

10719

A-45

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



29/viii-77

3405/2-77

P1 - 10719

Б.С.Аладашвили, А.М.Балдин, В.В.Глаголев,
А.Н.Горбунов, Л.И.Журавлева, П.Зелински,
М.С.Ниорадзе, Т.Семярчук, В.Н.Стрельцов,
И.Стэпаняк, К.У.Хайретдинов

ОДНОЧАСТИЧНЫЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ
С БОЛЬШИМИ ПЕРЕДАЧАМИ ИМПУЛЬСА
В $d\bar{p}$ -СТОЛКНОВЕНИЯХ
ПРИ ИМПУЛЬСЕ ПАДАЮЩИХ ДЕЙТРОНОВ 3,3ГэВ/с

1977

P1 - 10719

Б.С.Аладашвили, А.М.Балдин, В.В.Глаголев,
А.Н.Горбунов, Л.И.Журавлева, П.Зелински,
М.С.Ниорадзе, Т.Семярчук, В.Н.Стрельцов,
И.Стэпаняк, К.У.Хайретдинов

ОДНОЧАСТИЧНЫЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ
С БОЛЬШИМИ ПЕРЕДАЧАМИ ИМПУЛЬСА
В dp -СТОЛКНОВЕНИЯХ
ПРИ ИМПУЛЬСЕ ПАДАЮЩИХ ДЕЙТРОНОВ 3,3 ГэВ/с

Сотрудничество Варшава-Дубна

Направлено в ЯФ

Аладашвили Б.С. и др.

P1 - 10719

Одночастичные распределения с большими передачами импульса в $d\bar{p}$ -столкновениях при импульсе падающих дейтронов 3,3 ГэВ/с

100-сантиметровая водородная пузырьковая камера экспонирована в пучке дейтронов импульса 3,3 ГэВ/с на синхрофазотроне ОИЯИ. Проанализировано около 50 000 событий и получены спектры нуклонов и π -мезонов в широкой области инвариантных передач импульсов. Наблюдалось изменение наклона в распределениях инвариантного сечения $f(T)$ в области $T \sim 0,03$ ГэВ/с нуклонов и π -мезонов, летящих в заднюю полусферу в системе покоя дейтрона. Полученные результаты анализируются с точки зрения возможного наблюдения кумулятивного эффекта.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ и в Институте ядерных исследований (Варшава).

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1977

Aladashvili B.S. et al.

P1 - 10719

One-Particle Distributions with Large Momentum Transfers in $d\bar{p}$ -Collisions at 3.3 GeV/c Incident Deuteron Momentum

The 100 cm hydrogen bubble chamber was exposed in the 3.3 GeV/c deuteron beam of the JINR synchrophasotron. About 50000 events were analysed, nucleon and π -meson in a wide region of invariant momentum transfers were obtained. The change in the slope of invariant cross-section $f(T)$ distributions was observed in the region of $T \sim 0.003$ GeV/c for nucleons and π -mesons flying to the back hemisphere in the deuteron rest system. The results obtained are analysed with respect to possible observation of cumulative effect.

The investigation has been performed at the Laboratory of High Energies, JINR and at the Institute of Nuclear Research (Warszawa).

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1977

В последние годы большое внимание уделяется столкновениям ядер в области первичных импульсов, происходящих на один нуклон порядка 1 ГэВ/с и выше. Простые оценки приводят к гипотезе о том, что в этой области большую роль должна играть масштабная инвариантность, нуклоны налетающего ядра должны сливаться.

Такое слияние должно проявляться особенно сильно при взаимодействиях частиц с большими передачами импульса, в кинематической области, запрещенной для одонуклонных взаимодействий. Одним из процессов, в котором имеет место слияние групп нуклонов, является кумулятивный эффект /1,2/. Кумулятивный эффект - это явление, состоящее в том, что в процессе столкновения релятивистского ядра с мишенью частицам передается энергия, значительно превышающая ту, которая приходится на один нуклон ядра. /Например, энергия группы нуклонов передается одной частице/. Можно надеяться, что исследование столкновений релятивистских ядер с большими передачами импульса даст ценную информацию о кварковой структуре ядра, о свойствах мультикварковых состояний, прольет некоторый свет на проблему "удержания" кварков. Особенно важно в этой связи исследование простейшего - дейтронного кумулятивного эффекта. Такой случай легче поддается теоретической интерпретации. Большой интерес представляет переход от дейтрона как слабо связанной системы двух нуклонов к дейтрону как шестикварковой системе. Первым шагом на

