

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



СЗ46.46
А - 355

29/IX-75

PI - 9021

С.А.Азимов, Ш.В.Иногамов, К.Р.Игамбердыев,
В.Д.Липин, С.Л.Лутфуллаев, В.Б.Любимов,
Е.В.Меерзон, К.Олимов, Х.А.Ризаев,
В.П.Сосник, Т.М.Усманов, А.А.Юлдашев,
Б.С.Юлдашев, Г.Янчо

3733/2-75

ИЗУЧЕНИЕ ИНКЛЮЗИВНОЙ РЕАКЦИИ

$\pi^- \text{C}^{12} \rightarrow p + X$ ПРИ $PC = 40$ ГЭВ

1975

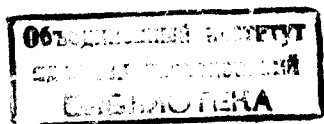
P1 - 9021

С.А.Азимов,* Ш.В.Иногамов,* К.Р.Игамбердыев,*
В.Д.Липин,* С.Л.Лутфуллаев,* В.Б.Любимов,
Е.В.Меерзон,* К.Олимов,* Х.А.Ризаев,*
В.П.Сосник,* Т.М.Усманов,* А.А.Юлдашев,*
Б.С.Юлдашев,* Г.Янчо

ИЗУЧЕНИЕ ИНКЛЮЗИВНОЙ РЕАКЦИИ



Направлено в ЯФ



* Физико-технический институт АН УзССР, Ташкент

Азимов С.А., Иногамов Ш.В., Игамбердиев К.Р. и др. P1 - 9021

Изучение инклюзивной реакции $\pi^- C^{12} \rightarrow pX$ при $PC = 40$ ГэВ

Представлены экспериментальные данные по изучению инклюзивной реакции $\pi^- C^{12} \rightarrow pX$ при $p = 40$ ГэВ/с. Импульсы протонов были ограничены интервалом 140-700 МэВ/с. Характеристики протонов слабо зависят от их множественности. Ассоциативные множественности релятивистских заряженных частиц не зависят от полных и поперечных импульсов протонов. Показано, что в реакции $\pi^- C^{12} \rightarrow mp + X (m \geq 2)$ угловые и импульсные распределения протонов инвариантны относительно энергии первичного π^- -мезона.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований
Дубна 1975

Azimov S.A., Inogamov Sh.V.,
Igamberdiev K.R. et al.

P1 - 9021

Study of the Inclusive Reaction
 $\pi^- C^{12} \rightarrow pX$ at $PC = 40$ GeV

The experimental data are presented on studying the inclusive reaction $\pi^- C^{12} \rightarrow pX$ at 40 GeV/c. The proton momenta were limited in the range of 140-700 MeV/c. The proton characteristics depend weakly on their multiplicity. Associative multiplicities of the relativistic charged particles do not depend on the total and transverse proton momentum. It is shown that in the reaction $\pi^- C^{12} \rightarrow mp + X (m \geq 2)$ the angular and momentum distributions of the protons are invariant with respect to the energy of the primary π^- -meson.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research
Dubna 1975

§1. Введение

В настоящей работе представлены результаты изучения инклюзивной реакции

$$\pi^- + C^{12} \rightarrow p + X \quad /1/$$

при импульсе налетающих π^- -мезонов $p = 40$ ГэВ/с.

Экспериментальные данные получены с двухметровой пропановой пузырьковой камеры ОИЯИ, облученной π^- -мезонами с импульсом $p = /40 \pm 0,4/$ ГэВ/с на Серпуховском синхрофазотроне.

Дважды просмотрено свыше 8000 кадров. При просмотре в соответствии со стандартными критериями для пропановых камер /см., напр., $1/$ отбирались $\pi^- p$, $\pi^- n$ и $\pi^- C$ -взаимодействия. Всего было найдено 3287 звезд, из которых 1430 отнесены к " $\pi^- p$ "-соударениям, 582 - к " $\pi^- n$ " и 1179 - к " $\pi^- C$ ". Нормировка, проведенная на полное сечение взаимодействия π^- -мезонов с молекулой пропана, показала, что из всех " $\pi^- p$ "-событий $/45 \pm 2/\%$ необходимо отнести к соударениям на квазисвободных нуклонах ядра углерода. После введения такой поправки общее число всех $\pi^- C^{12}$ -соударений составило 2405.

