

СООбЩения Объединенного института ядерных исследований дубна

P1-90-521

1990

Н.М.Вирясов, Г.Р.Гулканян\*, В.Г.Какоян\*, С.А.Корчагин\*, А.П.Нагайцев, М.И.Соловьев, Н.Г.Фадеев, Г.А.Худавердян\*, А.П.Чеплаков

ОБЩИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ "-МЕЗОНОВ, ОБРАЗОВАННЫХ В dC- И «С-ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ ПРИ ЭНЕРГИИ 1 И 3,3 ГэВ/нуклон

\*Ереванский физический институт, Ереван

Настоящая работа является частью систематических исследований инклюзивных спектров пионов в ядро-ядерных столкновениях, проводимых с помощью двухметровой пропановой пузырьковой камеры (ППК) ЛВЭ ОИЯИ, облученной в пучках релятивистских ядер дубненского синхрофазотрона. Результаты этих исследований могут быть, в частности, использованы при определении оптимальных (с энергетической точки зрения) условий генерации пучков  $\mu$ -мезонов для применения последних в мюонном катализе синтеза легких ядер<sup>/2/</sup>.

Данный эксперимент инициирован работами А.И.Пономарева и сотрудников<sup>/3/</sup>. Здесь представлены результаты измерения инклюзивных спектров *n*<sup>-</sup>-мезонов, образующихся при взаимодействии ядер дейтерия с энергией 1,0 и 3,3 ГэВ на нуклон, и *а*-частиц с энергией 3,3 ГэВ на нуклон с ядрами углерода в пропане. При отборе неупругих соударений налетающих ядер с ядрами углерода было просмотрено 10 тыс., 20 тыс. и 25 тыс. стереофотографий, соответственно.

Обнаружено около 1800 взаимодействий дейтронов при 1 ГэВ на нуклон с рождением  $\pi^-$ -мезонов (в основном, одиночных). Вклад событий с рождением двух  $\pi^-$ -мезонов составляет ~  $2\%^{/4/}$ . Подавляющая часть их (~ 87%) является dC-взаимодействиями.

Найдено также 6684 dC - и 4949 aC -неупругих соударений при энергии 3,3 ГэВ на нуклон, среди которых π<sup>--</sup>-мезоны зарегистрированы в 3484 dC - и в 2901 aC-событии. Вклад событий с n ≥ 2 здесь существенно больше и составляет примерно 20% и 40% соответственно. Количество этих взаимодействий приведено с учетом процедуры статистического разделения водород-углеродных событий <sup>/5/</sup>. Отобранные события. измерялись на полуавтоматических устройствах и обрабатывались на ЭВМ с помощью программы геометрической реконструкции ГЕОФИТ.

1. Получены полные инклюзивные сечения рождения *п*-мезонов, которые равны:

 $\sigma_{-}(dC) = (68,9\pm4,4)$  мб при 1 ГэВ на нуклон,  $\sigma_{-}(dC) = (240\pm15)$  мб при 3,3 ГэВ на нуклон,  $\sigma(aC) = (410\pm25)$  мб при 3,3 ГэВ на нуклон.

Двумерные распределения  $\pi^-$ -мезонов по переменным импульс — угол приведены в табл.1, а одномерные — на рис.1-3. В табл.2 представлены средние значения импульса  $\pi^-$ -мезонов <P>, угла вылета < $\Theta$ >, косинуса угла < $\cos \Theta$ > и квадрата поперечного импульса  $<P_{\pi}^2$ >.

