



# ОСОБЕННОСТИ ЦЕНТРАЛЬНЫХ dC-, CC- И CТа-СОУДАРЕНИЙ ПРИ ИМПУЛЬСЕ 4,2 ГэВ/с НА НУКЛОН

М.У.Султанов <sup>1</sup>[0009-0002-1453-2537], Г.Ю.Нодиров <sup>1</sup>[0009-0007-3335-7582],  
А.Н.Товбоев <sup>2</sup>[0000-0003-2677-6977]

<sup>1</sup>Старший преподаватели Самаркандского государственного архитектурно-строительного университета

<sup>2</sup>DSc., профессор Навоийского государственного горно-технологического университета

**Аннотация.** В данной работе изучены быстрые спектры вторичных адронов (протонов и  $\pi^-$ -мезонов) на основе интерпретации спектров протонов и  $\pi^-$ -мезонов. Быстрые спектры отрицательных пионов в dC-, CC- и CТа-столкновениях аппроксимированы гауссовой функцией. Полученные экспериментальные данные сравнены с теоретическими расчетами модели Кварк-глюонных струн (КГСМ). Показано, что КГСМ удовлетворительно описывает ширину, а также расположение  $y_0$  быстрых распределений отрицательных пионов в dC-, CC- и CТа-столкновениях при 4,2 ГэВ/с на нуклон. Быстрые распределения протонов-участников в этих столкновениях резко менялись с повышением центральности соударений. Модель КГСМ может описать изменение формы быстрых спектров протонов-участников с повышением центральности в вышеуказанных столкновениях достаточно хорошо.

**Ключевые слова:** адрон, спектр, протоны участники, аппроксимация, быстрота, импульс.

**Annotation.** In this study, the rapidity spectra of secondary hadrons (protons and  $\pi^-$  mesons) were analyzed, focusing on the interpretation of the spectra of protons and  $\pi^-$  mesons. The rapidity spectra of negative pions in dC-, CC-, and CТа-collisions were approximated using a Gaussian function. Experimental data were compared with theoretical predictions made by the Quark-Gluon String Model (QGSMM). The QGSMM was found to satisfactorily describe both the width and the central positioning of  $y_0$  rapidity distributions of negative pions in dC-, CC-, and CТа-collisions at 4.2 GeV/c per nucleon. It was observed that the rapidity distributions of protons involved in these collisions underwent significant changes as the centrality of the collisions increased. The QGSMM model was able to adequately predict the variation in the shape of the rapidity spectra of the involved protons as the centrality increased in the mentioned collisions.

**Key words:** hadron, spectrum, participant protons, approximation, rapidity, momentum.

**Annotatsiya.** Ushbu ishda proton va mezonlarning spektrlarini talqin qilish asosida ikkilamchi hadronlarning tez spektrlari (protonlar va dos-mezonlar) o'rganildi. dS, CC va sta to'qnashuvlaridagi salbiy ionlarning tez spektrlari Gauss funktsiyasi bilan taxmin qilinadi. Olingan eksperimental ma'lumotlar kvark-gluon torli modelining (kgsM) nazariy hisob-kitoblari bilan taqqoslanadi. KGSMM har bir nuklon uchun 4.2 GeV/s da dS-, CC- va CТа- to'qnashuvlarda manfiy pionlarning  $y_0$ - tez taqsimlanishini hamda kengligini qoniqarli tarzda tasvirlashi ko'rsatilgan. Ushbu to'qnashuvlarda ishtirok etgan protonlarning tezlik taqsimoti to'qnashuvlarning markaziyiligi oshishi bilan keskin o'zgardir. KGSMM modeli yuqoridagi to'qnashuvlarda markaziylikning oshishi bilan proton ishtirokchilarining tez spektrlarining shakl o'zgarishini juda yaxshi tasvirlashi mumkin.

