

УДК 539.171.12/6

ОПИСАНИЕ БИНАРНЫХ РЕАКЦИЙ В ПРОСТРАНСТВЕ
ЧЕТЫРЕХМЕРНЫХ ОТНОСИТЕЛЬНЫХ СКОРОСТЕЙ

А.И.Малахов, Г.Л.Мелкумов

Приведены результаты анализа бинарных реакций $I + II \rightarrow 1 + 2$ типа перезарядки $\pi^- + p \rightarrow \pi^0(\eta, \omega) + n$ в пространстве четырехмерных относительных скоростей в широком интервале импульсов налетающих частиц от 3 до 200 ГэВ/с. Анализ проводился по параметру $b_{II} = -(p_I/m_I - p_1/m_1)^2$. Как и в случае рождения адронных струй, в сечениях бинарных реакций реализуется статистическая закономерность - распределения монотонно и достаточно быстро убывают с ростом b_{II} : $d\sigma/db_{II} = A \cdot \exp(-b_{II}/B)$. Зависимости величин B и среднего значения $\langle b_{II} \rangle$ от импульса налетающей частицы указывают на универсальный характер распределений π^0 , η - и ω -мезонов по величине b_{II} , форма которых, начиная с $p_{\pi^-} = 20 \div 50$ ГэВ/с, перестает зависеть от энергии взаимодействий. Значения параметров B и $\langle b_{II} \rangle$ для π^0 -мезонов близки к значениям соответствующих параметров для π^- -мезонов в струях адронов.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Description of Binary Reactions in the
Relative Four-Velocity Space

A.I.Malakhov, G.L.Melkumov

The results of analysis of $I + II \rightarrow 1+2$ binary reactions of the type of charge exchange $\pi^- + p \rightarrow \pi^0(\eta, \omega) + n$ in a wide momentum interval from 3 to 200 GeV/c in the relative four-velocity space using $b_{II} = -(p_I/m_I - p_1/m_1)^2$ parameter are given. Like a hadron jet productions, the statistical regularity for binary reactions is realized - the cross sections of those monotonously and rather sharply decrease with b_{II} increasing: $d\sigma/db_{II} = A \cdot \exp(-b_{II}/B)$. The B and $\langle b_{II} \rangle$ dependence on incident particle momentum points to the universal properties of b_{II} distribution for π^0 , η, ω . These distributions are independent of energy beginning from $p_{\pi^-} = 20 \div 50$ GeV/c. The parameters B and $\langle b_{II} \rangle$ for π^0 from binary reactions and

for π^- from the hadron jets are approximately the same.

The investigation has been performed at the Laboratory of High Energies, JINR.

Процессы, происходящие при столкновении систем в релятивистской области, как было показано в работах А.М.Балдина /1,2/, следует описывать с помощью релятивистски-инвариантных переменных

$$b_{ik} = -\left(\frac{p_i}{m_i} - \frac{p_k}{m_k}\right)^2 = 2\left[\frac{(p_i p_k)}{m_i m_k} - 1\right], \quad /1/$$

где p_i, p_k - четырехмерные импульсы; m_i, m_k - массы частиц; $p_i/m_i, p_k/m_k$ - четырехмерные скорости частиц.

Было показано, что именно величины b_{ik} , являющиеся квадратами разности четырехмерных скоростей, определяют величину амплитуд и тем самым силу взаимодействия. Такое релятивистски-инвариантное описание процессов оказалось очень плодотворным. Оно позволило сформулировать принцип ослабления корреляций в пространстве относительных четырехмерных скоростей b_{ik} /3,4,5/, аналогичный принципу Боголюбова в статистической физике /8/. Согласно этому принципу адроны и ядра трактуются как кварк-глюонные кластеры с $b_{ik} \ll 1$, а условие $b_{ik} \gg 1$ как мера локальности взаимодействия адрона i с адроном k имеет простой физический смысл: при достаточно больших относительных скоростях взаимодействие между кварками, входящими в объект i , и кварками, входящими в объект k , ослабевает настолько, что его можно рассматривать на конституентном уровне. Условие $b_{ik} \gg 1$ согласуется с современным пониманием асимптотической свободы - исчезновением взаимодействия на асимптотически малых расстояниях или при $b_{ik} \rightarrow \infty$.

Более того, оказалось /3/, что параметр b_{ik} связан с такими фундаментальными величинами, как бегущая константа связи в квантовой хромодинамике $\alpha_s = 1,4/\ln b_{ik}$ и длина формирования адрона $l_f \cong b_{ik}/2m_k$ /здесь m_k - масса кварка/.

Гипотеза об ослаблении корреляций нашла экспериментальное обоснование /3-5, 7-9/ при описании процессов множественного рождения частиц, рождения струй в мягких адронных столкновениях.

В настоящей работе сделана попытка провести анализ бинарных реакций типа перезарядки

$$I + II \rightarrow 1 + 2$$

/2/

в пространстве четырехмерных скоростей.

Инвариантное сечение образования частиц в реакции /2/ может быть представлено в общем виде функцией распределе-

ния в пространстве относительных скоростей b_{ik} :

$$W(b_{I II}, b_{II}, b_{I2}, b_{II1}, b_{II2}, b_{12}). \quad /3/$$

В случае, когда $b_{I II} \rightarrow \infty$ /точнее, $b_{I II} \gg 1/$, а b_{II} и b_{II1} имеют конечные значения, можно применить принцип автомодельности и записать распределения /3/ в зависимости от безразмерных масштабных переменных:

$$\frac{A}{(b_{I II})^m} W(b_{II}, b_{II2}, \frac{b_{I2}}{b_{II}}, \frac{b_{II1}}{b_{II}}, \frac{b_{12}}{b_{II}}). \quad /4/$$

Далее, используя принцип ослабления корреляций как общее свойство инвариантных распределений, описывающих реакции /2/, функцию распределения можно представить в факторизованном виде

$$\frac{A}{(b_{I II})^m} W^{\alpha}(b_{II}, \frac{b_{II1}}{b_{II}}, \frac{b_{12}}{b_{II}}) W^{\beta}(b_{II2}, \frac{b_{I2}}{b_{II}}, \frac{b_{12}}{b_{II}}). \quad /5/$$

Здесь W^{α} и W^{β} описывают соответственно процессы фрагментации пучка и мишени.

В отличие от случая, когда изучались струи адронов и корреляции частиц в множественных процессах, в бинарных реакциях /2/ все кинематические параметры однозначно связаны законом сохранения энергии-импульса

$$P_I + P_{II} = P_1 + P_2. \quad /6/$$

из которого следует, что

$$\frac{(P_I P_2)}{(P_I P_{II})} \sim 1, \quad \frac{(P_I P_1)}{(P_{II} P_2)} \sim 1, \quad \frac{(P_I P_2)}{(P_{II} P_1)} \sim 1, \quad /7/$$

т.е. релятивистски-инвариантные переменные светового фронта $X \approx 1$ и

$$m_I^2 + m_1^2 - 2(P_I P_1) = m_{II}^2 + m_2^2 - 2(P_{II} P_2). \quad /8/$$

С учетом /1/ можно записать:

$$m_{II} m_2 b_{II2} = m_1 \cdot m_I b_{II1} + (m_{II} - m_2)^2 - (m_I - m_1)^2. \quad /9/$$

Используя /7/ и /9/, сечения бинарных реакций /5/ можно представить в виде функций, зависящих от одной переменной b_{II} :

$$\sigma \propto \frac{1}{(b_{II})^m} W^{\alpha}(b_{II}) W^{\beta}(b_{II}). \quad /10/$$

Ниже приводятся результаты исследования характера распределения релятивистски-инвариантной переменной b_{II} для реакций /2/, которое фактически соответствует функции $W(b_{II})$ в /10/.

В качестве экспериментальных данных использовались результаты опубликованных работ /11,12/, /13,14,20/, /15-19/ по исследованию реакций



в широком интервале импульсов налетающих частиц от 3 до 200 ГэВ/с.