© Объединенный институт ядерных исследований Дубна, 1990

DELCARDENING HICTHTYT BERGORSCOUL XHEYSAD **БИБЛИОТЕНА** 

Из сравнения инклюзивных спектров и средних характеристик *п*мезонов можно сделать следующие выводы:

- с ростом энергии падающей частицы заметно растет средний поперечный импульс *п*-мезонов, а соответствующие инклюзивные распределения смещаются в сторону больших значений;

при меньших энергиях угловой спектр *п*-мезонов несколько шире;
 при столкновениях легких релятивистских ядер форма инклюзивных спектров слабо зависит от атомного веса налетающего ядра, а средние характеристики *п*-мезонов в пределах экспериментальных ошибок существенно не отличаются;

Таблица 1. Двумерные распределения *п*-мезонов по переменным импульс — угол

			•	1.0					*		1		
, <b>1</b>	80			1								€ <sup>1,2</sup>	
			4	1					- <u>-</u>   e				
			7	3					au	1,0			a 12 De
		6	8	13							÷.,	,	
			15	6	1	11 A.					1. J.	1.14	
· · .	20	4	21	11	2	1	1	1.1			×	5 1	
1	20	4	34	11	1	14	·	1					
		5	27	11	4.								
ал	s <u>t</u> e r	7	29	25	2	1.						5. A. A.	
<u> </u>	•	7	30	24	8	.5						4.14	
ω.		6	47	48	10	3	2	Í					 
	-	:4	41	44	19	6	4	1	1. J. J.		1	10	
	50	1	38	59	33	20	9	•			1	1912	].
		2	42	52	40	19	11	6	4	2			
		3	26	46	38	40	18	10	3	14 A.	1		
		2	20	41	58	48	22	17	5	2	. 1		÷.
		2	10	17	29	30	32	14	9	4	1	11	
	0		3	6	8	15	16	7	4			÷.,	-
	J	0				0	<b>,</b> 5	p,	r,	Гэ]	1 B/c	,0	