Для изучения реакции $/1/$ в найденных событиях ($\pi^- C^{12}$) были отобраны звезды с числом протонов $n_p \geq 1$. Протоны идентифицировались по пробегаем и ионизации. Отобранные события измерялись на полуавтоматах ПИК-1² и обсчитывались по геометрической программе "1-6"³. С целью более надежной идентификации импульсы протонов в реакции $/1/$ были ограничены пределами $140 \leq p \leq 700$ МэВ/с, что соответствует пробегаем в про-

пане $0,3 \leq L \leq 65$ см*. После измерений оказалось, что 9% событий находятся вне эффективной области камеры, а 5% звезд являются неизмеримыми.

В результате для дальнейшего анализа было оставлено 2186 π^-C^{12} -взаимодействий* с 1917 протонами, удовлетворяющими требуемым критериям. Средняя множественность протонов с импульсами $140 \leq p \leq 700$ МэВ/с в π^-C^{12} -соударениях при 40 ГэВ/с составила, таким образом, $\langle n_p \rangle = 0,88 \pm 0,02$.

На рис. 1 показано распределение протонов по азимутальному углу ϕ в зависимости от импульса. Видно,

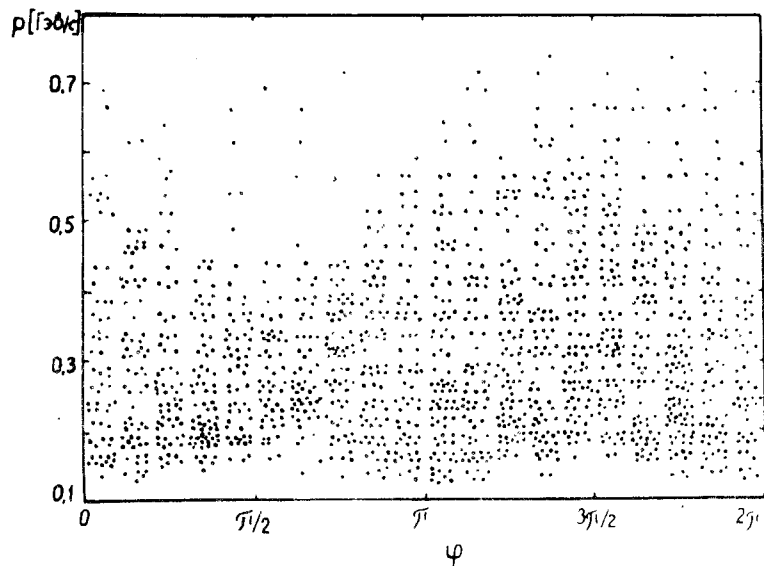


Рис. 1. Импульс протонов в зависимости от азимутального угла.

* В указанном интервале импульсы 7,7% протонов были измерены по кривизне, остальные - по пробегам.

* Указанное число π^-C^{12} -взаимодействий включает соударения на квазисвободных нуклонах и соответствует полному сечению поглощения π^- -мезонов $\sigma_1(\pi^-C^{12}) = 179$ мбн.

что, начиная с импульсов $p \geq 450$ МэВ/с, имеются потери протонов, вылетающих в нижнюю половину ($\phi < \pi$) камеры, где условия освещения не обеспечивают надежную идентификацию таких частиц. Чтобы учесть эти потери, для каждого распределения по какой-нибудь характеристике протона (x_i) были введены веса, определявшиеся как

$$W(x_i) = \frac{2g_1(x_i)}{g_1(x_i) + g_2(x_i)}, \quad /2/$$

где $g_1(x_i)$ и $g_2(x_i)$ - число протонов, вылетающих, соответственно, в верхнюю и нижнюю полусферы камеры при данном x_i .

§2. Ассоциативные множественности

В работе⁴ исследовались ассоциативные множественности в реакции /1/ при импульсе 40 ГэВ/с для протонов, вылетающих назад в лабораторной системе координат. Представляется интересным изучение ассоциативных множественностей в реакции /1/, когда не накладывается ограничений на угол вылета протона.

На рис. 2 показаны средние множественности релятивистских заряженных частиц $\langle n_s \rangle$ в зависимости от полного (p) и поперечного (p_{\perp}) импульсов протонов в реакции /1/. Как видно из рисунка, в пределах экспериментальных ошибок $\langle n_s \rangle$ не зависит от этих характеристик протонов. Аналогичный результат был получен и для протонов, вылетающих назад в лабораторной системе координат. Эти данные, возможно, свидетельствуют в пользу слабой корреляции между релятивистскими заряженными частицами и протонами с импульсами $140 \leq p \leq 700$ МэВ/с в реакции /1/.