пути к этой цели является исследование перехода между двумя предельными случаями, когда два нуклона воспринимают передаваемый импульс по отдельности, и когда импульс передается двум нуклонам. Передача импульса двум нуклонам может быть обусловлена разными причинами, в частности, кратными столкновениями или взаимодействием в конечном состоянии, т.е. процессами, которые можно количественно описать простыми моделями. Частично этот эффект может быть объяснен, кроме того, образованием промежуточных изобарных состояний, а также существованием изобарной конфигурации волновой функции дейтрона /3-5/.

Как видно, от выделения случаев, в которых два нуклона дейтрона играют активную роль, до возможной интерпретации столкновения на языке кварковых моделей, еще далеко. Для проверки справедливости различных моделей и выделения интересующих нас эффектов необходима разнообразная экспериментальная информация о больших передачах импульса двухнуклонной системе. При исследовании этого класса явлений особенно большую роль сыграло первое обнаружение кумулятивного образования пионов /2/. Дальнейшие исследования /6,7/ показали, что в рамках обычных волновых функций ядра и принятых моделей этот интересный эффект объяснить нелегко /8-11/.

Цель настоящей работы - получение полной информации о столкновениях релятивистских дейтронов с протонами в условиях 4π -геометрии, выделения и изучения всех существенных каналов реакции /эсклюзивная постановка/. Хотя данные получены на пузырьковой камере, накоплена сравнительно большая статистика и, как показала обработка экспериментального материала, эффекты больших передач импульса двум нуклонам дейтрона можно не только обнаружить, но и исследовать. Основная часть приводимого ниже экспериментального материала относится к случаю, когда большой импульс воспринимает нуклон. Кумулятивное образование нуклонов изучалось в ряде работ /12-15/. В части отмеченных выше работ имелись кинематические ограничения и они были посвящены исследованию сложных ядер.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА

100-сантиметровая водородная пузырьковая камера ЛВЭ ОИЯИ была облучена дейтронами импульса 3,33 ГэВ/с. На 180 000 фотографий отобрано, измерено на ПУОС и НРД, просчитано по системе программ, проидентифицировано более 50 000 дейтрон-протонных взаимодействий.

Особенность данной постановки эксперимента, а именно - работа в пучке релятивистских ядер - дала ряд методических преимуществ /16/, в частности, позволила исследовать практически без потерь все основные каналы реакций.

Здесь, следуя /17,18/, мы представляем полученные инвариантные одночастичные распределения для реакций $I+II \rightarrow 1+...$ как функции переменной

$$b_{II} = \frac{(P_I P_1)}{m_I} - m_I.$$

Инвариантная величина b_{II} равна кинетической энергии T-частицы 1 в системе покоя ядра I.

Представленные экспериментальные данные в виде одночастичных распределений по параметру b_{II} позволяют провести классификацию столкновений релятивистских ядер. Область малой окрестности $b_{II} \lesssim \xi$ / ξ - энергия связи ядер/ обусловлена особенностями ядра как слабо связанной системы. Область же больших b_{II} может соответствовать кумулятивному эффекту.

Были исследованы реакции:

$dp \rightarrow ppp$	$\sigma = 37,2 \pm 1,4$ мбн	/1/
$dp \rightarrow ppp\pi^0$	$\sigma = 11,2 \pm 0,4$ мбн	/2/
$dp \rightarrow p\pi^+nn$	$\sigma = 17,0 \pm 0,6$ мбн	/3/
$dp \rightarrow pp\pi^-$	$\sigma = 2,2 \pm 0,2$ мбн,	/4/

которые в сумме составляют около 96% сечения неупругих dp -взаимодействий при данной энергии. Среди них с наибольшим сечением идет реакция $dp \rightarrow ppp$ /21700 событий/. Так как в реакциях /2/ и /3/ импульсы нейтронов не могли быть определены, то инклюзив-

ные спектры получены только для протонов. Необходимо отметить также, что в связи со значительной неопределенностью при идентификации π^+ -мезонов импульса более 1 ГэВ/с в реакции /3/ и малым сечением реакции /4/, данные по π^- -мезонам нельзя считать точными в области больших T . Структурные функции $f(T) = \sigma_{\text{tot}}^{-1} p^{-1} d^2\sigma/dT d\cos\theta$ приводятся для трех равных интервалов по косинусу угла частиц, вылетающих в заднюю полусферу в системе покоя дейтрона. Приводятся также суммарные распределения.