**Kalit so'zlar:** hadron, spektr, protonlar, yaqinlashish, tezlik, impuls.

## Введение

В последнее время часто рассматривается ядро-ядерные взаимодействия как сложения многих адрон-ядерных столкновений. Этот простой подход хорошо описывает многие характеристики вторичных частиц и широком диапазоне энергий сталкивающихся ядер. С другой стороны, некоторые результаты противоречат этой простой картине взаимодействия. Возникает вопрос: в каких условиях проявляются новые свойство исследуемого процесса? Для проведения детального анализа целесообразно располагать данными по адрон-ядерным и ядро-ядерным столкновениям, в которых прицельный параметр меняется контролируемым образом [1,2]. Наборы данных получены с помощью двухметровой пропановой камеры, облученный пучками ядер дейтрона ( $^2\text{H}$ ) и углерода ( $^{12}\text{C}$ ) с импульсом 4,2 ГэВ/с на



нуклон. Они включают в себя информацию о типах вторичных частиц и их кинематических характеристиках. Методические вопросы эксперимента, касающиеся отбора взаимодействий на ядре углерода из всех событий в пропане, а также идентификации частиц и введения геометрических поправок на потери частиц, испущенных под большими углами к плоскости фотографирования, рассмотрены в [3,4,5, 9,10,11].

В рассмотренных взаимодействиях среди вторичных частиц выделялись  $\pi^+$  – и  $\pi^-$  – мезоны, испарительные протоны (протоны с импульсом  $p < 0,3$  ГэВ/с), стриппинговые фрагменты из налетающего ядра углерода (импульсы которых  $p > 3$  ГэВ/с и угол вылета  $\theta < 3^\circ$ ), и протоны участники ( $p > 0,3$  ГэВ/с без стриппинговых частиц). Также изучена «поведение» протонов с импульсом в интервале  $0,3 \leq p < 0,75$  ГэВ/с – протоны участники из мишени и протоны с импульсом  $p > 0,75$  ГэВ/с – протоны участники из ядра-снаряда. Статистика экспериментальных данных, проанализированная в данной работе, состоит из 7071, 20528 и 2420 событий неупругих  $dC$ –,  $CC$  – и  $CTa$  – столкновений, соответственно, причем практически все вторичные заряженные частицы обнаружены в  $4\pi$  геометрии. Для систематического сравнения с экспериментальными данными, в рамках кварк-глюонной струнной модели (КГСМ), адаптированной к промежуточным энергиям, мы разыграли 30000 событий неупругих  $dC$ –,  $CC$  – столкновений при 4,2 ГэВ/сна нуклон и 6000 событий неупругих  $CTa$ –столкновений при 4.2A ГэВ/с. Для моделирования реальных экспериментальных условий, события КГСМ проходили через фильтр. [12,13,14,15,16,17,18,19].

В результате этой процедуры фильтрации, были исключены все медленные частицы, которые поглощаются в 2-мм слое пропана и в танталовой фольге. Представлены средние множественности отрицательных пионов и протонов-участников, а также средние значения быстроты и поперечного импульса  $\pi^-$  – мезонов в  $dC$ –,  $CC$  – и  $CTa$  – столкновениях при 4,2 ГэВ/с на нуклон, наблюдаемые, как в эксперименте, так и в КГСМ. Средние значения быстроты рассчитываются в с.ц.м. нуклон-нуклонных столкновений (таб.1.).

Таблица 1.

В данной таблице и в таблицах, приведенных ниже, приведены только статистические ошибки.

Тип взаимодей.	$\langle n_{\pi^-} \rangle$	$\langle n_{part.pr} \rangle$	$\langle y_{c.m}(\pi^-) \rangle$	$\langle p_t(\pi^-) \rangle$ (ГэВ/с)
dC, exper. КГСМ	$0.66 \pm 0.01$	$1.95 \pm 0.02$	$-0.12 \pm 0.01$	0.252
	$0.64 \pm 0.01$	$1.86 \pm 0.01$	$-0.17 \pm 0.01$	$\pm 0.003$ 0.222 $\pm 0.002$
CC, exper. КГСМ	$1.45 \pm 0.01$	$4.35 \pm 0.02$	$-0.016 \pm 0.005$	0.242
	$1.59 \pm 0.01$	$4.00 \pm 0.02$	$0.007 \pm 0.005$	$\pm 0.001$ 0.219 $\pm 0.001$
CTa, exper. КГСМ	$3.50 \pm 0.10$	$13.3 \pm 0.2$	$-0.34 \pm 0.01$	0.217
	$5.16 \pm 0.09$	$14.4 \pm 0.2$	$-0.3 \pm 0.01$	$\pm 0.002$ 0.191 $\pm 0.001$

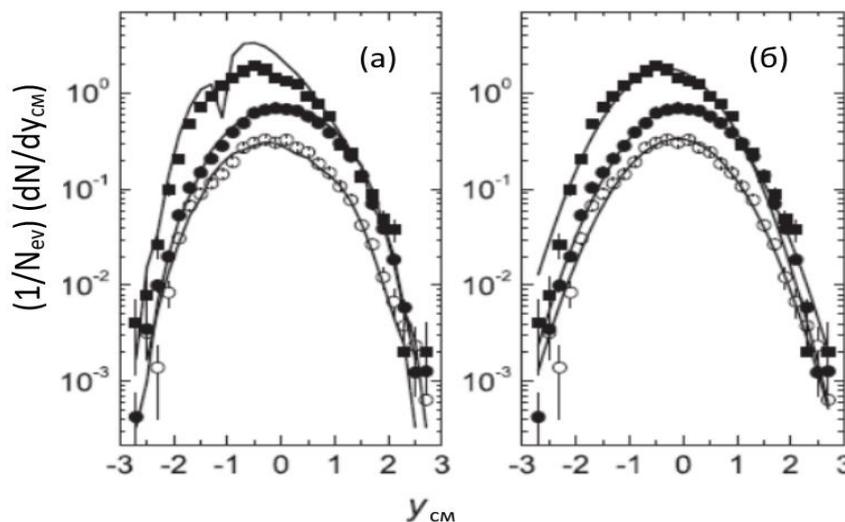
Сравнение быстротных распределений отрицательных пионов, образованных в  $dC$  –,  $CC$  – и  $CTa$  – столкновениях при импульсе 4,2 ГэВ/с на нуклон, полученных в эксперименте и из расчетов по КГСМ показаны на рис.1а. Все спектры на рис.1 и

остальные рисунки построены в с.ц.м. нуклон-нуклонных столкновений при 4,2 ГэВ/с (быстрота центра масс нуклон-нуклонных столкновений  $y_{с.ц.м.} \approx 1,1$  при том же значении импульса налетающей частицы). Быстротное распределение отрицательных пионов в СС-столкновениях симметрично относительно средней области значений быстрот  $y_{с.ц.м.} = 0$ , как и ожидается, для системы с одинаковыми ядрами снаряда и мишени. Как видно из рис.1а, с увеличением масс ядер снаряда и мишени, высота быстротного распределения (следовательно, множественность  $\pi^-$  – мезонов) увеличивается. Из рис.1а также видно, что быстротное распределение  $\pi^-$  – мезонов, смещается в сторону более низких быстрот, или больше в направлении области фрагментации мишени, так как масса ядра-мишени растет по мере перехода от СС – к СТа – столкновениям. Это происходит за счет того, что эффективное число нуклонов-участников мишени и, следовательно, число  $\pi^-$  – мезонов, образующихся в области фрагментации мишени, увеличивается с ростом массы ядра-мишени. Как видно из рис.1а, КГСМ удовлетворительно описывает экспериментальные распределения по быстройте  $\pi^-$  – мезонов в dC-, СС – и СТа – столкновениях. На рис.1б показано, что экспериментальные быстротные спектры отрицательных пионов в анализируемых столкновениях могут аппроксимироваться гауссовой функцией в следующем виде.

$$F(y) = \frac{A_0}{\sigma} \exp\left(\frac{-(y - y_0)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (1)$$

где  $\sigma$  – стандартное отклонение, которое в настоящей работе называется шириной распределения,  $y_0$  – центр гауссового распределения, а  $A_0$  является константой аппроксимации.

Параметры, полученные из аппроксимации быстротных спектров отрицательных пионов в dC-, СС – и СТа – столкновениях при 4,2 ГэВ/с на нуклон гауссовой функцией, показанной в уравнении (1), представлены в табл.2. Как видно из табл.2, ширины быстротных распределений  $\pi^-$  – мезонов практически совпадают в dC и СС-столкновениях, в то время как, они несколько меньше в СТа – столкновениях, как в эксперименте, так и в КГСМ.



**Рис.1. Экспериментальные распределения по быстройте отрицательных пионов в dC (○), СС (●) и СТа- (■) столкновениях при 4.2А ГэВ/с. Соответствующие (а) спектры КГСМ и (б) аппроксимация гауссовой функцией приведены сплошными линиями. Все спектры получены в с.ц.м. из нуклон-нуклонных столкновений при 4,2 ГэВ/с. Распределения нормированы на общее число  $N_{ev}$  соответствующих неупругих событий.**

Таблица 2.

Параметры, извлеченные из аппроксимации быстротных спектров отрицательных пионов в dC-, CC- и CТа-столкновениях при 4,2 ГэВ/с на нуклон функцией Гаусса; n.d.f. означает число степеней свободы

Тип взаимодей.	A <sub>0</sub>	σ	y <sub>0</sub>	χ <sup>2</sup> /n.d.f.	Величина R <sup>2</sup>
dC, exper.	0.260±0.004	0.78±0.01	-0.10±0.01	2.88	0.983
КГСМ	0.250±0.003	0.80±0.01	-0.17±0.01	5.13	0.986
CC, exper.	0.575±0.004	0.793±0.003	-0.016±0.005	8.93	0.992
КГСМ	0.624±0.004	0.786±0.003	0.009±0.005	14.21	0.983
CTa, exper.	1.36±0.02	0.75±0.01	-0.33±0.01	7.66	0.971
КГСМ	1.78±0.02	0.71±0.01	-0.30±0.01	53.43	0.878

Представляет интерес провести количественный анализ изменения формы быстротных спектров отрицательных пионов с повышением центральности соударений, что соответствует уменьшению прицельного параметра соударений. Чтобы определить центральности соударений мы используем число протонов-участников  $n_{pr.part}$ . Мы следуем методике, предложенной в работах [6,7], в которой события с периферийными столкновениями определены как события, в которых  $n_p \leq \langle n_{pr.part} \rangle$ , и центральные столкновения определены как события с  $n_p \leq 2 \langle n_{pr.part} \rangle$ , где  $\langle n_{pr.part} \rangle$  – средняя множественность протонов-участников. В работе [7] было показано, что центральные CТа-столкновения при 4.2A ГэВ/с, отобранные с использованием вышеуказанного критерий, характеризовались полной остановкой снаряда, потому что в этих столкновениях среднее число взаимодействующих нуклонов-снарядов  $\langle \nu_p \rangle$  было очень близким к общему числу нуклонов в ядре-снаряде углерода. Доля центральных и периферических dC-, CC – и CТа –столкновений по отношению к общему полному неупругому сечению, полученному в настоящей работе для экспериментальных данных и КГСМ, представлена в табл.3. Как видно из табл.3, доля экспериментальных и соответствующих модельных центральных и периферических событий dC-, CC – и CТа –столкновений совпадают друг с другом в пределах двух стандартных ошибок с единственным исключением, что КГСМ завышает долю периферических dC –столкновений. Как видно из табл.3, центральные взаимодействия составляют около 10% в dC –, CC-столкновениях, в то время как для CТа –столкновений они составляют приблизительно 15%. С другой стороны, в анализируемых столкновениях доля периферических соударений составляет по грубым подсчетам 60%.

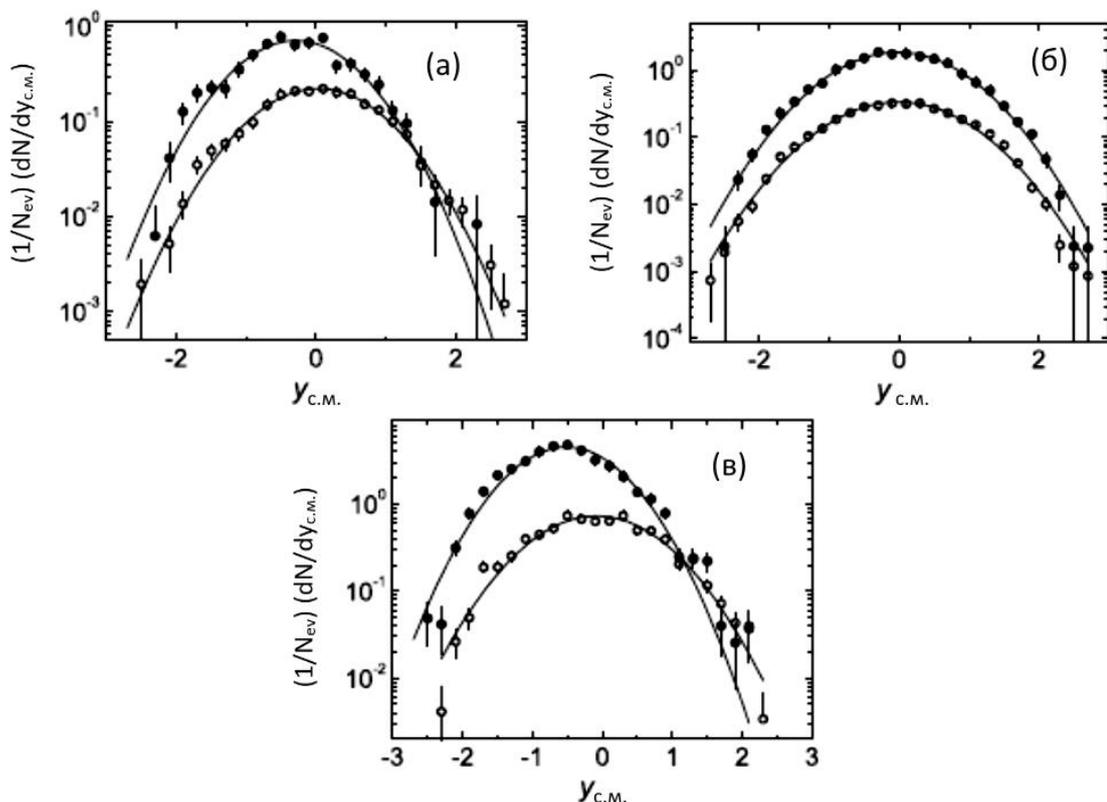
Таблица 3.

Доля центральных и периферических dC-, CC – и CТа – столкновений при 4,2 ГэВ/с на нуклон по отношению к полному неупругому сечению

Тип взаимодействия	Центральные столкновения (%)		Периферические взаимодействия (%)	
	Эксперимент	КГСМ	Эксперимент	КГСМ
dC	10 ± 1	12 ± 1	53 ± 1	73 ± 1
CC	11 ± 1	8 ± 1	58 ± 1	62 ± 1
CTa	16 ± 1	15 ± 1	60 ± 2	56 ± 1

Эти результаты для  $CC$  – и  $CTa$  – столкновений совпадают с долями центральных и периферийных событий соударений, оценка которых проведена в работе [8] на значительно более низкой статистике для  $CC$  – и  $CTa$  – столкновений, по сравнению с соответствующей статистикой настоящего анализа. На рис.2 и 3, представлено сравнение быстротных распределений отрицательных пионов для центральных и периферических  $dC$ -,  $CC$  – и  $CTa$  – столкновений в эксперименте и КГСМ, соответственно. Все спектры на рис.2и 3 аппроксимированы функцией Гаусса, приведенной в формуле (1). Соответствующие параметры, извлеченные из экспериментальных спектров и спектров КГСМ для центральных и периферических столкновений, приведены в табл.4. В общем случае, как видно из рис.2 и 3, и табл.4, все спектры удовлетворительно аппроксимируются функцией Гаусса. Как следует из табл.4, ширины экспериментальных быстротных спектров отрицательных пионов уменьшаются на  $(8 \pm 2) \%$ ,  $(5 \pm 1)\%$  и  $(15 \pm 2)\%$  при переходе от периферических к центральным  $dC$ -,  $CC$  – и  $CTa$  – столкновениям, соответственно.

Аналогичное уменьшение расчетных ширин быстротных спектров отрицательных пионов наблюдалось в работе [5] при переходе от периферических столкновений к центральным  $CC$  – и  $CTa$  – столкновениям при 4.2А ГэВ/с. Оценочные значения ширин для периферических и центральных  $CC$  – и  $CTa$  – столкновений, полученные в работе [7] оказались немного больше по сравнению с соответствующими ширинами экспериментальных быстротных спектров, показанных в табл.4. Как видно из рис.2а, рис.2с и табл.4, центры  $y_0$  по сравнению с соответствующими ширинами экспериментальных быстротных спектров, показанных в табл.4. Как видно из рис.2а, рис.2с и табл.4, центры  $y_0$  быстротных распределений  $\pi^-$  мезонов смещаются на  $-0.32 \pm 0.04$  и  $-0.44 \pm 0.02$  к области фрагментации мишени при переходе от периферических к центральным столкновениям  $dC$  – и  $CTa$  – соответственно.



**Рис.2. Экспериментальные быстротные распределения отрицательных пионов в центральных (●) и периферических (○) соударениях  $dC$  (а),  $CC$  (б), и  $CTa$  (в)- столкновений при 4.2А ГэВ/с. Соответствующая аппроксимация**

функцией Гаусса указана сплошной линией. Все спектры получены в с.ц.м. из нуклон-нуклонных столкновений при 4,2 ГэВ/с.

Как видно из рис.3а, 3б, и табл.4, в случае соответствующих спектров КГСМ, центры  $y_0$  быстрой распределений отрицательных пионов также сдвигаются на  $-0.22 \pm 0,02$  и  $0.39 \pm 0,02$  единиц к области фрагментации мишени в столкновениях dC- и CТа-, соответственно. Такие сдвиги  $y_0$  центров быстрой спектров  $\pi^-$ -мезонов в столкновениях dC- и CТа- столкновениях вызваны ростом эффектов перерасеяния в ядре-мишени, которое тяжелее ядра-снаряда, и последующим ростом числа нуклонов-участников мишени (и, следовательно, ростом числа пионов, образованных в области фрагментации мишени) по мере повышения центральности столкновений.

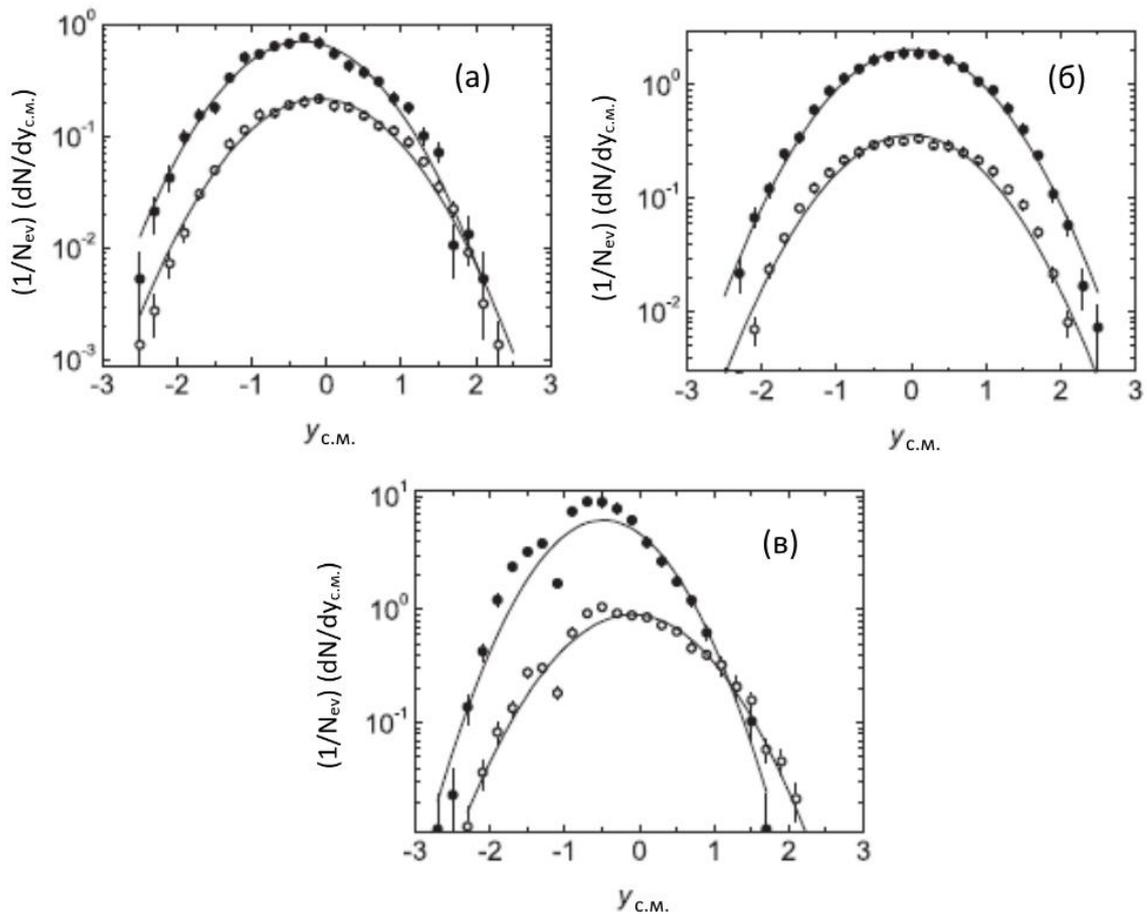


Рис.3. Экспериментальные быстрое распределения отрицательных пионов в центральных (●) и периферических (○) соударениях dC (а), CC (б), и CТа (в)- столкновений при 4.2A ГэВ/с. Соответствующая аппроксимация функцией Гаусса указана сплошной линией. Все спектры получены в с.ц.м. из нуклон-нуклонных столкновений при 4,2 ГэВ/с.

Мы наблюдаем большее смещение в случае столкновений CТа-соударений по сравнению с dC- столкновениями, что, вероятно, связано с тем, что,  $\frac{A(181Ta)}{A(12C)} > \frac{A(12C)}{A(2H)}$ . Как видно из рис.2б, 3б, и табл.4, мы не наблюдаем такого смещения с повышением центральности в случае быстрой спектров отрицательных пионов в CC-столкновениях как в спектрах  $\pi^-$ -мезонов в столкновениях dC- и CТа- столкновениях вызваны ростом эффектов перерасеяния в ядре-мишени, которое тяжелее ядра-снаряда, и последующим ростом числа нуклонов-участников мишени (и,



следовательно, ростом числа пионов, образованных в области фрагментации мишени) по мере повышения центральности столкновений. Мы наблюдаем большее смещение в случае СТа- соударений по сравнению с dС- столкновениями, что, вероятно, связано с тем, что,  $\frac{A(181Ta)}{A(12C)} > \frac{A(12C)}{A(2H)}$ . Как видно из рис.2б, 3б, и табл.4, мы не наблюдаем такого смещения с повышением центральности в случае быстрых спектров отрицательных пионов в СС-столкновениях как в эксперименте, так и в модели КГСМ. Это, скорее всего, является результатом симметрии сталкивающейся системы углерод-углерод, в которой эффективное число нуклонов-участников мишени и снаряда ядер углерода (и, следовательно, числа пионов, образованных в области фрагментации мишени и снаряда) остаются практически неизменными, как при центральных, так и при периферических столкновениях. Поэтому с повышением центральности соударений быстрое распределение отрицательных пионов в СС-столкновениях остается симметричным относительно  $y_{с.ц.м.} = 0$ . Как видно из рис.2, рис.3, и табл.4, пики и центры  $y_0$  быстрого спектра  $\pi^-$  – мезонов в периферических dС- и СТа-столкновениях оказались близкими к  $y_{с.ц.м.} = 0$ . Это может быть по той причине, что, в случае периферических столкновений, эффективные объемы взаимодействующих областей как в ядрах мишени, так и в ядрах снаряда (и, следовательно, соответствующие числа взаимодействующих нуклонов) близки друг к другу.

Таблица 4.

**Параметры, полученные из аппроксимации быстрых спектров отрицательных пионов в центральных и периферических dС-, СС- и СТа-столкновениях при 4,2 ГэВ/с на нуклон с функцией Гаусса.**

Тип взаимодей.	$A_0$	$\sigma$	$y_0$	$\chi^2/n.d.f.$	Величина $R^2$
dС, цент. exper. КГСМ	0.52±0.02	0.74±0.02	-0.29±0.03	1.26	0.959
	0.55±0.01	0.77±0.01	-0.32±0.02	1.99	0.980
dС, периф. exper. КГСМ	0.178±0.004	0.80±0.01	0.03±0.02	0.86	0.986
	0.176±0.003	0.80±0.01	-0.10±0.01	2.79	0.985
СС, центр. exper. КГСМ	1.44±0.02	0.794±0.006	-	2.52	0.990
	1.63±0.02	0.794±0.006	0.021±0.009 0.009±0.009	2.97	0.989
СС, периф. exper. КГСМ	0.274±0.003	0.813±0.006	-	2.76	0.991
	0.289±0.004	0.797±0.006	0.008±0.009 - 0.006±0.009	7.32	0.972
СТа, центр. exper. КГСМ	3.10±0.07	0.68±0.01	-0.52±0.01	3.63	0.958
	4.02±0.09	0.66±0.01	-0.48±0.01	21.6	0.837
СТа, периф. exper. КГСМ	0.59±0.01	0.81±0.01	-0.08±0.02	2.82	0.967
	0.70±0.01	0.78±0.01	-0.09±0.02	7.19	0.937

Быстрые распределения протонов-участников в этих столкновениях резко менялось с повышением центральности соударений. Модель КГСМ может описать изменение формы быстрых спектров протонов-участников с повышением центральности в вышеуказанных столкновениях достаточно хорошо. В быстрых спектрах протонов-участников, образуемых в периферических СС – и СТа –столкновениях, можно наблюдать два отчетливых пика, которые



соответствуют протонам мишени и снаряда. С повышением центральности соударений, пики снаряда и мишени перекрываются, и появляется центральное плато, соответствующее центральным  $CC$  – столкновениям. В работе [8] было показано, что рост числа протонов, образующихся в результате резонансных распадов, которые в основном происходят в центральной области быстрого спектра, приводит к появлению плато, соответствующего центральным  $CC$  – столкновениям. В  $CTa$  – столкновениях, пик мишени более заметен при периферических столкновениях по сравнению с периферийными  $CC$  – столкновениями из-за асимметрии снаряда и мишени. Тем не менее, в центральных  $CTa$  – столкновениях появляется только крутой асимметричный пик за счет почти полной остановки снаряда ядром мишени.

Наблюдаемые различия между быстрыми спектрами отрицательных пионов и протонов-участников, вероятно, возникают из-за больших различий в пороговых энергиях, необходимых для образования таких частиц. Поскольку протоны легко доступны сталкивающимся ядрам, энергии возбуждения порядка 10 МэВ/нуклон достаточно для испускания протонов из ядер. Таким образом, протоны легко образуются при фрагментации сталкивающимся ядер в периферических столкновениях, что приводит к появлению двух четко различимых пиков в их быстрых спектрах, которые соответствуют области фрагментации мишени и снаряда. С другой стороны, пионы не существуют в сталкивающимся ядрах, а пороговая энергия для их образования составляет около 300 МэВ. Следовательно, преобладающая доля пионов образуется в области средних быстрых, вокруг быстрого центра масс нуклонов-участников, как в периферических, так и в центральных ядерных столкновениях. Это может объяснить структуру единственного пика в быстрых распределениях отрицательных пионов, наблюдаемых как в центральных, так и в периферических  $dC$ –,  $CC$  – и  $CTa$  – столкновениях при 4,2 ГэВ/с.

## Заключение

Из анализа быстрых характеристик отрицательных пионов в центральных  $dC$ –,  $CC$  – и  $CTa$  – соударениях можно сделать следующие выводы:

1. Центры  $y_0$  быстрых распределений  $\pi^-$  – мезонов, полученные при помощи аппроксимации гауссовой функцией совпадают в пределах погрешности с соответствующими средними значениями скорости отрицательных пионов в анализируемых столкновениях. Это показывает, что анализируемые быстрые спектры отрицательных пионов имеют приблизительно симметричные формы вокруг центра.

2. Ширины распределений по скорости  $\pi^-$  – мезонов практически совпадают в  $dC$  – и  $CC$  – столкновениях, тогда как в  $CTa$ -столкновениях они немного меньше, как в эксперименте, так и в КГСМ. Ширины экспериментальных быстрых спектров отрицательных пионов уменьшаются при переходе от периферических к центральным  $dC$ –,  $CC$  – и  $CTa$  – столкновениям.

3. Центры  $y_0$  экспериментальных быстрых распределений  $\pi^-$  – мезонов смещаются на  $-0.32 \pm 0,04$  и  $0,02 \pm -0.44$  единиц области фрагментации мишени, при переходе от периферических к центральным  $dC$  – и  $CTa$  – столкновениям, соответственно. Такие смещения в  $y_0$  быстрых спектров  $\pi^-$  – мезонов в  $dC$  – и  $CTa$  – столкновениях можно объяснить ростом эффектов перераспределения в ядрах мишени, которые тяжелее чем ядер-снаряда, а также и последующим ростом числа нуклонов-участников мишени и пионов, образованных в области фрагментации мишени с повышением центральности соударений.



4. Модель КГСМ может вполне удовлетворительно описать анализируемый экспериментальный спектр отрицательных пионов в  $dC$ -,  $CC$  – и  $CTa$  – столкновениях при 4,2 ГэВ/с на нуклон.

### Список использованные литературы

[1.] Беляков В.А., Богданович Е. Экспериментальное исследование частиц спектров во взаимодействиях ядер углерода в пропановой пузырьковой камере в области энергий нескольких ГэВ. Сообщение ОИЯИ, P1-98-289, Дубна, 1998.

[2.] Bondarenko A.I. et al., Features of  $CC$  interactions at a momentum of 4.2 GeV/c per nucleon for various degrees of nuclear collision centrality. Phys. Atom. Nucl. 65, 90, (2002).

[3.] Галоян А.С., Кладницкая Е.Н. и др. