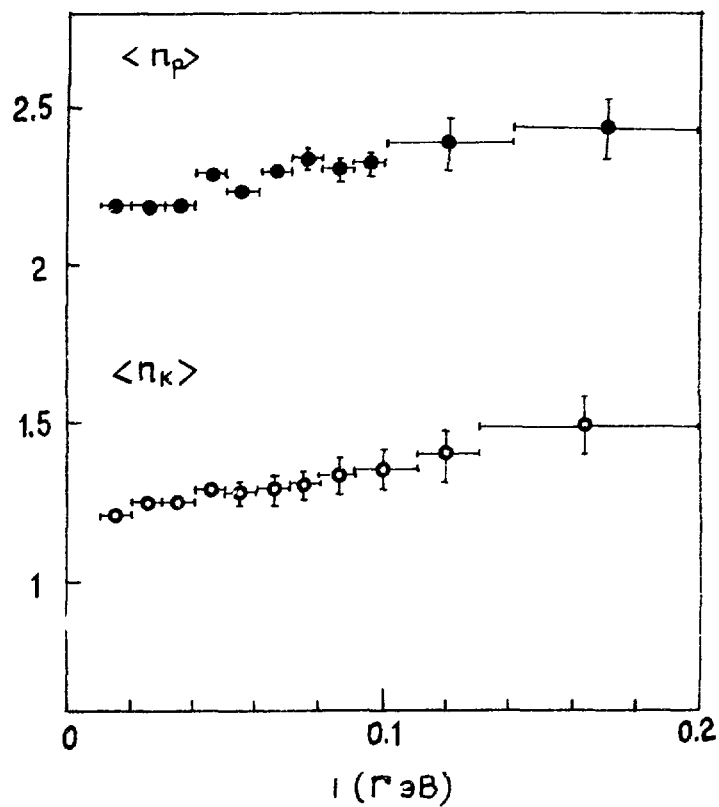


Рис.3 Зависимость среднего числа протонов - $\langle n_p \rangle$ и нейтронов - $\langle n_n \rangle$ от кинетической энергии ядра.

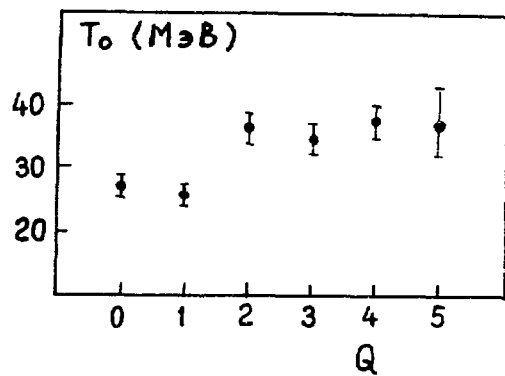


Рис.4 Зависимость параметра наклона T_0 от суммарного заряда события Q .

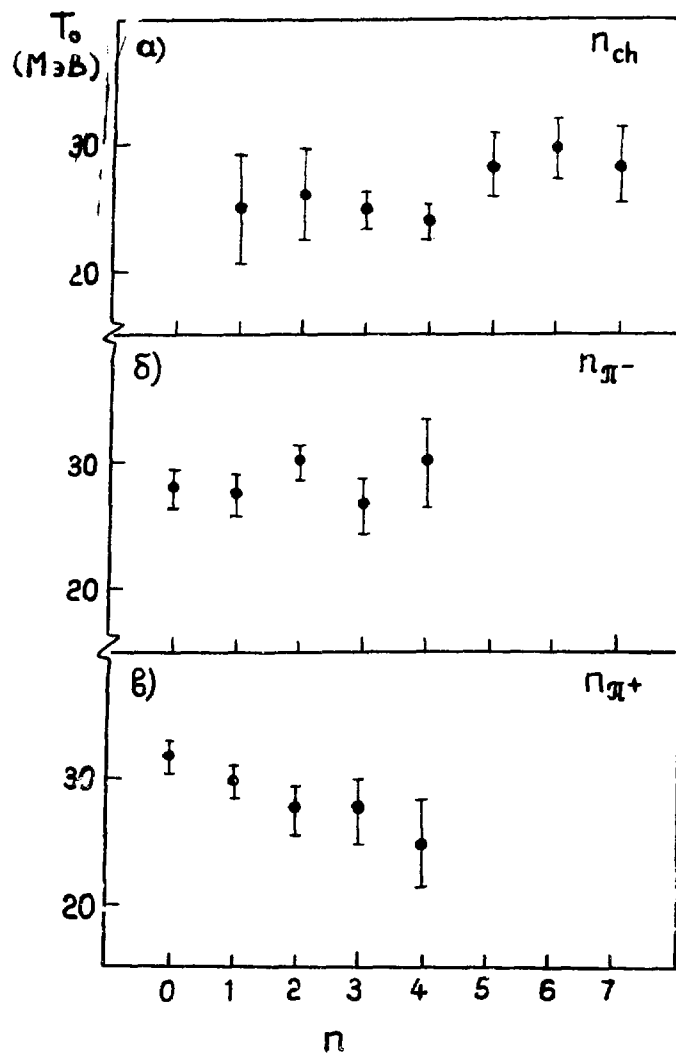


Рис.5 Зависимость параметра наклона T_0 от количества в
тии а) заряженных частиц n_{ch} , б) π^- - мезонов,
в) π^+ - мезонов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Арефьев А.В., Бажков 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 π^- - мезонов 3,7 ГэВ/с. Препринт ИТЭФ-109, 1975.
2. Арефьев А.В., Бажков М.Д., Гаврилов В.Б. и др. Изучение π^-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 π^-C и nC - взаимодействиях. Препринт ОИЯИ Р1-12139, 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 π^-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., Гулкян Г.Р. и др. Исследование корреляций между множествами малоэнергичных пионов и протонов-назад в π^-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 π^-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 π^-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 π^-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. ХУДАВЕРДИ
ПОЛУИНКЛЮЗИВНЫЕ СПЕКТРЫ КУМУЛЯТИВНЫХ ПРОТОНОВ В
π⁻С - ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ ПРИ 5 ГэВ/С

Редактор Л. Н. Мукаян

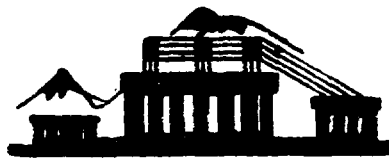
Технический редактор А. С. Абрамян

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. № 190 Индекс 3649

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

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

ИНДЕКС 3649



ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