На трех первых рисунках приведены экспериментальные данные для нуклонов. На первом из них /рис. 1/ представлены результаты для всех протонов из реакций /1-4/ и нейтронов из реакции /1/, летящих назад в системе покоя дейтрона, на рис. 2 приводятся данные для протонов из всех изучаемых реакций /инклюзивные протоны/. Кроме того, приводятся /рис. 3/ спектры протонов из реакций /1/ отдельно для перезарядки /кривая 1/ и прямого развала /кривая 2/ /перезарядкой мы называем события с двумя быстрыми протонами в лабораторной системе координат/. Сплошные линии - аппроксимация результатов зависимостью $f(T) = A_1 \exp(-A_2 T) + A_3 \exp(-A_4 T)$. Соответствующие значения коэффициентов, полученные с помощью процедуры минимизации, приводятся в табл. 1-3. Переход распределения в области $b_{11} = T \sim 0,03$ ГэВ к другому наклону указывает на наличие двух областей, соответствующих возможно различным механизмам. Первая экспонента с большими значениями параметров A_1 /сечение при $T=0$ / и A_2 /наклон экспоненты/ соответствует области, когда в передаче импульса активно участвует один из нуклонов дейтрона.

На рис. 4 данные для π^- -мезонов из реакций /3/ и /4/ приводятся только для однозначно идентифицированных событий.

Наклоны /коэффициент A_4 / для полученных экспонент в области больших значений $T/ > 30$ МэВ/ сведены в табл. 4 вместе с данными других работ. В связи с тем, что экспериментальная зависимость не строго экспоненциальная, значения χ^2 не приводятся.

Видно, что наклон в суммарном распределении для протонов ($\cos\theta[-1;0]$) приближенно совпадает с результатами, полученными при 5 и 40 ГэВ/с в пучках π^- -мезонов. Независимость наклона от энергии может свидетельствовать о справедливости гипотезы предельной фрагментации в применении к ядерным системам.

Не наблюдается изменения наклона с увеличением угла вылета протонов /см. первую строку табл. 4/. Однако следует заметить, что, как видно из рис. 1 и 2, в области больших углов вылета /интервалы по $\cos\theta[-1; -0,667]$ и $[-0,667; -0,333]$ наблюдается отклонение экспериментальных точек от плавного хода. Заметим, что при внимательном рассмотрении данных, приводимых в работах /5/ $/\pi^- + \text{Xe} \rightarrow p + \dots$ при 3,34 ГэВ/с/ и /7/ $/\pi^- + \text{C} \rightarrow p + \dots$ при 5 ГэВ/с/ можно также заметить отклонения аналогичного характера.

На рис. 5 представлены данные по протонам из реакции /1/ в виде зависимости от масштабной переменной $X = T/T_{\text{макс}}$. В качестве $T_{\text{макс}}$ принималась кинетическая энергия протона, вылетающего назад в системе покоя дейтрона в упругом pd -рассеянии под тем же углом, что и наблюдаемый. Видно, что в этом представлении общий характер поведения спектров с изменением угла сохраняется. Все кривые изменяют характер поведения вблизи $X \approx 0,5$. Сечение процесса остается довольно большим вплоть до кинематической границы $X=1,0$, соответствующей максимальной передаче импульса дейтрона в упругом рассеянии.

Полученные в настоящей работе данные о больших передачах импульса двухнуклонной системе ($X > 0,5$), т.е. там, где кумулятивный эффект должен быть наиболее ярко выражен, нуждаются в дальнейшем изучении на основе существующих теоретических представлений.

В заключение авторы благодарят В.Б.Радоманова за полезные обсуждения и М.Филипковску за техническую помощь.

