

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P1-97-315

Б.Ганхуяг, В.В.Ужинский

ОПИСАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК π^- -МЕЗОНОВ
В np -ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ ПРИ $P_n = 1+5$ ГэВ/с
В РАМКАХ МОДЕЛИ FRITIOF

1997

Описание характеристик π^- -мезонов в np -взаимодействиях при $P_n = 1+5$ ГэВ/с в рамках модели FRITIOF

Найдены параметры модели FRITIOF и предложены изменения соответствующей программы, позволяющие, по мнению авторов, удовлетворительно описать исследуемые np -взаимодействия, в частности распределения π^- -мезонов по быстротам и поперечным импульсам. Усовершенствованная модель также качественно воспроизводит соотношения между топологическими сечениями реакций. Изменения касаются трактовки характера распада струн с малой массой и вероятностей их образования. Усовершенствованная модель может быть использована как для описания дифракционных взаимодействий, так и для анализа взаимодействий ядер с ядрами при умеренных энергиях.

Работа выполнена в Лаборатории вычислительной техники и автоматизации ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 1997

Перевод авторов

Ganhuyag B., Uzhinskii V.V.

P1-97-315

Description of π^- -Meson Characteristics in np -Interactions at $P_n = 1+5$ GeV/c within the Framework of FRITIOF Model

The model parameters are found, and corresponding changes of the code are proposed that allow one to describe satisfactorily according to the author point of view the np -interactions under the study. In particular, it allows to describe π^- -meson rapidity and transverse momentum distributions. The modified model reproduces qualitatively also the relations between the topological cross-sections of the reactions. The changes are in the treatment of character of low mass string decay and the probability of the string creation. The modified model can be used at a description of diffraction dissociation and at an analysis of nucleus-nucleus interactions at intermediate energies.

The investigation has been performed at the Laboratory of Computing Techniques and Automation, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna, 1997

В последнее время в связи с проблемой разработки подкритических электроядерных установок возродился интерес к адрон-ядерным и ядро-ядерным взаимодействиям при умеренных энергиях $\sim 1-2$ ГэВ/нуклон. Традиционно такие взаимодействия описываются в рамках каскадно-испарительной модели. Однако, как показано в работах [1,2], каскадно-испарительная модель для соударений достаточно тяжелых ядер при $E \sim 3,1 - 3,4$ ГэВ/нуклон переоценивает множественность рожденных частиц и вероятность процессов сильного разрушения ядер. В то же время, простая модель FRITIOF [3,4] дает достаточно хорошие результаты [2], и представляет интерес снизить порог ее применения до $E \sim 1-3$ ГэВ/нуклон.

Программа FRITIOF [4], используемая для моделирования адрон-адронных, адрон-ядерных и ядро-ядерных взаимодействий, широко известна в физике высоких энергий. Это обусловлено доступностью программы, хранящейся в библиотеке журнала Computer Physics Communication, легкостью обращения и простотой физических идей, положенных в основу программы.

Модель FRITIOF предполагает, что в неупругих недифракционных адрон-адронных взаимодействиях происходит возбуждение адронов в состоянии непрерывного спектра масс

$$h_1 + h_2 \rightarrow h'_1 + h'_2.$$

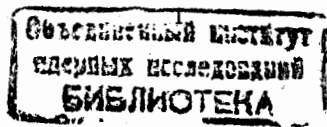
В дифракционных взаимодействиях имеет место возбуждение только одного адрона

$$h_1 + h_2 \rightarrow h'_1 + h_2.$$

Минимальная масса возбужденных нуклонных состояний полагается равной 1.2 ГэВ. В силу этого в нуклон-нуклонных взаимодействиях при $\sqrt{s_{NN}} \leq 2.4$ ГэВ или при $P_{lab} \leq 1.91$ ГэВ/с, согласно модели, возможны только дифракционные взаимодействия. При более высоких энергиях возможны недифракционные взаимодействия. Соотношение между сечениями дифракционных и недифракционных взаимодействий определяется распределением по массам адронов h'_1 и h'_2 (M_1 и M_2). При высоких энергиях распределение близко к распределению

$$dW \sim \frac{1}{M_1^2} \frac{1}{M_2^2} dM_1^2 dM_2^2.$$

Возбужденные адроны h'_1 и h'_2 рассматриваются как кварковые струны, и для описания их распадов привлекается соответствующая кварко-