§3. Импульсные характеристики

В табл. 1 приводятся вероятности /в %/ вылета протонов с данным импульсом в зависимости от множественности. Из таблицы следует, что в исследуемом интервале

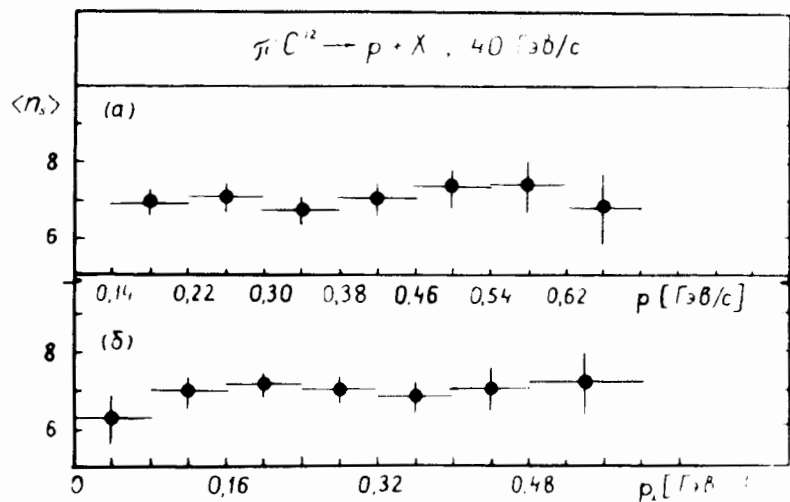


Рис. 2. Средние множественности релятивистских заряженных частиц в зависимости от полного /а/ и поперечного /б/ импульсов протонов в реакции /1/.

импульсов указанная вероятность практически не зависит от множественности протонов.

Аналогичная ситуация имеет место и для средних значений полного ($\langle p \rangle$) и поперечного ($\langle p_{\perp} \rangle$) импульсов, а также для средних косинусов углов вылета протонов в лабораторной системе координат /см. табл. 2/.

На рис. 3 показаны импульсные распределения протонов в реакции /1/, нормированные на полное сечение поглощения в $\pi^- C^{12}$ -взаимодействиях. Здесь же для сравнения приведены аналогичные данные, полученные для протонов с импульсами $140 \leq p \leq 700 \text{ МэВ/с}$ в реакции



при 40 ГэВ/с^* .

* Данные для реакции /3/ получены по 1666 протонам в 8282 неупругих $\pi^- p$ -взаимодействиях, обработанных сотрудничеством Алма-Ата - Будапешт - Бухарест - Варшава - Дубна - Краков - София - Ташкент - Тбилиси - Улан-Батор.

Таблица 1
Вероятности /%/ вылета протонов с данным импульсом в реакции /1/

Множественность протонов Импульс (МэВ/с)	η_p				
	1	2	3	4	≥ 5
140 - 220	22,2 \pm 2,1	22,6 \pm 1,9	23,9 \pm 2,5	23,5 \pm 2,4	23,0 \pm 1,1
220 - 300	22,0 \pm 2,1	23,3 \pm 2,0	22,6 \pm 2,4	23,5 \pm 2,4	22,9 \pm 1,1
300 - 380	17,6 \pm 1,9	22,1 \pm 1,8	18,0 \pm 2,1	16,8 \pm 2,0	16,7 \pm 1,0
380 - 460	15,9 \pm 1,8	13,6 \pm 1,5	13,7 \pm 1,9	13,5 \pm 1,5	14,2 \pm 0,9
460 - 540	10,9 \pm 1,5	10,0 \pm 1,3	12,9 \pm 1,6	13,2 \pm 1,8	11,6 \pm 0,8
540 - 620	7,3 \pm 1,2	5,3 \pm 0,9	7,8 \pm 1,4	6,9 \pm 1,3	6,6 \pm 0,6
620 - 700	4,1 \pm 0,9	3,1 \pm 0,7	1,1 \pm 0,5	3,7 \pm 1,0	3,0 \pm 0,4

Таблица 2
Средние характеристики протонов с импульсами $140 \leq p \leq 700 \text{ МэВ/с}$ в реакции /1/

Множественность протонов Величина	η_p					
	1	2	3	4	5	6
$\langle p \rangle$ (МэВ/с)	348 \pm 15	333 \pm 13	338 \pm 17	345 \pm 22	341 \pm 28	344 \pm 31
$\langle p_{\perp} \rangle$ (МэВ/с)	269 \pm 12	268 \pm 10	262 \pm 13	260 \pm 17	265 \pm 23	250 \pm 43
$\langle \cos \theta \rangle$	0,26 \pm 0,01	0,22 \pm 0,01	0,2 \pm 0,01	0,14 \pm 0,01	0,2 \pm 0,03	0,2 \pm 0,03

