

PACS numbers: 13.75.Cs, 13.85.-t, 21.30.-x, 24.85.+t, 25.70.-z

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК ЧАСТИЦ, РОЖДЁННЫХ В СТОЛКНОВЕНИЯХ СИММЕТРИЧНЫХ И АСИММЕТРИЧНЫХ ЯДЕР

Л. Н. Абесалашвили, Л. Т. Ахобадзе, В. Р. Гарсеванишвили, Т. Р. Джалагания,
Ю.В.Тевзадзе

Институт физики высоких энергий Тбилисского Государственного Университета им. И. Джавахишвили
tjalagania@yahoo.com

Аннотация

Проводится модельный и сравнительный анализ средних кинематических характеристик адронов, рождённых в симметричных и асимметричных ядро-ядерных соударениях. Показано, что процессы, протекающие в СС-углерод-углеродных, MgMg-магний-магний, СCu-углерод-медь, СТа-углерод-танталовых соударениях хорошо описываются дубненской каскадной моделью (DCM) и моделью кварк-глюонных струн (QGSM). Средние кинематические характеристики частиц в столкновениях лёгких симметричных ядер практически одинаковы. Что касается столкновений асимметричных ядер, здесь на средние кинематические характеристики частиц существенно влияет тяжёлое ядро-мишень.

Введение

Одной из интересных задач в ядро-ядерных соударениях является изучение и сравнительный анализ средних кинематических характеристик адронов, рождённых в столкновениях симметричных и асимметричных ядер. Конкретно, мы изучаем средние кинематические характеристики π^- -мезонов и протонов, рождённых в симметричных СС и MgMg –соударениях и асимметричных СCu и СТа - соударениях, и то какую роль играют в формировании характеристик частиц симметрия и асимметрия сталкивающихся ядер.

Экспериментальный материал получен на двухметровой пропановой пузырьковой камере PBC-500 и двухметровом спектрометре SKM-200 Лаборатории высоких энергий ОИЯИ (Дубна) [1-9].

Средние кинематические характеристики частиц, рождённых в столкновениях симметричных (СС и MgMg) и асимметричных (СCu и СТа) ядер

Средние кинематические характеристики π^- -мезонов и протонов, рождённых в СС, MgMg, СCu и СТа - соударениях приведены в Таблицах (1-7).

Средние кинематические значения (скз) характеристик π^- -мезонов образованных в с-центральных соударениях симметричных ядер (СС-углерод-углерод и MgMg-Магний-магний) не отличаются друг от друга, за исключением $\langle \theta_L^0 \rangle$ -среднего угла вылета. Скз-я π^- -мезонов рождённых в центральных MgMg-соударениях хорошо описываются –QGSM-моделью, а π^- -мезоны от центральных СС-столкновении моделью DCM (Таб. 1). Скз-я π^- -мезонов рождённых в с-центральных соударениях асимметричных ядер (СCu-углерод-медь и СТа-углерод-тантал) существенно отличаются от таковых для симметричных ядер (СС и MgMg). Сильное отличие наблюдается также в скз-х π^- -мезонов образованных в СС

и СТa –соударениях-чувствуется сильное влияние более тяжелого ядра-мишени (Та-тантал):

$$\langle P_L \rangle_{\text{Gev/c}}(\text{CCu}) < \langle P_L \rangle_{\text{Gev/c}}(\text{CC}), \quad \langle \theta_L^0 \rangle(\text{CCu}) > \langle \theta_L^0 \rangle(\text{CC}) \quad (1)$$

$$\langle P_L \rangle_{\text{Gev/c}}(\text{CTa}) < \langle P_L \rangle_{\text{Gev/c}}(\text{CC}), \quad \langle \theta_L^0 \rangle(\text{CTa}) > \langle \theta_L^0 \rangle(\text{CC}) \quad (2)$$

$$\langle P_L \rangle_{\text{Gev/c}}(\text{CTa}) < \langle P_L \rangle_{\text{Gev/c}}(\text{CCu}), \quad \langle \theta_L^0 \rangle(\text{CTa}) > \langle \theta_L^0 \rangle(\text{CCu}) \quad (3)$$

Надо отметить, что с увеличением массового числа ядра мишени (при фиксированном A_i) неравенства в скз-х усиливаются (Табл.1 и неравенства 1,2,3).

То же самое справедливо и для протонов образованных в с-центральных СС- углерод-углеродных соударениях (Табл. 2); а также для π^- -мезонов и р-протонов в t-инклюзивном спектре (Табл. 3 и 4).

Средние кинематические значения (скз) характеристик π^- -мезонов и р-протонов раждённых в t-инклюзивных столкновениях СТa-асимметричных ядер существенно отличаются от таковых для с-центральных и п-нецентральных соударении (Табл. 1-4 и 5). В чем причина этого явления?