Таблица 1

Параметры аппроксимации экспериментальных данных по нуклонам функцией $f(T) = A_1 \exp(-A_2 T) + A_3 \exp(-A_4 T)$

Интервал по $\cos \theta$	A_1 [эВ ⁻¹ степ. ⁻¹ с]	A_2 [ГэВ ⁻¹]	A_3 [эВ ⁻¹ степ. ⁻¹ с]	A_4 [ГэВ ⁻¹]	Число событий
[-1; 0]	772,5 ± 25,4	289,4 ± 6,1	10,9 ± 0,6	35,8 ± 0,8	12509
[-1; -0,667]	345,1 ± 23,2	340,6 ± 12,8	2,2 ± 0,3	37,4 ± 2,8	3723
[-0,667; -0,333]	269,1 ± 14,0	295,1 ± 9,2	2,5 ± 0,3	34,1 ± 1,8	3948
[-0,333; 0]	189,6 ± 8,4	236,1 ± 7,2	5,1 ± 0,4	33,4 ± 1,1	4838

Таблица 2

Параметры аппроксимации экспериментальных данных по протонам функцией $f(T) = A_1 \exp(-A_2 T) + A_3 \exp(-A_4 T)$

Интервал по $\cos \theta$	A_1	A_2	A_3	A_4	Число событий
[-1; 0]	463,9 ± 18,5	283,5 ± 7,4	5,8 ± 0,4	32,4 ± 0,9	7015
[-1; -0,667]	172,5 ± 16,2	335,1 ± 18,2	1,4 ± 0,2	34,2 ± 3,1	2037
[-0,667; -0,333]	134,9 ± 8,7	284,2 ± 11,4	1,3 ± 0,2	29,1 ± 2,0	2185
[-0,333; 0]	108,1 ± 5,9	231,9 ± 8,5	2,2 ± 0,2	28,6 ± 1,3	2793

Таблица 3

Параметры аппроксимации экспериментальных данных для протонов из реакции $dp \rightarrow ppp$ функцией $f(T) = A_1 \exp(-A_2 T) + A_3 \exp(-A_4 T)$

Реакция	A_1	A_2	A_3	A_4	Число событий
прямой развал	175,5 ± 9,6	265,4 ± 9,8	3,7 ± 0,3	36,6 ± 1,4	3493
перезарядка	102,8 ± 9,5	297,6 ± 17,1	1,7 ± 0,1	26,4 ± 1,1	1932

Таблица 4

Сводка данных по наклонам (A_4) в экспоненциальном представлении по кинетической энергии

Реакция	Импульс первичной частицы /ГэВ/с/	$\cos \theta$				Ссылки
		[-1; 0]	[-1; -0,667]	[-0,667; -0,333]	[-0,333; 0]	
$p+d \rightarrow p+X$	1,66	32,4 ± 0,9	34,2 ± 3,1	29,1 ± 2,0	28,6 ± 1,3	данная работа
$p+c \rightarrow p+X$	1 + 6		23,0 ± 1,4 $\theta = 137^\circ$			/11/
$\pi^+c \rightarrow p+X$	5	28,6 ± 1,0				/14/
$\pi^-c \rightarrow p+X$	40	30,0 ± 3,0		29,4 ± 2,6		/13/
$p+cu \rightarrow p+X$	1 + 6		23,0 ± 1,4 $\theta = 137^\circ$			/11/
$\pi^+He \rightarrow p+X$	3,34		27,0 ± 3,0 $\theta = 135^\circ$ 22,4 ± 3,4 $\theta = 180^\circ$			/12/
$p+d \rightarrow n+(2p)$	1,66	44,0 ± 1,8	37,6 ± 7,2	41,9 ± 4,3	42,3 ± 2,2	данная работа
$p+d \rightarrow \pi^+ + X$	1,66	23,1 ± 0,6				данная работа