вая модель [5]. Считается, что кварковая модель применима при достаточно больших массах струн, которые возникают при высоких энергиях. Поэтому программу FRITIOF применяли, в основном, при высоких энергиях. Можно ожидать, что предсказания модели FRITIOF войдут в противоречие с экспериментальными данными о процессах, в которых могут появиться состояния с малыми массами. Это или процессы дифракционной диссоциации при высоких энергиях, или процессы соударений при умеренных энергиях. Выделение дифракционных процессов при высоких энергиях сопряжено с определенными экспериментальными трудностями. Поэтому мы обратились к данным [6] о характеристиках π^- -мезонов в np -взаимодействиях при $P_n = 1,25; 1,73; 2,23; 3,83$ и $5,10$ ГэВ/с.

На рис. 1 представлены экспериментальные и расчетные распределения π^- -мезонов по быстройте $y = \ln \frac{E+p_z}{E-p_z}$. Здесь E и p_z — энергия и продольный импульс π^- -мезона. Как видно из рисунка, расчетные распределения обладают бимодальной структурой особенно при низких энергиях. Казалось бы это является следствием предполагаемого дифракционного характера взаимодействий: пик при больших быстройтах связан с дифракцией налетающего адрона, а пик при малых быстройтах — связан с дифракцией нуклона-мишени. Однако при импульсе нейтрона, равном $1,25$ ГэВ/с, дифракционная система с массой $1,2$ ГэВ должна покоиться в системе центра масс сталкивающихся адронов. То есть бимодальная структура расчетного распределения не является следствием дифракционной диссоциации адронов, а отражает анизотропию распада струн с малой массой. Прямое моделирование распадов струн с малой массой показало, что бимодальная структура характерна для распадов струн с массой меньше или равной $1,7$ ГэВ. В распадах таких струн доминируют двухчастичные каналы. При больших массах доминируют многочастичные каналы распада, и расчетные распределения становятся более регулярными.

Учитывая характер экспериментальных распределений при $P_n = 1,25; 1,73$ ГэВ/с представляется разумным моделировать изотропный распад струн с малой массой в случае двухчастичного канала распада. Граничное значение массы струн — $1,7$ ГэВ, ниже которого применялась предлагаемая процедура, выбрано из требования наилучшего описания экспериментальных данных. Как видно из рисунка 1 (сплошные кривые), это позволило практически точно описать экспериментальные распределения.