Анализ указанных реакций проводился по параметру b_{ik} , где индекс i относится к налетающим π^- -мезонам, а индекс k относится к рожденным π^0 -, η - или ω -мезонам соответственно в реакциях /11/-/13/. В этом случае величина b_{ik} однозначно связана с квадратом четырехмерного импульса t , переданного нуклону:

$$b_{ik} = \frac{m_i^2 + m_k^2 - t}{m_i \cdot m_k} - 2, \quad /14/$$

где $m_i \equiv m_{\pi^-}$, $m_k \equiv m_{\pi^0}$, m_{η} или m_{ω} .

На рис. 1 приведены распределения π^0 -, η - и ω -мезонов по величине b_{11} при двух отличающихся на порядок значениях

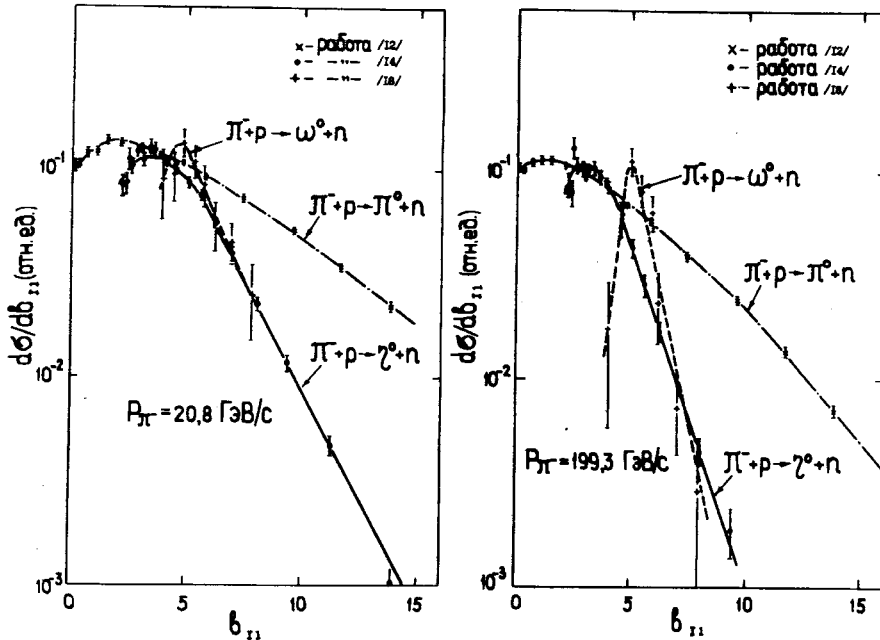


Рис. 1. Распределения π^0 -, η -, ω -мезонов по b_{11} в области фрагментации пучка для реакций $\pi^- + p \rightarrow \pi^0(\eta, \omega) + n$ при импульсах 20,8 и 199,3 ГэВ/с. Для удобства сравнения все распределения нормированы на одну и ту же величину.

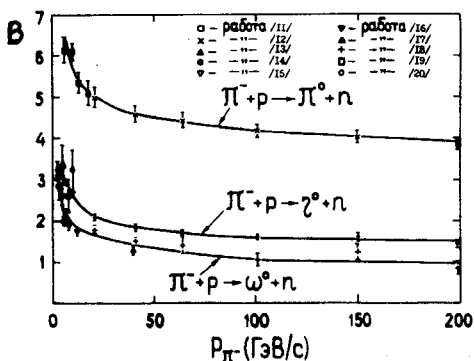


Рис.2. Зависимость величины параметра B от импульса p_{π^-} для реакций $\pi^- + p \rightarrow \pi^0(\eta, \omega) + n$.

ях импульсов $p_{\pi^-} = 20,8$ и $199,3$ ГэВ/с. Видно, что, как и в случае рождения адронных струй /8-5, 7-9/, в сечениях бинарных реакций /11/-/13/ реализуется статистическая закономерность - распределения монотонно и достаточно быстро убывают с ростом b_{II} .