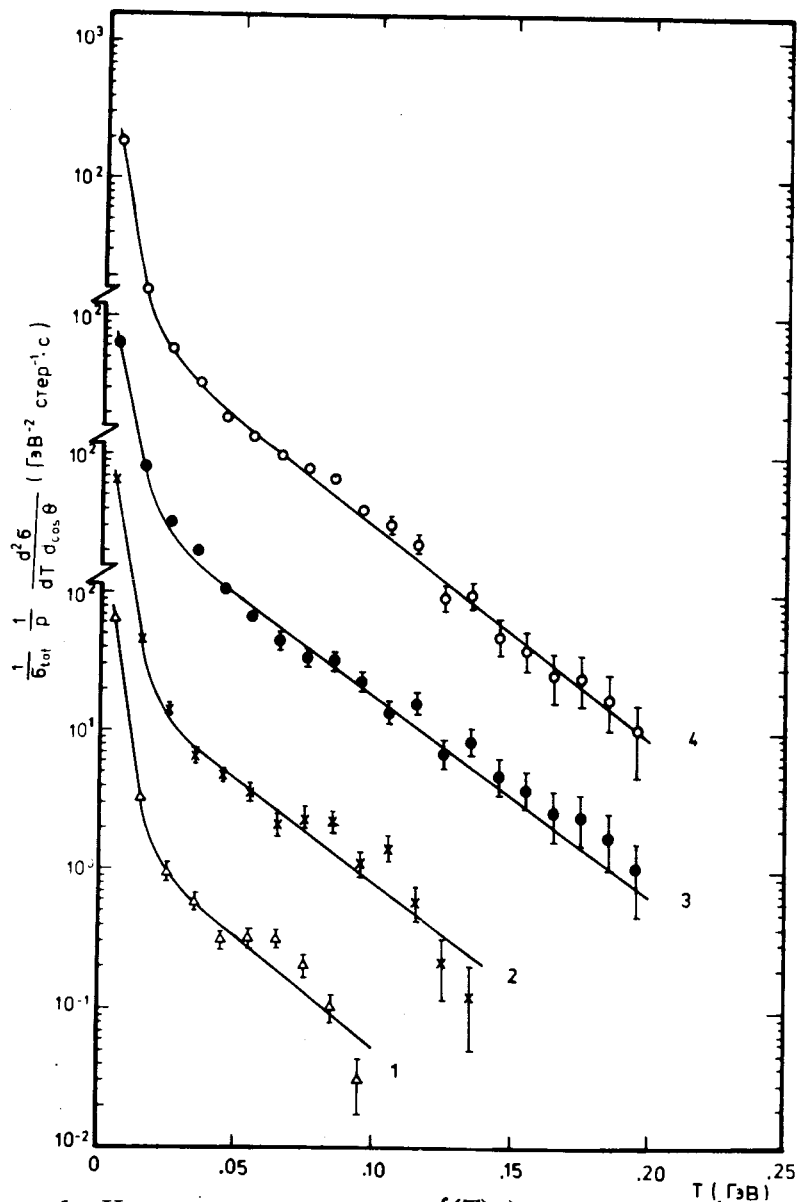


Рис. 1. Инвариантное сечение $f(T)$ для нуклонов /инклюзивные протоны и нейтроны из реакции $dp \rightarrow ppp$ /. 1 - $-\cos\theta[-1, -0,667]$; 2 - $\cos\theta[-0,667; -0,333]$; 3 - $\cos\theta[-0,333; 0]$; 4 - $\cos\theta[-1; 0]$, где θ - пространственный угол вылета частицы в системе покоя дейтрона.