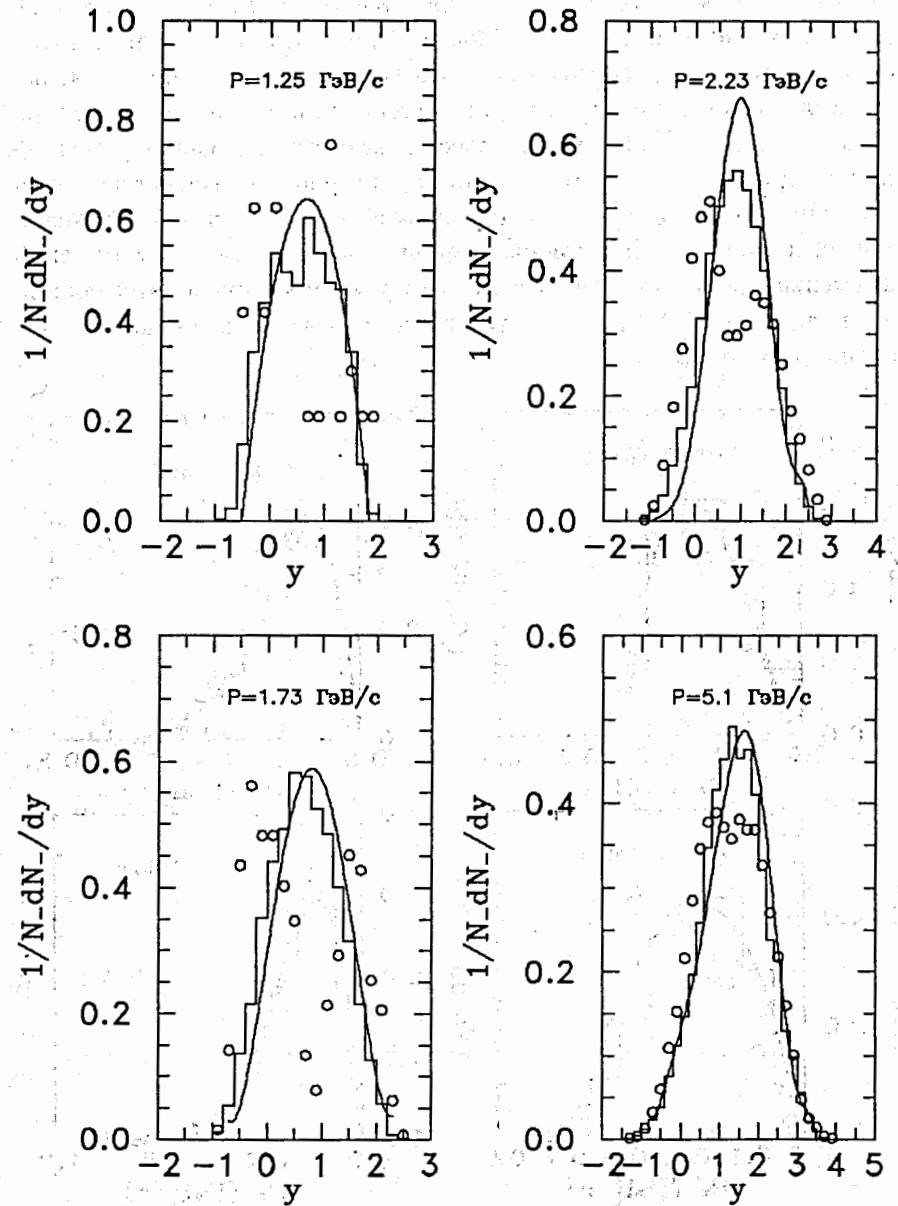


Рис. 1: Распределения π^- -мезонов по быстройтам в np -взаимодействиях. Гистограммы — экспериментальные данные [6]. Светлые точки — расчеты по исходной модели. Сплошные кривые — расчеты по модифицированной версии модели

Сложнее оказалось дело с описанием распределений π^- -мезонов по поперечному импульсу — P_T . Модель предсказывала средние поперечные импульсы, превосходящие соответствующие экспериментальные значения (см. светлые точки на рис. 2) даже при изменении характера распада струн с малой массой. Здесь показательным явилось распределение при $P_n = 1,25$ ГэВ/с. Оно характерно для изотропного распада. При этом максимум распределения определяется массой распадающейся системы. Для уменьшения среднего поперечного импульса мы уменьшили минимальную массу возбужденных нуклонных состояний до значения 1,1 ГэВ. Это, как видно из рис. 2, дало значительно лучшие результаты.