10	n	16.5		_		_	_				-											
101	ľ	<u>.</u> 		1				j.			13	1	1.	1. A	÷.,	1.5				÷.,		
a de la d	1	2 7	<u>i</u>	1	1	_	5		12			1	1.4	Ξ.	·						<u> </u>	
	4	6 . 10	6	5	_	1	· .		.1		1.1	·		· · .		dC	3	3	_			
	2	3 2	7	6	2	1	1	1	-	.,	<u>1</u> ;;				<u>, a</u>	i.,						
	· _ e	5 <mark>3</mark>	3 1	2	6	1	1		1.1			· .	<u> </u>	 								, i.e
12	h۴	5 3	0 1	3	4	<u> </u>		:		<u>d</u> z	1	<u> </u>			Ĺ		<u> </u> .		_	з. <sup>2</sup> .		
	Ľ	3 4	4 1	9	9	3	1			ः •		Ľ.	1 <sup>1</sup>		<u> </u>	Ĺ					<u> </u>	
ਬਸ਼ੂ.	1	1 3	9 2	21 1	3	8	2					ļ		I								
ŗb	1	3 4	B 2	7 1	<u>o</u>	5	2	1	·	Ľ					<u> </u>		Ľ		•	÷	1	
σ.	2	1 7	14	8 2	23	11	9	4	3	Ŀ		1.4		•				-		- 4	<u> </u>	1
	12	5	8 6	33	0	6	11	5	3	1		3		1				·	1	- -		
6(	19	7	3 7	9 4	3	29	17	8	6	2	Э	2	3		1			<u>.</u>	2			
U.	<u>ا</u>	1 7	1 7	8 8	30 4	.7	27	15	11	3	3	2	1	2	1	2			-			
	1	3 7	7 9	7 8	6 6	55	52	30	18	19	10	5	6	1	4	1		_		ŝ.		1
	6	6	1 7	89	9	73	84	43	35	31	27	12	5	8	6	5	4		3	3	1	1
	4	, 5	5 7	78 9	94	38	82	71	51	44	35	24	17	16	11	5	1	0	в	4	5	
1		5 2	9 3	7 9	66	2	78	7 <b>8</b>	53	69	44	52	39	33	18	19	1	6	8	12	9	7.
{	1				0	ыİ	20	25	35	23	25	27	30	20	18	1	5 5	5	6	10	5	2
1	ון 0	3	. 1.	0	<u></u>	0,	5	23	:	<b>.</b>	1	,0			_		1,5		時に行			
180	) 0	31	<u>, 1</u> ,	<u>, 10</u>	, <u>, , , , , , , , , , , , , , , , , , </u>	0,	5 				1	<b>,0</b>	٩	.;I	<b>`э</b>	B/e	1,5 c					
180	$\frac{1}{2}$	2		• •	, <u>, , , , , , , , , , , , , , , , , , </u>	0,	5					,0 	P <sub>π</sub>	., <b>1</b>	<b>?</b> э.	B/(	1,5 c					
180	) 0 1 2	2 10	4			0,	5					<b>,0</b>	P <sub>n</sub>	- <b>; 1</b>	<b>?</b> э	B/0	1,5 c					
180	0 0	2 10 13	4			0,	5					<b>,</b> 0	P <sub>n</sub>	- <b>; 1</b>	<b>?</b> э.	B/0	1,5 c 3,3					
180	2 1 3 4	2 10 13 19	4 7	5		0,	5					<b>,</b> 0	P <sub>n</sub>	- ; 1	<b>^</b> э	B/(	1,5 c 3,3					
180	2 1 3 4 3 6	2 10 13 19 30 ()	4 7 19 23	5		0,						<b>,0</b>	Pπ	- <b>; 1</b>	Гэ — — —	B/(	1,5 c 3,3					
180 120	$\begin{bmatrix} 2 \\ 1 \\ 3 \\ 6 \\ 9 \end{bmatrix}$	2 10 13 19 30 43	4 7 19 23 22	5		0,						,0	P <sub>π</sub>	- ; · ]	ς γ	B/(	1,5 c					
180 120	$\frac{2}{1}$ $\frac{3}{6}$ $\frac{6}{9}$ 12	2 10 13 19 30 43 32 38	4 7 4 19 23 22 28	5 5 4 9 2 12								,0	Prr	-,;1	Гэ. 	B/(	1,5 c 3,3					
180 120	2 1 3 4 3 6 9 12 12	2 10 13 19 30 43 32 38 44	4 7 4 19 23 22 28 26	5 5 4 9 2 12								,0	Pr		<b>`</b> 3	B/(	1,5 c 3,3					
180 120	2 1 3 4 3 6 9 12 12	2 10 13 30 43 32 38 44 44	4 7 4 19 23 22 28 26 42	5 5 4 9 2 12 20 2								,0	Pπ	- ;- ]		B/(	1,5 c					
180 120 	2 1 3 4 3 6 9 12 12 16 14	2 10 13 30 43 32 38 44 49 67	4 7 4 19 23 22 28 26 42	5 5 4 9 2 12 20 25 36								,0	Рл			B/(	1,5 c					
180 120 	2 1 3 4 3 6 9 12 12 12 16 14	2 10 13 30 43 32 38 44 49 67 87	4 7 4 19 23 22 28 26 42 52 52	5 4 9 22 12 25 36 47	1 1 1 1 1 4 12 16 14							,0				B/(	1,5 c					
180 120 	2 1 3 4 3 6 9 12 12 16 14 14 14	2 10 13 30 43 32 38 44 49 67 87 70	4 7 23 26 26 42 52 63 88	5 5 4 9 2 25 36 47 47	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1				3 3 5 5 2	1 1 8 6	1	,0	Ρπ			B/(	1,5 c					
180 120 .ingdi (0 60	2 1 3 4 3 6 9 12 12 16 14 12 11	2 10 13 30 43 32 38 44 49 67 87 70 70	4 7 19 23 22 26 26 42 52 63 88	5 5 4 9 2 12 25 36 47 63	1 1 1 16 14 30 48				3 5 5 8 1 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7	1 1 6	1	,0	Pπ			B/(	1,5 c 3,3					
180 120 .πεd. 'Θ 60	2 1 3 4 3 6 9 12 12 12 16 14 14 12 11 15	2 10 13 30 43 32 38 44 49 67 87 67 70 77 57	4 7 4 19 23 22 28 26 26 42 52 52 52 63 88 88 88 88	5 5 4 9 22 12 25 36 47 63 99 102	1 1 1 1 1 4 4 12 16 14 30 48 66	0, 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1		2 . 3 . 3 . 4 . 1 .	3 5 5 7 1 9 7	1 1 1 8 6	1	,0	Pπ	5		B/(	1,5 c					
180 120 .παί. Θ 60	2 1 3 4 3 6 9 12 12 16 14 14 12 11 15 7	2 10 13 30 43 32 38 44 49 67 87 70 77 57 45	4 7 4 19 23 26 26 42 52 52 63 88 88 88 88 88 98	5 5 4 9 22 25 36 47 63 99 102	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	0, 1 1 1 1 3 14 19 57 78 78		2 · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	3 5 8 8 1 7 7 1 9 3 7 7 4	1 1 1 8 6 8 14 2	1 1 2 3 10 23 1	,0 ,0 ,0	Рл. 1 1 2 2	5		B/(	1,5 c 3,1 1 1					
180 120 60	2 1 3 4 3 6 9 12 12 16 14 12 11 15 7 2	2 10 13 30 43 32 38 44 49 67 87 70 77 57 45 26	4 7 19 23 22 28 26 42 52 63 88 88 88 88 88 88 88	5 5 4 9 2 12 25 36 47 63 99 102 100 6.	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	0, 1 1 3 1 4 1 1 3 5 7 7 8 7 7 8 7 7		23 3 3 4 1 7 2 8 3 1 5 7 2 8 3 1 5 7 7 2	3 5 5 8 1 7 1 9 3 7 4 6 6	1 1 1 8 6 8 14 7 4	1 1 2 3 10 43	,0 ,0 ,0	Π 1 2 2 4 31 4	5		B/( C 5 15 27	1,5					
180 120 60	2 1 3 4 3 6 9 12 12 12 16 14 14 12 11 15 7 2	2 10 13 30 43 32 38 44 49 67 87 70 77 57 45 26	4 7 4 19 23 26 26 42 26 42 52 63 88 88 88 88 98 71 55 55	5 5 4 9 2 12 25 36 47 47 63 99 102 100 61	1 1 1 1 1 1 4 1 2 16 14 30 4 8 66 90 74	0, 1 1 1 1 3 4 3 1 4 3 7 7 7 7 7 7		2 3 3 1 7 2 8 3 1 5 4 7 7 7	3 3 5 5 7 4 6 5 7 4 6 5	1 1 1 8 6 8 14 1 2 2	1 1 2 3 10 23 1 3 50 9	,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,	Рл 1 1 4 2 2 31 4 31 4	5		B/( C 5 5 15 27	1,5					
180 120 120 60	2 1 3 4 3 6 9 12 12 16 14 12 11 15 7 2	2 10 13 30 43 32 38 44 49 67 87 70 77 57 45 26 14	4 7 4 19 23 22 26 42 52 63 88 88 88 98 71 55 55 19	5 4 9 2 12 25 36 47 63 102 61 22	11 11 14 12 16 14 30 48 66 105 90 74 36	0, 1 1 3 4 3 1 4 3 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7	5 5 5 1 1 2 7 3 6 5 1 1 2 7 3 6 5 2	2	3 3 5 5 7 4 6 5 2 1 9 3 7 7 4 6 5 2	1 1 1 8 6 8 14 2 2 9	1 1 2 3 10 23 1 50 1 22 2 1	,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,	P <sub>T</sub> ( 1 2 2 31 2 31 2 31 3	- , - ]		B/( C 5 15 27 14	1,5 c 3,1 1 1 2 14 20 19	9 24 14				
180 120 	2         1           3         6           9         12           16         14           12         16           14         12           15         7           2         1	2 10 13 30 43 32 38 44 49 67 87 70 77 57 45 26 14	4 7 23 26 26 42 52 63 88 88 88 88 88 71 55 19	5 4 9 2 12 25 36 47 63 99 102 100 61 22	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	0, 1 1 1 1 3 4 3 1 4 1 9 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7	5 5 5 5 5 1 1 2 7 3 6 6 5 1 2 9 9 5 6 6 5 5	2	3 3 5 7 7 4 6 5 2 1 9 3 7 7 4 6 5 2	1 1 1 1 8 6 8 4 3 4 2 2 9	1 1 1 2 3 10 23 1 3 50 9 22 2 1,	,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,	Pπ 1 4 2 2 31 2 31 2 31 2 31 2	- , - ] - , -	<b>~ 3</b>	B/( C 5 15 27 16 1,	1,5 3,3 1 1 2 14 2 19 5	9 24 14			2 7 6 12	