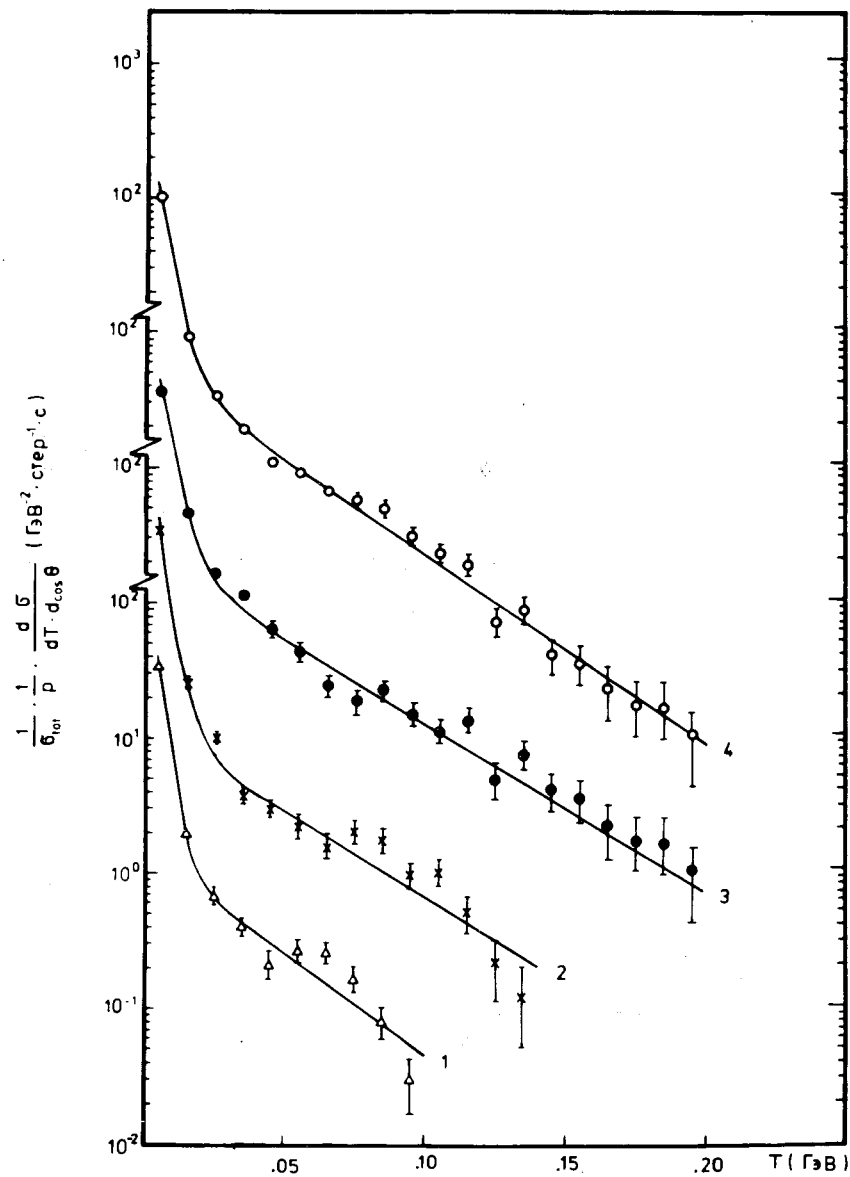


Рис. 2. Инвариантное сечение $f(T)$ для инклюзивных протонов. 1 - $\cos\theta[-1; -0,667]$; 2 - $\cos\theta[-0,667; -0,333]$; 3 - $-\cos\theta[-0,333; 0]$; 4 - $\cos\theta[-1; 0]$.

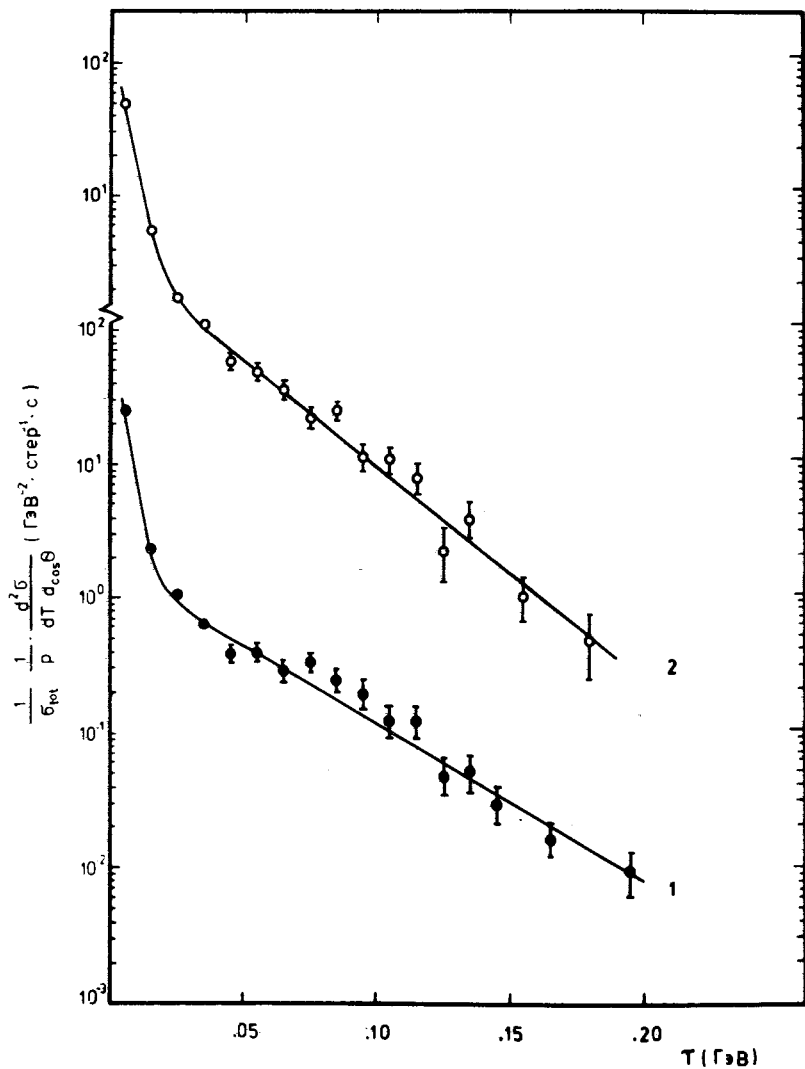


Рис. 3. Инвариантное сечение $f(T)$ для протонов из перезарядки /1/ и прямого развала /2/ в реакции $pp \rightarrow ppp$. В обоих случаях $\cos\theta[-1;0]$.