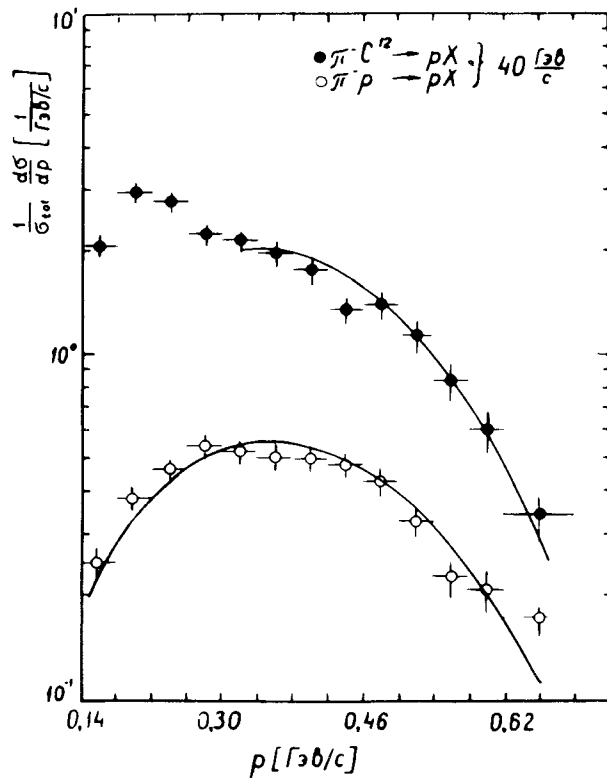


Рис. 3. Импульсные распределения протонов в реакциях /1/ и /3/ при 40 ГэВ. Сплошные линии соответствуют аппроксимации распределениям Ферми-Дирака.

Распределение $\frac{1}{\sigma_t} \frac{d\sigma}{dp}$ для $\pi^- C^{12}$ -взаимодействий

в интервале $300 \leq p \leq 700$ МэВ/с удовлетворительно описывается статистикой Ферми-Дирака:

$$F(p) = \frac{1}{\sigma_t} \frac{d\sigma}{dp} = K p^2 \left[\exp\left(\frac{p^2}{2m_p t}\right) + 1 \right], \quad /4/$$

где K - нормировочный множитель; m_p - масса протона; t - "температура" системы. Аппроксимация методом наименьших квадратов дает:

$$K_{\pi C} = 81,0 \pm 4,8 / \text{ГэВ}/\text{с}^{-1}; \quad t_{\pi C} = /48,4 \pm 1,3/ \text{ МэВ};$$

$\chi^2/\text{число точек} = 1,1$. Спектр протонов в реакции /3/ также неплохо описывается распределением /4/ в интервале $140 \leq p \leq 700$ МэВ/с с параметрами $K_{\pi p} = 20,0 \pm 0,8 / \text{ГэВ}/\text{с}^{-1}$; $t_{\pi p} = /53,6 \pm 1,2/ \text{ МэВ}$; $\chi^2/\text{число точек} = 1,2$. "Температуры" протонов с импульсами $300 \leq p \leq 700$ МэВ/с в $\pi^- C^{12}$ и $\pi^- p$ -взаимодействиях, как видно, совпадают в пределах двойной ошибки.

Интересно также отметить, что полученное значение "температуры" протонов очень близко к величине $t_{\pi^- \pi^+} = 55$ МэВ, определенной для кумулятивных π^- -мезонов /5/.

Если для распределений $F_A(p) = \left(\frac{1}{\sigma_t} \frac{d\sigma}{dp} \right)_A$ на ядре с атомным номером A и на протоне ($F_p(p)$) справедливо соотношение

$$F_A(p) = A^K F_p(p), \quad /5/$$

то из данных настоящей работы следует, что в интервале импульсов протонов $300 \leq p \leq 700$ МэВ/с показатель степени K приблизительно постоянен и составляет $K = 0,47 \pm 0,03$.

Распределения по квадрату поперечных импульсов протонов в реакциях /1/ и /3/ показаны на рис. 4. Оба распределения удовлетворительно описываются экспоненциальной зависимостью

$$\frac{1}{\sigma_t} \frac{d\sigma}{dp} = F(p_{\perp}^2) = \alpha e^{-\beta p_{\perp}^2} \quad /6/$$

с параметрами:

$$\alpha_{\pi C} = 10,4 \pm 0,4 / \text{ГэВ}/\text{с}^{-2}; \quad \beta_{\pi C} = 11,6 \pm 0,3 / \text{ГэВ}/\text{с}^{-2};$$

$\chi^2/\text{число точек} = 0,7$.

$$\alpha_{\pi p} = 2,4 \pm 0,1 / \text{ГэВ}/\text{с}^{-2}; \quad \beta_{\pi p} = 11,4 \pm 0,4 / \text{ГэВ}/\text{с}^{-2};$$

$\chi^2/\text{число точек} = 1,1$.

Видно, что наклоны β в /6/ одинаковы для $\pi^- C^{12}$ - и $\pi^- p$ -соударений.

В работе /6/ измерялись инклюзивные сечения протонов, вылетающих под углом $\Theta = 90^\circ$ в л.с. с большими поперечными импульсами $/p_{\perp} > 0,8 \text{ ГэВ}/\text{с}/$ в pBe^9 -взаимодействиях при 300 ГэВ/с.

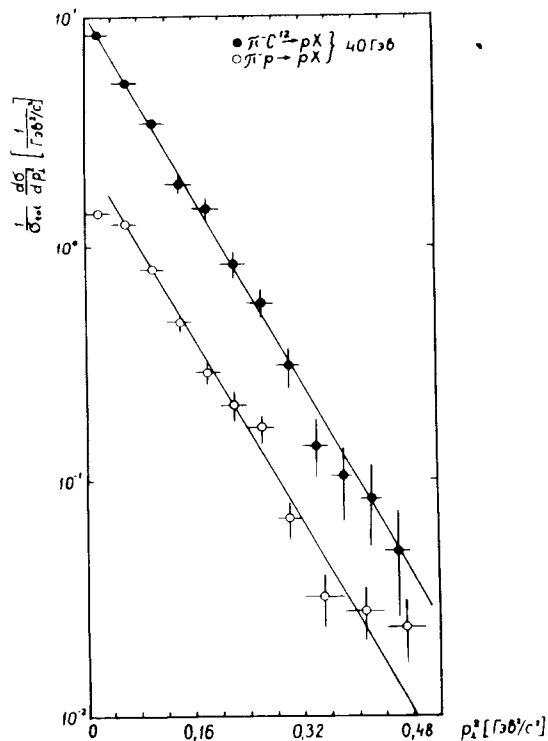


Рис. 4. Распределения по квадрату поперечных импульсов протонов в реакциях /1/ и /3/. Прямые - аппроксимация функцией /6/.

Мы сравнили данные настоящего эксперимента с результатами работы /6/. Для этого было построено распределение инвариантного инклюзивного сечения ($E \frac{d^3 \sigma}{d^3 p}$) для протонов в реакции /1/, вылетающих под углами $80^\circ \leq \theta \leq 100^\circ$. С целью определения структурной функции $E \frac{d^3 \sigma}{d^3 p}$ для протонов в реакции $pC^{12} \rightarrow p + X$ при 300 ГэВ/с данные работы /6/ по реакции $pBe^9 \rightarrow p + X$ были пересчитаны в соответствии с зависимостью

$$E \frac{d^3 \sigma}{d^3 p}(pC^{12} \rightarrow pX) = \left(\frac{A_C}{A_{Be}} \right)^\kappa E \frac{d^3 \sigma}{d^3 p}(pBe^9 \rightarrow pX), \quad /7/$$

где показатель степени κ брался из /6/.

Полученное таким образом распределение структурной функции реакции $pC^{12} \rightarrow p + X$ при $\theta = 90^\circ$ показано на рис. 5. Здесь же приведены результаты настоящего эксперимента для протонов, вылетающих под углами $80^\circ \leq \theta \leq 100^\circ$. Видно, что инвариантные инклюзивные сечения в реакции /1/ при 40 ГэВ/с в реакции $pC^{12} \rightarrow p + X$