3

- при начальной энергии 3,3 ГэВ на нуклон в распределении по квадрату поперечного импульса *π*-мезонов отчетливо виден излом, указывающий на вклад второй экспоненты с параметром наклона около 8÷9 (ГэВ/с)<sup>-2</sup>. Наклоны первой экспоненты во всех трех случаях близки и составляют около 25÷35 (ГэВ/с)<sup>-2</sup>. Такое значение параметра наклона может свидетельствовать о преимущественно Δ-изобарном механизме образования *π*-мезонов при энергии 1 ГэВ на нуклон.



Рис.1. Импульсное распределение  $\pi$ -мезонов: × — для dC-. взаимодействий при  $T_d = 1$  ГэВ/нуклон; • — при  $T_d = 3,3$  ГэВ/нуклон; о — для *а* Свзаимодействий при  $T_a = 3,3$  ГэВ/нуклон.



Таблица 2. Средние характеристики л-мезонов

Взаимодействие	<Р>, ГэВ/с	<0>, rpa	ад. <cos ю=""></cos>	<Р <sub>Т</sub> >,(ГэВ/с) <sup>2</sup>		
dC, 1 ГэВ/N	0,310±0,005	57±1	0,47±0,01	0,043±0,001		
dC , 3,3 ГэВ/N	0,550±0,020	45±0,5	0,620±0,006	0,090±0,002		
аС, 3,3 ГэВ/N	0,590±0,020	44±0,5	0,630±0,006	0,096±0,003		

5

2. Подробно изучались инклюзивные спектры  $\pi^-$ -мезонов, рожденных при начальной энергии дейтронов 1 ГэВ, более предпочтительной для мюонного катализа /2/.

В этом случае импульсное распределение  $\pi^-$ мезонов из dC-взаимодействий имеет максимум при 0,1÷0,3 ГэВ/с. В область  $p_{\pi^-} \ge 700$  МэВ/с попадает лишь (2,6±0,4)% от всех  $\pi^-$ -мезонов (рис.1). Их спектр можно представить в аналитическом виде:

$$\frac{1}{N} \frac{dN}{dP} \sim \left(\frac{P}{\langle P_{\pi} \rangle}\right)^{\alpha} \cdot \exp\left[-\beta \left(\frac{P}{\langle P_{\pi} \rangle}\right)^{1/2}\right],$$

где значения параметров аппроксимации равны  $a = 6,3\pm0,2; \beta = 15,0\pm0,5$  (при  $\chi^2$ /ст. свободы = 1,5).

На рис.4 приведена зависимость среднего импульса от угла вылета, а на рис.5 — зависимость среднего угла вылета от импульса  $\pi^-$ -мезона. Видно, что с ростом  $\Theta_{\pi^-}$  средний импульс заметно уменьшается, и, соответственно, с ростом  $P_{\pi^-}$  уменьшается средний угол вылета.

На рис.6 приведены распределения по  $P_T^2$  для разных интервалов по  $P_L$  — продольному импульсу  $\pi^-$ -мезонов. Эти распределения также можно аппроксимировать экспоненциальной зависимостью, причем параметр наклона распределения заметно уменьшается с ростом  $P_L$ . Зависимость  $\langle P_T^2 \rangle$  от  $P_L$  представлена на рис.7. Из приведенных данных





гис.о. гаспределение по  $r_{T}$  для разных интервалов величины продольного импульса  $\pi$ -мезонов при  $T_{d}$ = =1 ГэВ/нуклон.