Вспомним, что для анализа средних характеристик в $A_i A_t$ -ядро-ядерных соударениях, используются переменные [1,2,12]

$$\langle v_i \rangle = A_i \sigma_{NA_t} / \sigma_{A_i A_t}, \quad \langle v_t \rangle = A_t \sigma_{NN} / \sigma_{NA_t}, \quad \langle v_{it} \rangle = A_i A_t \sigma_{NN} / \sigma_{A_i A_t}, \quad (4)$$

Где A_i –массовое число налетающего ядра, A_t –массовое число ядра-мишени, σ_{NN} –неупругое сечение NN-нуклон-нуклонного взаимодействия, σ_{NA_t} –неупругое сечение нуклон-ядерного взаимодействия, $\sigma_{A_i A_t}$ –неупругое сечение ядро-ядерного взаимодействия, $\langle v_i \rangle$ –среднее число нуклонов налетающего ядра A_i , принимающих участие во взаимодействиях (разумеется для NA_t -нуклон-ядерных столкновениях $\langle v_i \rangle = 1$), $\langle v_t \rangle$ –среднее число нуклонов ядра мишени A_t , принимающих участие в соударениях (или, число центров рассеяния ядра – мишени A_t), $\langle v_{it} \rangle$ – среднее число NN-нуклон-нуклонных соударений в сталкивающихся ядрах [1,2,12]. С помощью переменных $\langle v_i \rangle$, $\langle v_t \rangle$, $\langle v_{it} \rangle$ рассмотрим средние значения характеристик частиц образованных в соударениях симметричных (СС) и асимметричных (СТa) ядер.

Среднее число нуклонов ядра-мишени принимающих участие в столкновениях для NC-нуклон-углерод столкновениях, равно ~ 1.4 ; а для NTa- нуклон-танталовых соударении ~ 3.2 (см. Таб. 6)

$$\langle v_t \rangle(\text{NC}) \approx 1.4, \quad \langle v_t \rangle(\text{NTa}) \approx 3.2 \quad (5)$$

В СС-углерод-углеродных соударениях $\langle v_i \rangle$ –среднее число нуклонов от A_i принимающих участие в соударениях, равно ~ 3.83 ; а для СТa- соударений ~ 5.81 т.о.

$$\langle v_i \rangle(\text{CC}) \approx 3.83, \quad \langle v_i \rangle(\text{CTa}) \approx 5.81 \quad (6)$$

Получается, что $\langle v_{it} \rangle$ –среднее число соударений в СС и СТa-столкновениях, равно:

$$\langle v_{it} \rangle(\text{CC}) \approx 5.36, \quad \langle v_{it} \rangle(\text{CTa}) \approx 18.60 \quad (7)$$

$$\text{Так как} \quad \langle v_{it} \rangle(\text{CTa}) \approx 3.50 \langle v_{it} \rangle(\text{CC}) \quad (8)$$

потери энергии (или число столкновениях) в тяжёлом ядре-мишени значительно превосходит потери в легком ядре (Табл. 2,3,4,5). Это является причиной неравенств (1,2,3).

Определенную роль играет поглощение медленных частиц в тяжелом ядре-мишени [12]. Все это является причиной того, что скз-я характеристик частиц образованных в СС-симметричных и в СТа-асимметричных соударениях, резко отличаются друг от друга, как для протонов так и для π -мезонов (Табл. 3,4).

$$\langle P_L \rangle_{\text{Gev/c(CTa)}} < \langle P_L \rangle_{\text{Gev/c(CC)}}, \quad \langle \theta_L^0 \rangle_{\text{(CTa)}} > \langle \theta_L^0 \rangle_{\text{(CC)}} \quad (9)$$

Рассмотрим скз-я характеристик π -мезонов и р-протонов рождённых в с-центральных и п-нецентральных соударениях асимметричных ядер-СТа

Истинно с-центральных СТа-соударениях (когда в столкновениях принимают участие все нуклоны от A_i -налетающего ядра и $\langle v_i \rangle = 12$) в соударениях от ядра мишени участвуют ~ 40 нуклонов т. е. $\langle v_{it} \rangle^c(\text{CTa}) \approx 12 \times \langle v_t \rangle \approx 40$; А, в t-инклюзивном спектре $\langle v_{it} \rangle^t(\text{CTa}) \approx 18$; в п-нецентральных соударениях $\langle v_{it} \rangle^n(\text{CTa})$ будет гораздо меньше. В этом заключается причина того, что скз-я характеристик рождённых частиц в с-центральных соударениях существенно отличаются от таковых в п-нецентральных (Табл. 5).

$$\langle P_L^c \rangle_{\text{Gev/c}(\pi)} < \langle P_L^n \rangle_{\text{Gev/c}(\pi)}, \quad \langle \theta_L^0 \rangle^c(\pi) > \langle \theta_L^0 \rangle^n(\pi) \quad (11)$$

$$\langle P_L^c \rangle_{\text{Gev/c}(p)} < \langle P_L^n \rangle_{\text{Gev/c}(p)}, \quad \langle \theta_L^0 \rangle^c(p) > \langle \theta_L^0 \rangle^n(p) \quad (12)$$

Таблица №1

Средние кинематические характеристики π -мезонов в с- центральных ядро-ядерных соударениях

N	$A_i A_t$	P_A GeV/c	$\langle p_L \rangle^c$ GeV/c	$\langle p_L \rangle^n$ GeV/c	$\langle \theta_L^0 \rangle$ grad	$\langle \cos \theta_{NN}^* \rangle$	$\langle Y_L \rangle$
1	CC	4.2	0.632±0.015	0.247±0.008	38.30±0.50	0.049±0.003	1.15±0.020
	CC(DCM)		0.631±0.010	0.241±0.003	41.30±0.7		1.11±0.020
2	MgMg	4.3	0.630±0.005	0.231±0.004	34.02±0.10	0.091±0.001	1.22±0.030
	MgMg(QGSM)		0.632±0.003	0.237±0.003	35.00±0.10		1.20±0.020
3	CCu	4.5	0.507±0.009	0.216±0.006	46.18±0.62	-0.174±0.005	0.903±0.016
4	CTa	4.2	0.379±0.014	0.209±0.006	56.72±1.09	-0.367±0.013	0.635±0.020

Таблица №2

Средние кинематические характеристики протонов в с- центральных ядро-ядерных соударениях

N	$A_i A_t$	P_A GeV/c	$\langle p_L \rangle^c$ GeV/c	$\langle p_L \rangle^n$ GeV/c	$\langle \theta_L^0 \rangle$ grad	$\langle \cos \theta_{NN}^* \rangle$	$\langle Y_L \rangle$
1	CC	4.2	2.117±0.020	0.517±0.009	25.20±0.200	0.127±0.003	1.220±0.014
	CC(DCM)		2.040±0.025	0.465±0.003	25.7±0.300		1.154±0.008
2	CTa	4.2	0.932±0.014	0.499±0.080	50.63±0.010	-0.660±0.010	0.486±0.010

В характеристиках π -мезонов и протонов рождённых в столкновениях СТа-асимметричных ядер наблюдается существенное влияние степени центральности, в отличие от таковых в соударениях СС-симметричных ядер (Табл. 5) [15,16].

Таблица №3

Средние кинематические характеристики π -мезонов в ядро-ядерных соударениях (t-инклюзивный спектр)

N	$A_i A_t$	P_A GeV/c	$\langle p_L \rangle^c$ GeV/c	$\langle p_L \rangle^n$ GeV/c	$\langle \theta_L^0 \rangle$ grad	$\langle \cos \theta_{NN}^* \rangle$	$\langle Y_L \rangle$
1	CC	4.2	0.620±0.030	0.247±0.005	38.20±0.40	0.36±0.02	1.10±0.014
	CC(DCM)		0.600±	0.241±	43.10±0.		1.05±
2	CTa	4.3	0.460±0.012	0.216±0.005	49.80±0.65	-0.224±0.007	0.819±0.010
	CTa(DCM)		0.470±0	0.225±0.004	51.59±0.60		0.79±0.020

Таблица №4

Средние кинематические характеристики протонов ядро-ядерных соударениях (t-инклюзивный спектр)

N	A _i A _t	P _A GeV/c	<p _L >GeV/c	<p _L >GeV/c	<θ _L ⁰ >grad	<cosθ _{NN} [*] >	<Y _L >
1	CC	4.2	1.980±0.015	0.468±0.004	28.00±0.40	0.042±0.020	1.140±0.01
	CC(DCM)		1.813±	0.490±	30.60±0.20	-0.042±0.024	1.012±0.003
2	CTa	4.3	1.087±0.010	0.462±0.005	46.60±0.30	-0.543±0.006	0.589±0.007
	CTa(DCM)		1.127	0.462	47.60	-0.504	0.610

Таблица №5

Средние кинематические характеристики π-мезонов и протонов в с- центральных и п- нецентральных CTa - соударениях

p-протоны					
тип столкновения	<p _L >GeV/c	<p _L >GeV/c	<θ _L ⁰ >grad	<cosθ _{NN} [*] >	<Y _L >
с	0.932±0.014	0.499±0.008	50.63±0.51	-0.660±0.010	0.486±0.01
п	1.375±0.020	0.499±0.008	40.82±0.60	-0.313±0.006	0.751±0.010
π-мезоны					
с	0.379±0.014	0.209±0.006	56.78±1.08	-0.367±0.013	0.635±0.020
п	0.514±0.017	0.218±0.009	44.70±0.88	-0.113±0.008	0.907±0.030

Таблица №6

Средние значения <v_i>, <v_t> и <v_{it}> для NA_t и A_iA_t-соударений при импульсах ~4.2AGeV/c [12,13,15]

A _i A _t	<v _i >	<v _t >	<v _{it} >
NC	1	1.4	1.4
NTa	1	3.2	3.2
CC	~3.83	1.4	5.36
CTa	~5.81	3.2	18.60

Таблица №7

Средние кинематические характеристики существенно кумулятивных протонов (n_k (p) ≥1) и инклюзивных протонов в CTa – соударениях (4.2AGeV/c)

n _k ≥1				
<p _L >GeV/c	<p _L >GeV/c	<θ _L ⁰ >grad	<cosθ _{NN} [*] >	<Y _L >
0.588±0.015	0.505±0.009	105±1.5	-0.934±0.021	0.072±0.013
t-инклюзивный спектр				
1.087±0.010	0.462±0.005	46.6±0.30	-0.543±0.006	0.589±0.007

Рассмотрим зависимость средних кинематических характеристик частиц от кумулятивного числа n_k [10]

$$n_k = \frac{E - p_{\parallel}}{m_N} \quad , \quad (2)$$

Где E-полная энергия, p_{||}-продольный импульс частицы в L-лаб. Системе, m_N –масса нуклона. Если n_k>1, то частица называется существенно кумулятивной. Ясно, что средние кинематические характеристики частиц зависят от n_k [11-16]. Число существенно кумулятивных протонов на тяжёлой мишени достаточно велико, например, в CTa-соударениях ≈20%, а в CC- соударениях ≈5%. Они имеют существенно малый средний импульс и большой угол вылета. (см. Таб. 7).

Заключение

Анализ средних кинематических характеристик частиц в симметричных (СС, MgMg) и асимметричных (ССu, СТа) ядро-ядерных взаимодействиях показал:

1. Средние кинематические характеристики π -мезонов рожденных в центральных соударениях симметричных ядер MgMg и СС хорошо описываются моделями -QGSM и DCM, соответственно;
2. Средние кинематические характеристики π -мезонов образованных в центральных столкновениях симметричных (СС, MgMg) и асимметричных (ССu, СТа) ядер существенно отличаются друг от друга. Ощущается сильное влияние тяжёлого ядра-мишени;
3. Существенное отличие средних кинематических характеристик частиц, рожденных в симметричных (СС) и асимметричных (СТа) –соударениях обусловлено существенным отличием средних чисел рассеяния $\langle v_t \rangle$ (или, $\langle v_{it} \rangle$) в ядре-мишени;
4. В характеристиках адронов образованных в соударениях СТа – асимметричных ядер, чётко чувствуется степень центральности, в отличие от соударений СС-симметричных ядер.
5. Работа выполнена при финансовой поддержке Научного Фонда Грузии им Ш.Руставели /грант ННФГ/ ST08-418/

Литература

1. Ю.П. Никитин и др. УФН, 1977, 122,3;
2. Bialas K. et al. *Nucl. Phys.*; 1976,B11,461;
3. V. G. Grishin et al; JINR, preprint P1-86-639, Dubna (1986);
4. V. D. Akcinenco et al; *Nuclear. Phys.* A324, 266 (1979);
5. М. X. Anikina et al; *Phys Rev.* C33, 895(1986);
6. V.D. Akcinenco et al; *Nuclear. Phys.* A348(1980)318;
7. A.U. Abdurakhimov et al; *Nuclear. Phys.* A362, 376(1981)
8. М. X. Anikina et al; JINR, report, 1-84-785, Dubna(1984);
9. L. Ckhaidze et al; *Z. Phys. C. –Partic les and Fields* 54, 179(1992);
10. M. Baldin JINR . E-80-545, Dubna, 1980;
11. A.I. Anoshin et al. *Yad. Fiz.* (1982),36, 409;
12. G.A.Leksin et al. *JETP*, 32 (1957)445;
13. D. I. Blokhintsev. *JETP*, 40 (1957),1295;
14. Dasaeva M.A.,...Yu. V. Tevzadze . *Yad Fiz.* (1984) 39, 846;
15. V.R. Garsevanishvili, . . ., Yu. V. Tevzadze *Phys.of Atomic Nuclei*, (1998),61,4,595;
16. Armurlijski D.,...Yu. V. Tevzadze . *Yad Fiz.* (1987) 49, 182;
17. Agakishiev G. N. et al. *Yad. Fiz.* (1990)51,758;
18. Akhobadze L. T., Garsevanishvili V. R., Yu. V. Tevzadze. *Georgian Electronic Scientific Journal: Physics*. 2009 №2(2),73.

Article received: 2011-10-12