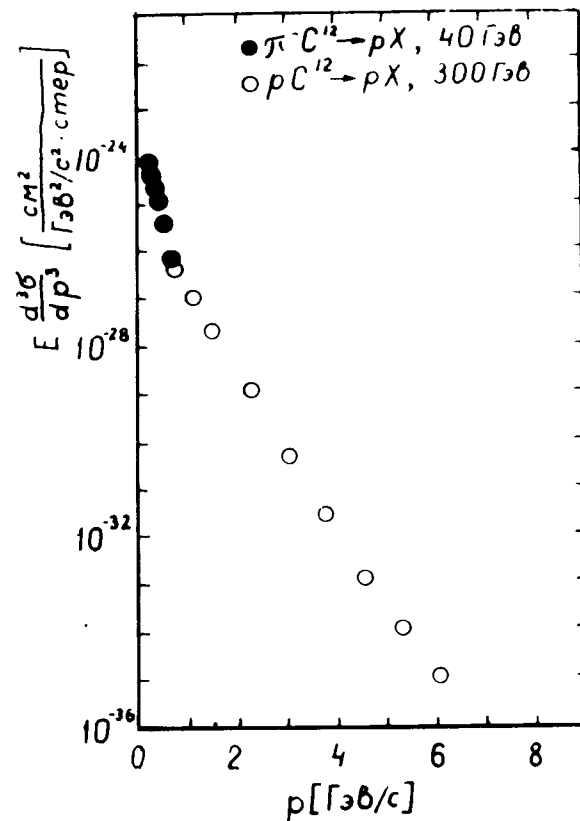


Рис. 5. Инклюзивное инвариантное сечение протонов в реакции /1/ при 40 ГэВ/с ($80^\circ \leq \theta \leq 100^\circ$) и в реакции $pC^{12} \rightarrow p + X$ при 300 ГэВ/с ($\theta = 90^\circ$).

при 300 ГэВ/с удовлетворительно сшиваются друг с другом. Этот результат, вообще говоря, не противоречит масштабной инвариантности, обнаруженной в адрон-ядерных взаимодействиях [5,7,8]. Кроме этого, в распределении $E \frac{d^3\sigma}{d^3p}$ в области импульсов $p \geq 1$ ГэВ/с наблюдается излом. Такое поведение по-видимому, не противоречит тому, что в области больших поперечных импульсов $p_{\perp} \geq 1$ ГэВ/с инвариантное инклюзивное сечение образования протонов в адрон-ядерных взаимодействиях имеет меньший наклон, чем при $p_{\perp} < 1$ ГэВ/с - как известно, такой эффект обнаружен недавно для адрон-адронных соударений /см. например, [9] /.

На рис. 6 представлено распределение структурной функции $f(p^2) = \frac{E}{p^2} \frac{d^2\sigma}{dpd\Omega}$ в интервале углов $0^\circ \leq \Theta \leq 180^\circ$ для протонов в реакции /1/. Представленное распределение аппроксимировалось зависимостью

$$f(p^2) = A_1 e^{-B_1 p^2} + A_2 e^{-B_2 p^2} \quad /8/$$

Значения параметров оказались равными:

$$\begin{aligned} A_1 &= /14,8 \pm 3,4/ \text{ ГэВ/с}^{-2} / \text{стер.}^{-1} ; \\ A_2 &= /2,7 \pm 0,6/ \text{ ГэВ/с}^{-2} / \text{стер.}^{-1} ; \\ B_1 &= /34,2 \pm 6,2/ \text{ ГэВ/с}^{-2}, \quad B_2 = /7,6 \pm 0,9/ \text{ ГэВ/с}^{-2} \\ \chi^2 &= 9,6 \text{ при числе точек } N = 11. \end{aligned}$$

Полученные величины A_1 и B_1 в пределах ошибок совпадают с соответствующими значениями параметров для протонов, испущенных под углами $90^\circ \leq \Theta \leq 180^\circ$ в реакции /1/ при 40 ГэВ/с [8].

§4. Реакция $\pi^- C^{12} \rightarrow m p + X, (m \geq 2)$

Адрон-ядерные взаимодействия, в результате которых образуется два и более нуклонов в конечном состоянии, несколько выделены по сравнению с процессами, идущими с рождением одного нуклона. Такая выделен-

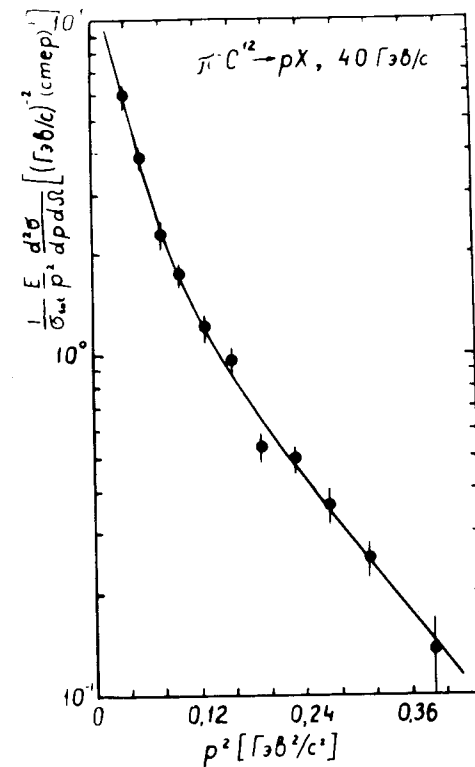


Рис. 6. Распределение структурной функции в зависимости от квадрата полного импульса протонов в реакции /1/. Кривая - результат аппроксимации функцией /8/.