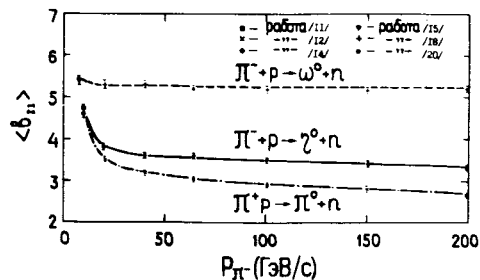
Прямые линии на рис.1 - результат аппроксимации распределений зависимостью

$$\frac{d\sigma}{db_{II}} = A \cdot \exp(-b_{II}/B). \quad /15/$$

Зависимости величины B и среднего значения $\langle b_{II} \rangle$ в реакциях /11/-/13/, представленные соответственно на рис.2 и 3, указывают на универсальный характер распределений π^0 -, η - и ω -мезонов по величине b_{II} , форма которых, начиная с $p_{\pi^-} = 20 \div 50$ ГэВ/с, перестает зависеть от энергии взаимодействий. Такая универсальность была отмечена ранее /10/ при анализе распределений π^- -мезонов по b_k в струях адронов.

Однако для рассматриваемых процессов выход на асимптотический режим начинается не при $b_{II} \approx 5$, как это имеет место для релятивистских ядерных столкновений /10/, а при $b_{II} \geq 100$.

Следует обратить внимание на то, что значения параметров B и $\langle b_{II} \rangle$ для π^0 -мезонов из реакции /11/ близки к значениям соответствующих параметров для π^- -мезонов в струях адронов / $B = 4$, $\langle b_k \rangle \approx 4$ /9/. Это может служить указанием на общность механизма образования пионов в струях во множественных процессах и в бинарных реакциях типа перезарядки.



Основные результаты анализа представлены также в таблице, где указаны граничные значения импульсов π^- -мезонов в реакциях /11/-/13/, исследуемых в работах /11-20/.

Рис.3. Зависимость величины $\langle b_{II} \rangle$ от импульса p_{π^-} для реакций $\pi^- + p \rightarrow \pi^0(\eta, \omega) + n$.

Таблица

Реакция	Интервалы изменений					Ссылка		
	P_{π^-}	(ГэВ/с)	b_{II}	$\langle b_{II} \rangle$	B		X_N	
$\pi^- + p \rightarrow \pi^0 + n$	5,9	$\div 18,2$	0,5	$\div 42,5$	4,93 $\pm 0,05 \div 4,16 \pm 0,07$	6,1 $\pm 0,4 \div 5,1 \pm 0,3$	1,0 \div 0,928	11
	20,8	$\div 199,3$	0,1	$\div 69,0$	3,49 $\pm 0,03 \div 2,66 \pm 0,02$	5,0 $\pm 0,3 \div 3,9 \pm 0,1$	1,0 \div 0,967	12
$\pi^- + p \rightarrow \eta + n$	2,91	$\div 9,8$	2,8	$\div 18,5$	5,1 $\pm 0,1 \div 4,7 \pm 0,1$	4,7 $\pm 1,0 \div 4,4 \pm 0,9$	0,997 $\div 0,771$	20
	3,26	$\div 4,75$	2,3	$\div 10,0$	4,45 $\pm 0,04 \div 4,36 \pm 0,06$	3,1 $\pm 0,3 \div 3,3 \pm 0,5$	1,0 \div 0,902	13
	20,8	$\div 199,3$	2,2	$\div 16,5$	3,81 $\pm 0,02 \div 3,33 \pm 0,02$	2,9 $\pm 0,3 \div 1,9 \pm 0,2$	1,0 \div 0,972	14
$\pi^- + p \rightarrow \omega + n$	3,65	$\div 5,5$	4,5	$\div 0,9$	6,37 $\pm 0,08 \div 6,08 \pm 0,07$	2,8 $\pm 0,3 \div 2,0 \pm 0,1$	0,992 $\div 0,868$	16
	3,8	$\div 8,0$	4,7	$\div 12,0$	6,5 $\pm 0,1 \div 6,3 \pm 0,1$	3,9 $\pm 0,9 \div 2,6 \pm 0,4$	0,993 $\div 0,888$	19
	8,0	$\div 12,0$	4,2	$\div 10,2$	5,9 $\pm 0,1 \div 5,75 \pm 0,06$	1,9 $\pm 0,1 \div 1,72 \pm 0,09$	0,997 $\div 0,953$	15
	15,0	$\div 40,0$	3,9	$\div 17,5$	5,21 $\pm 0,05 \div 5,23 \pm 0,01$	1,64 $\pm 0,09 \div 1,3 \pm 0,08$	1,0 \div 0,980	17
	20,8	$\div 199,3$	4,0	$\div 7,9$	5,31 $\pm 0,08 \div 5,22 \pm 0,06$	1,78 $\pm 0,09 \div 0,86 \pm 0,1$	1,0 \div 0,988	18