видно, что дифференциальное сечение рождения *п*-мезонов не может быть представлено в факторизованной форме по переменным P<sub>L</sub> и P<sub>T</sub>.
3. Поскольку ядро-снаряд взаимодействует в пропановой камере с ядрами углерода и протонами водорода, при T<sub>d</sub> = 1 ГэВ специально исследовалось влияние примеси "водородных" событий на полученные спектры. Выделялись "водородоподобные" события (на водороде и квазисвободных протонах ядра углерода) и "углеродные" события. К "водородоподобным" относились события, удовлетворяющие следующим условиям: а) отсутствуют летящие назад протоны; б) число лучей n<sub>ch</sub> = 4 (т.к. сечение рождения более одного *п*-мезона в dC-взаимодей-ствиях при данной энергии незначительно); в) число малоэнергичных протонов (P<sub>p</sub> < 200 MэB/c) — не более одного. Таких событий оказалось</li>

or PL

около 30%, из которых 13% соответствуют взаимодействиям на водороде  $^{/4/}$ , а 17% — на квазисвободных протонах ядра углерода. Остальные 70% отнесены к событиям "углеродного" типа. Импульсные и угловые распределения  $\pi^-$ -мезонов

Рис.7. Зависимость  $< P_T^2$ при  $T_a = 1$  ГэВ/нуклон.





в "водородоподобных" ("Н") и "углеродоподобных" ("С") событиях сравниваются на рис.8. В пределах экспериментальных погрешностей распределения заметно не различаются. В частности, средний импульс  $\pi$ -мезонов в "углеродных" событиях  $\langle P_a^{\pi} \rangle = (0,299\pm0,006)$  ГэВ/с, а в "водородоподобных"  $\langle P_{\pi} \rangle = (0,322\pm0,010)$  ГэВ/с. Мы считаем, что это небольшое различие может быть объяснено вторичными взаимодействиями в ядре углерода.

Из сказанного можно сделать вывод о слабом влиянии примеси "водородных" событий на приведенные на рис.1-7 характеристики *п*-мезонов, рожденных в dC-взаимодействиях при T<sub>d</sub>=1 ГэВ.

4. По мере накопления экспериментального материала по ядро-ядерг л взаимодействиям, зарегистрированным с помощью 2 м пропановой пузырьковой камеры ЛВЭ ОИЯИ, на передний план выдвигается проблема обобщения и теоретической интерпретации полученных результатов. В последующих работах мы намерены, в частности, проверить расчеты дубненской версии каскадной модели <sup>/6/</sup> и модели кварк-глюонных струн.<sup>/7/</sup>, которые удовлетворительно описывают эксперимент при начальных энергиях несколько ГэВ на нуклон.

Авторы глубоко признательны А.Н.Зубареву, Н.А.Коржеву, Н.А.Смирнову и В.П.Соколову за получение стереофотографий при облучении пузырьковой камеры.

## ЛИТЕРАТУРА

- 1. Agakishiev H.M. et al. Z. Phys., 1985, C27, p.177.
- 2. Muon Catalyzed Fusion, 1988, 3.
- Ponomarev L.I. Proc. VI Int. Conf. on Atomic Physics, Riga, 1978, Plenum Press, New-York, 1978, p.182. Gerstein S.S. et al. - JETP, 1981, 51, p.1053.

的复数医疗性病的 有限的现在分词 化磷酸磷酸

- Гулканян Г.Р. и др. Препринт ЕрФИ 1150/27-89, 1989.
- 5. Агакишиев Г.Н. и др. Препринт ОИЯИ, 1-83-662, Дубна, 1983.
- 6. Гудима К.К., Тонеев В.Д. ЯФ, 1978, 27, с.658;
  - Nucl. Phys., 1983, A400, p.173.
- 7. Тонеев В.Д., Амелин Н.С., Гудима К.К. Препринт ОИЯИ Р7-89-346, Дубна, 1989; ЯФ, 1990, 51, с.1730; Preprint GSI-89-52, Darmstadt, 1989. Амелин Н.С. и др. — Препринт ОИЯИ Р2-89-870, Дубна, 1989.

Рукопись поступила в издательский отдел 16 ноября 1990 года.

9