ность проявляется в том, что в реакциях с вылетом одного нуклона существенный и даже подавляющий вклад вносят соударения на квазисвободных нуклонах ядра.

Поэтому представляется интересным изучение реакцией типа

$$\pi^- + C^{12} \rightarrow m p + X, \quad /9/$$

где $m \geq 2$.

В работе /10/ был проведен анализ двухчастичной ин-
 клюзивной реакции



при импульсе налетающих π^- -мезонов $p = 4 \text{ ГэВ/с}$. При-
 чем, в силу методических особенностей эксперимента
 импульсы протонов ограничивались интервалом $210 \leq p \leq$
 360 МэВ/с .

Для сравнения данных настоящего эксперимента с
 результатами работы /10/ были отобраны события с чис-
 лом протонов $n_p \leq 2$ и при этом накладывалось ограни-
 чение $210 \leq p \leq 360 \text{ МэВ/с}$ на импульсы, по крайней
 мере, двух протонов в событии.

На рис. 7 показана зависимость среднего поперечного
 импульса протонов от продольного в реакциях /9/ и /10/,
 соответственно, при 40 и 4 ГэВ/с. Как видно из рис. 7,
 в пределах экспериментальных ошибок распределения
 при обеих энергиях совпадают, т.е. характер наблюдаемых
 корреляций между $\langle p_{\perp} \rangle$ и p_{\parallel} не меняется с энергией
 налетающего π^- -мезона. Следует отметить, что зависи-
 мость $\langle p_{\perp} \rangle = f(p_{\parallel})$ в π^-p -соударениях имеет вид,
 подобный наблюдаемой для π^-C^{12} -взаимодействий.

Угловые распределения протонов в лабораторной си-
 стеме координат при двух энергиях представлены на
 рис. 8. И в этом случае, в пределах экспериментальных
 ошибок, данные при 40 и 4 ГэВ/с совпадают. Аналогич-
 ная ситуация, как показывает анализ, имеет место и для
 других распределений.

Таким образом, импульсные и угловые распределе-
 ния протонов в реакции /9/ слабо зависят от энергии
 первичного π^- -мезона.

* Выше было видно, что в реакции /1/ при 40 ГэВ/с
 характеристики протонов практически не зависят от мно-
 жественности n_p . Поэтому, с целью получения статисти-
 чески обеспеченного результата, проанализированы ре-
 акции типа /9/ безотносительно к множественности про-
 тонов.

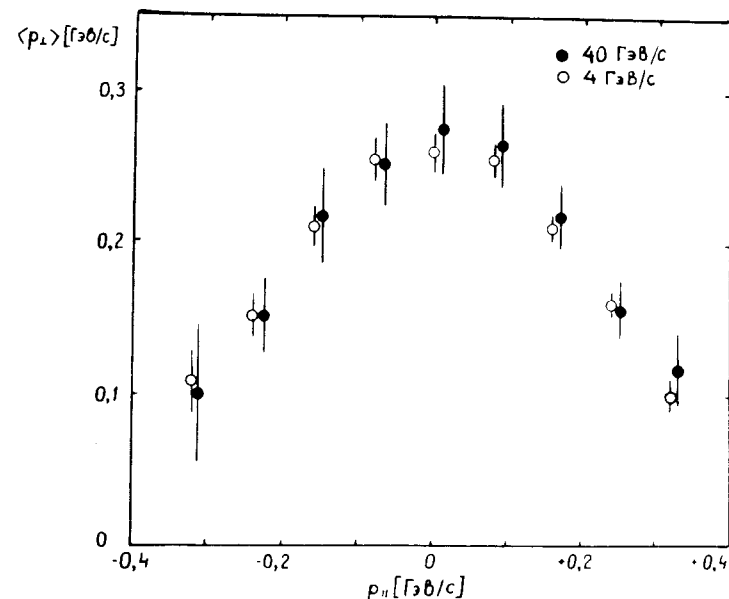


Рис. 7. Зависимость среднего поперечного импульса про-
 тонов от продольного в л.с. в реакции /9/ при 40 ГэВ
 и в реакции /10/ при 4 ГэВ/с.