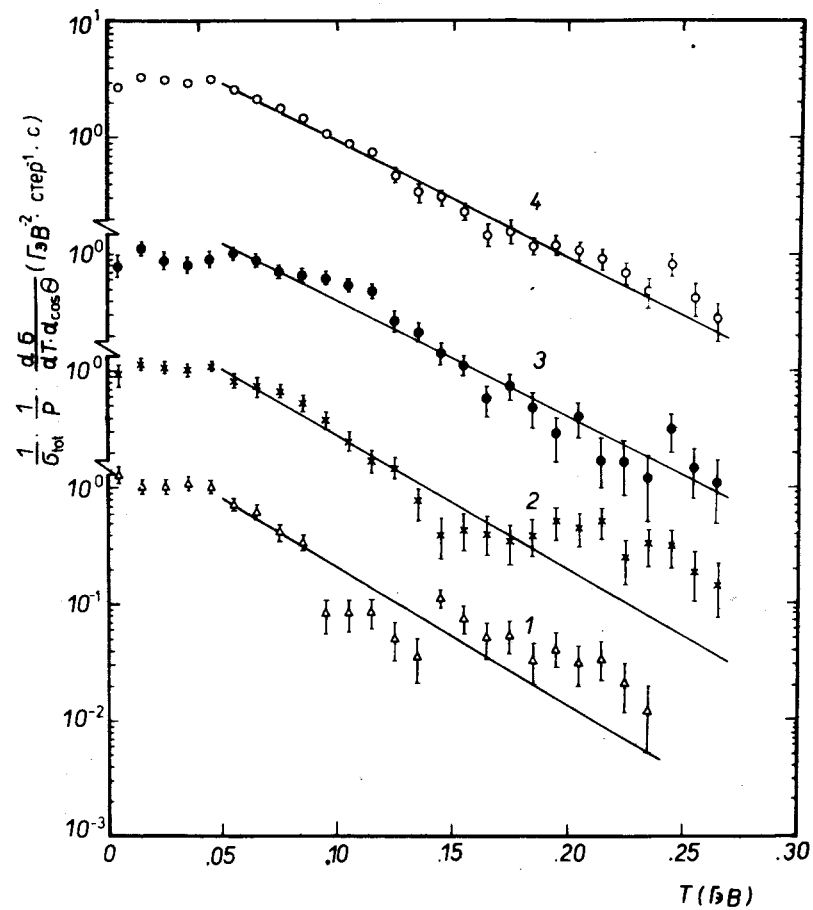


Рис. 4. Инвариантное сечение $f(T)$ для π^\pm -мезонов из реакций /3/ и /4/. 1 - $\cos\theta[-1;-0,667]$; 2 - $\cos\theta[-0,667;-0,333]$; 3 - $\cos\theta[-0,333;0]$; 4 - $\cos\theta[-1;0]$.

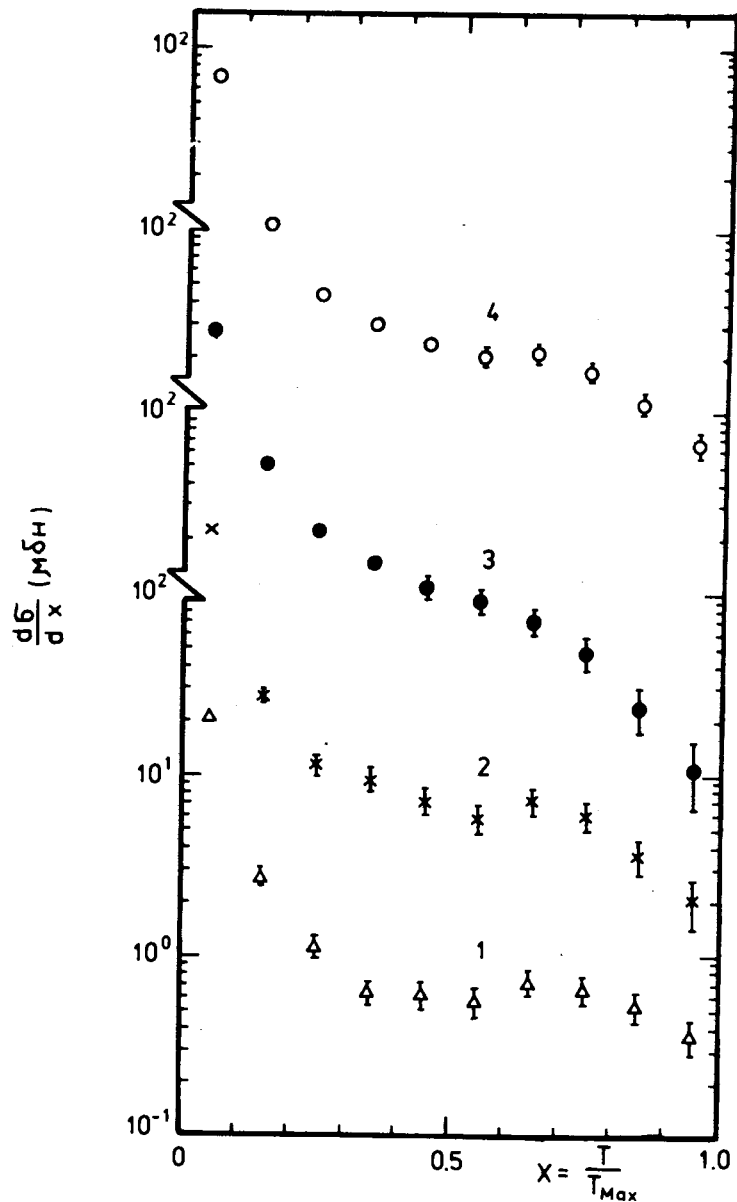


Рис. 5. Распределение протонов из реакции $dp \rightarrow ppp$ по масштабной переменной $X = T/T_{\text{макс}}$: 1 - $\cos \theta [-1; -0,667]$; 2 - $\cos \theta [-0,667; -0,333]$; 3 - $\cos \theta [-0,333; 0]$; 4 - $\cos \theta [0; 1]$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Балдин А.М. Краткие сообщения по физике №1, с.35. Изд-во АН СССР, 1971; ОИЯИ, P7-5808, Дубна, 1971.
2. Балдин А.М. и др. ОИЯИ, P1-5819, Дубна, 1971.
3. Aladashvili B.S. e.a. Dubna - Warsaw Collaboration. Nucl.Phys., 1975, B86, p.461.
4. Aladashvili B.S. e.a. Dubna - Warsaw Collaboration Nucl.Phys., 1976, A274, p.486.
5. Alberi G. e.a. Nucl.Phys., 1976, B108, p.327.
6. Балдин А.М. и др. ЯФ, 1973, 18, с.79.
7. Балдин А.М. ЯФ, 1975, 21, с.1008.
8. Герасимов С.Б., Гиордэнеску Н. ОИЯИ, P2-7687, Дубна, 1974.
9. Стрикман М.И., Франкфурт Л.Л. Письма в ЖЭТФ, 1976, 24, с.311.
10. Лобов Г.А. и др. Письма в ЖЭТФ, 1976, 23, с.118.
11. Буров В.В., Лукьянов В.К., Тимов А.И. ОИЯИ, P2-9570, Дубна, 1976.
12. Баюков Ю.Д. и др. ЯФ, 1973, 18, с.1246.
13. Баюков Ю.Д. и др. ЯФ, 1973, 19, с.1266.
14. Ангелов Н. и др. ЯФ, 1975, 22, с.1026.
15. Будагов Ю.А. и др. ЯФ, 1976, 23, с.982.
16. Aladashvili B.S. e.a. Dubna - Warsaw Collaboration. Nucl. Instr. and Meth., 1975, 129, p.109.
17. Балдин А.М. ДАН СССР, 1975, 222, с.1064.
18. Балдин А.М. Доклад на VI Международной конференции по физике высоких энергий. Лос-Аламос и Санта Фе, июнь 1975 /изд. American Institute of Physics, New York, 1975, p. 621/.

Рукопись поступила в издательский отдел
7 июня 1977 года.