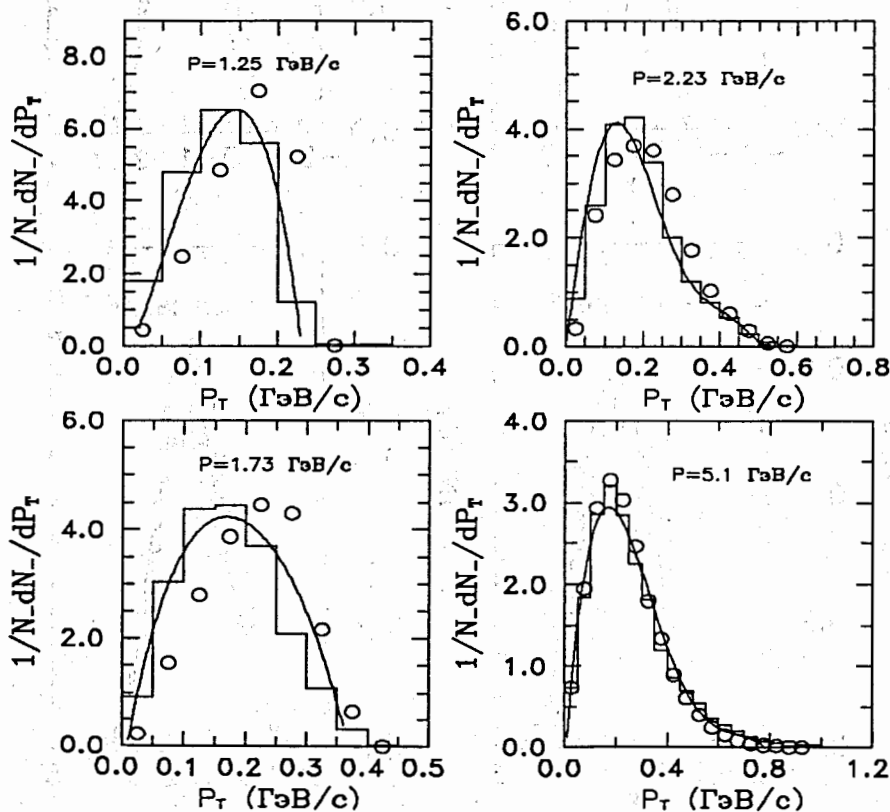


Рис. 2: Распределения π^- -мезонов по поперечным импульсам в pp -взаимодействиях. Обозначения, как и на рис. 1

Модель FRITIOF предполагает, что в ходе взаимодействия сталки-

вающиеся адроны h_1 и h_2 обмениваются поперечным импульсами P_T . Распределение по P_T имеет вид

$$dW = b^2 e^{-BP_T} P_T dP_T, \quad B = 12,5 \text{ (ГэВ/с)}^{-1}.$$

В [7] было предложено использовать значение $B = 3,33 \text{ (ГэВ/с)}^{-1}$, что мы и делали в расчетах.

Интересно отметить, что модифицированная модель воспроизводит не только инклюзивные одночастичные распределения π^- -мезонов по быстроте или по поперечному импульсу, но и совместное распределение π^- -мезонов по быстроте и поперечному импульсу.

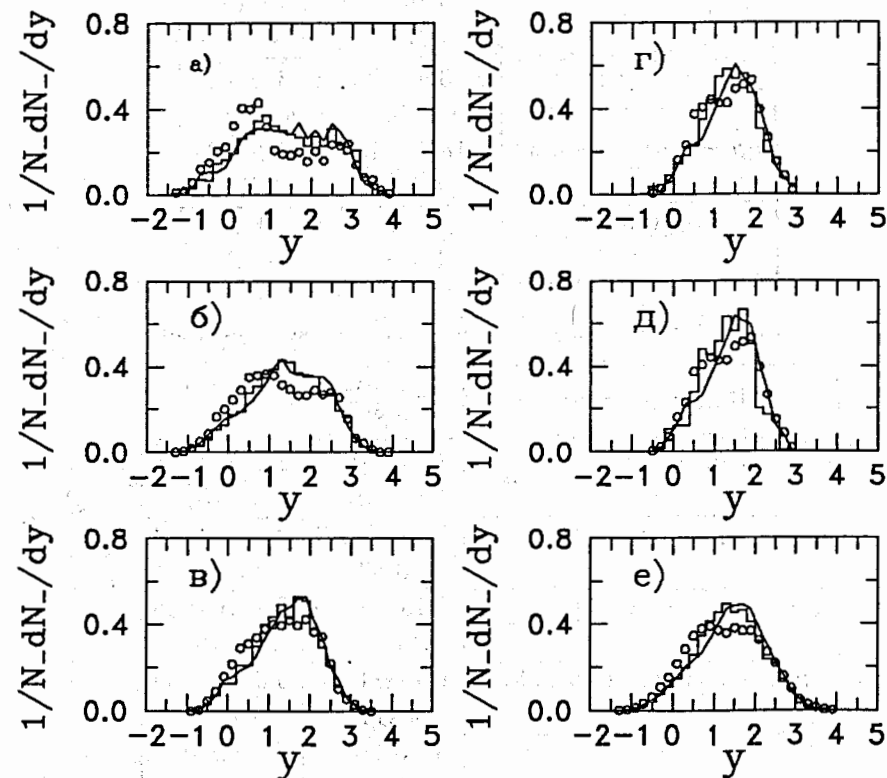


Рис. 3: Распределения π^- -мезонов по быстротам в pp -взаимодействиях при $P_n = 5,1$ ГэВ/с при различных поперечных импульсах: а) $0 \leq P_T < 0,1$; б) $0,1 \leq P_T < 0,2$; в) $0,2 \leq P_T < 0,3$; г) $0,3 \leq P_T < 0,5$; д) $0,5 \leq P_T$; е) $0 \leq P_T$ ГэВ/с

На рис. 3 представлены распределения π^- -мезонов по быстротам при разных значениях поперечного импульса. Как видно из рисунка,

если исходная модель воспроизводила экспериментальные распределения довольно грубо, то модифицированная модель описывает экспериментальные данные значительно точнее.