§5. Заключение

Проведенный анализ инклюзивной реакции /1/ при
 40 ГэВ/с показывает, что:

1/ средняя множественность релятивистских заря-
 женных частиц в π^-C^{12} -взаимодействиях практически не
 зависит от кинематических характеристик протонов с
 импульсами $140 \leq p \leq 700 \text{ МэВ/с}$. Этот факт возможно
 является отражением, слабых корреляций между n_{\pm} -час-
 тичками и протонами;

2/ в реакции /1/ импульсные и угловые распреде-
 ления протонов в пределах экспериментальных ошибок не
 зависят от множественности n_p .

3/ протоны с импульсами $300 \leq p \leq 700 \text{ МэВ/с}$
 удовлетворительно описываются статистикой Ферми-Ди-
 рака. "Температуры" таких протонов в π^-C^{12} - и π^-p -
 взаимодействиях совпадают в пределах двойной ошибки.

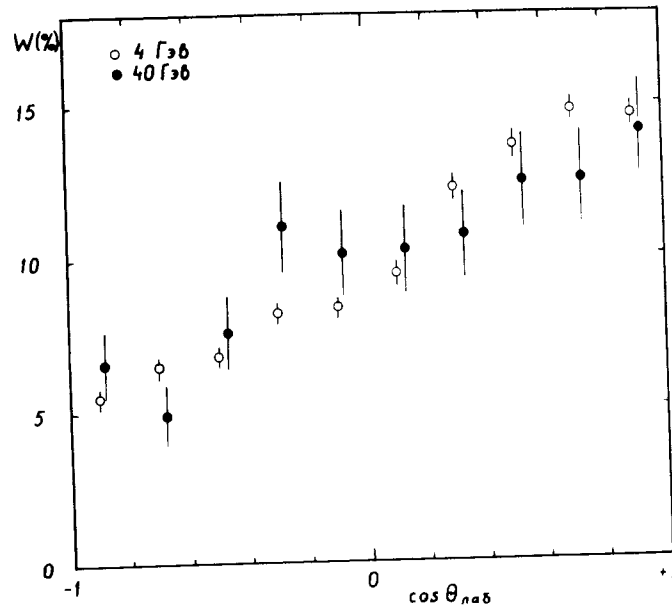


Рис. 8. Угловые распределения протонов с импульсами $210 \leq p \leq 360$ МэВ/с в реакции /9/ при 40 ГэВ/с и в реакции /10/ при 4 ГэВ/с.

4/ распределения по квадрату поперечных импульсов протонов в реакциях /1/ и /3/ удовлетворительно

описываются экспоненциальной зависимостью $\frac{1}{\sigma_t} \frac{d\sigma}{dp_{\perp}^2} = a e^{-\beta p_{\perp}^2}$. Параметры $\beta_{\pi S}$ и $\beta_{\pi p}$ совпадают;

5/ в реакциях с образованием двух протонов и более угловые и импульсные распределения протонов с импульсами $210 \leq p \leq 360$ МэВ/с не меняются с энергией первичного π^- -мезона.

Авторы благодарны сотрудникам ЛВЭ, занимающимся исследованием множественных процессов на снимках с двухметровой пропановой камеры за полезные обсуждения.

1. А.У.Абдурахимов и др. Сообщение ОИЯИ, Р1-6326, Дубна, 1972.
2. К.Н.Абдуллаева и др. Сб. "Взаимодействия частиц высокой энергии с ядрами и нуклонами". Ташкент, Фан, 1972.
3. Н.Ф.Маркова и др. Препринт ОИЯИ, Р10-3768, Дубна, 1968.
4. С.А.Азимов и др. Препринт ОИЯИ, Р1-8463, Дубна, 1974.
5. А.М.Балдин et al. JINR, E1-8054, Dubna, 1974.
6. J.W.Cronin et al. Paper presented to the XVII Int. Conf. on High Energy Physics, London (1974).
7. Ю.Д.Баюков и др. ЯФ, 18, 1246 /1973/.
8. Сотрудничество Бухарест - Дубна - Москва - София - Ташкент - Тбилиси - Улан-Батор. Препринт ОИЯИ, Р1-8566, Дубна, 1975.
9. S.D.Ellis, R.Thul. TH 1874-CERN (1974).
10. С.А.Азимов и др. Письма в ЖЭТФ, 20, 513, 1974.

Рукопись поступила в издательский отдел
25 июня 1975 года.