и соответствующие им пределы изменений величин b_{II} , $\langle b_{II} \rangle$, V , X_H . Здесь, помимо параметров, описанных ранее, присутствует партонная переменная^{/9/}:

$$X_H = \frac{m_1}{m_I} (u_I, N_{II}), \quad /16/$$

где

$$N_{II} = \frac{u_{II}}{(u_I \cdot u_{II})}, \quad u_I = \frac{P_1}{m_1}.$$

Эта переменная характеризует долю четырехимпульсов первичного адрона (π^-), уносимую вторичными адронами (π^0, η или ω).

Видно, что все значения X_H близки к 1, т.е. рождение π^0, η - и ω -мезонов в рассматриваемых бинарных реакциях является результатом ярко выраженной фрагментации частицы пучка, точнее, одного из кварков (\bar{u} или d) налетающего π^- -мезона.

В заключение авторы выражают благодарность академику А.М.Балдину за полезные обсуждения и помощь в работе.

Литература

1. Балдин А.М. Краткие сообщения по физике, ФИАН, М., 1971, № 1, с.35.
2. Балдин А.М. ДАН СССР, 1975, т.222, с.1064.
3. Балдин А.М., Диденко Л.А. В сб.: Краткие сообщения ОИЯИ, № 3-84, Дубна, 1984, с.5.
4. Балдин А.М., Диденко Л.А. В сб.: Краткие сообщения ОИЯИ, № 8-85, Дубна, 1985, с.5.
5. Балдин А.М. В кн.: Теоретические аспекты совместных экспериментальных программ ОИЯИ с ЦЕРН и с ИФВЭ. ОИЯИ, P2-85-609, Дубна, 1985, с.52.
6. Боголюбов Н.Н. Избранные труды по статистической физике. Изд-во МГУ, М., 1979, с.222.
7. Baldin A.M. et al. JINR, E1-84-317, Dubna, 1984.
8. Baldin A.M. et al. JINR, E1-85-415, Dubna, 1985.
9. Baldin A.M. et al. JINR, E1-85-675, Dubna, 1985; Балдин А.М. и др. ОИЯИ, P1-85-820, Дубна, 1985.
10. Baldin A.M. Nucl.Phys., 1985, A434, p.695с; Балдин А.М. ДАН СССР, 1984, т.279, с.1352.
11. Stirling A.V. et al. Phys.Rev.Lett., 1965, v.14, No.18, p.763.
12. Barnes A.V. et al. Phys.Rev.Lett., 1967, v.37, p.76.
13. Arkhipov V.A. et al. JINR, E1-11596, Dubna, 1978.
14. Dahl O.I. et al. Phys.Rev.Lett., 1967, v.37, No.2, p.80.
15. Dowell J.D. et al. Nucl.Phys., 1976, B108, p.30.

16. Halloway L.E. et al. Phys.Rev. D, 1973, v.8, No.9, p.2814.
17. Апель В.Д. и др. ЯФ., 1980, т.31, вып.1, с.167.
18. Dahl O.I. et al. Phys.Rev.Lett., 1977, v.33, No.2, p.54.
19. Apel W.D. et al. Phys.Lett., 1975, v.55B, No.1, p.111.
20. Guisan et al. Phys.Lett., 1965, v.18, No.2, p.200.

Рукопись поступила 21 августа 1986 года.