Важными характеристиками взаимодействий являются сечения отдельных каналов реакций. В табл. 1–3 мы приводим расчеты, нормированные на экспериментально измеренные полные неупругие сечения np -взаимодействий при $P_n = 3, 83$ и $5, 10$ ГэВ/с, вместе с экспериментальными данными [8]. Расчетные величины даны в скобках.

Таблица 1: Сечения неупругих реакций 1-лучевых звезд (мб)

Канал реакций	Импульсы (ГэВ/с)	
	3.83	5.1
$np \rightarrow np + m\pi^0$	6.53 ± 1.04 (6.17)	4.03 ± 0.95 (5.18)
$np \rightarrow nn\pi^+ + m\pi^0$	4.18 ± 0.18 (4.94)	5.13 ± 0.34 (4.77)
$\sigma_{top}^1 (inel.)$	10.7 ± 1.1 (11.1)	9.2 ± 1.0 (10.0)

Таблица 2: Сечения неупругих реакций 3-лучевых звезд (мб)

Канал реакций	Импульсы (ГэВ/с)	
	3.83	5.1
$np \rightarrow pp\pi^-$	2.35 ± 0.12 (1.40)	2.13 ± 0.11 (1.15)
$np \rightarrow pp\pi^-\pi^0$	1.83 ± 0.13 (3.33)	2.05 ± 0.12 (2.85)
$np \rightarrow np\pi^+\pi^-$	6.46 ± 0.32 (4.57)	6.22 ± 0.28 (4.48)
$np \rightarrow 3 \text{ заряд.} + m \text{ нейтр.}$	1.91 ± 0.24 (2.71)	5.37 ± 0.30 (6.02)
σ_{top}^3	12.6 ± 0.4 (12.0)	15.8 ± 0.4 (14.5)

Как видно из таблиц, модель качественно воспроизводит соотношения между топологическими сечениями. В то же время, расхождение между экспериментальными и расчетными сечениями отдельных каналов реакций может быть довольно большим.

Таблица 3: Сечения реакций 5-лучевых звезд (мб)

Канал реакций	Импульсы (ГэВ/с)	
	3.83	5.1
$np \rightarrow pp\pi^+\pi^-\pi^-$	0.31 ± 0.04 (0.51)	0.56 ± 0.04 (1.00)
$np \rightarrow pp\pi^+\pi^-\pi^-\pi^0$	0.08 ± 0.01 (0.04)	0.34 ± 0.03 (0.22)
$np \rightarrow np\pi^+\pi^+\pi^-\pi^-$	0.10 ± 0.02 (0.04)	0.42 ± 0.04 (0.29)
$np \rightarrow 5 \text{ заряд.} + m \text{ нейтр.}$	0.03 ± 0.01 (0.03)	0.17 ± 0.01 (0.06)
σ_{top}^5	0.51 ± 0.04 (0.62)	1.49 ± 0.12 (1.57)

В целом, мы полагаем, что достигнутый уровень описания позволяет перейти к количественному анализу адрон-ядерных и ядро-ядерных взаимодействий, что и будет сделано в последующих публикациях. Авторы выражают благодарность А.П. Иерусалимову за интерес к работе и полезные обсуждения. Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (грант No.96-02-17216).

Литература

1. В.В. Ужинский, А.С. Пак// ЯФ, 1996, т. 59, с. 1109.
2. Б. Ганхуяг, В.В. Ужинский// ОИЯИ, P2-96-419, 1996, Дубна.
3. B. Andersson et al.,// Nucl. Phys. B, 1987, v. 281, p. 289.
4. B. Nilsson-Almqvist, E. Stenlund// Comp. Phys. Comm., 1987, v. 43, p. 387.
5. T. Sjöstrand, M. Bengtsson// Comp. Phys. Comm., 1987, v.3, p.367.
6. А. Абдивалиев и др// ОИЯИ, P1-82-5076 19826 Дубна.
7. A.I. Adamovich et al., (EMU-01 Collaboration)// Zeit. fur Phys. C, 1997, in press.
8. К. Бешлиу и др.// ЯФ, 1986, т. 43: с. 888.

Рукопись поступила в издательский отдел
21 октября 1997 года.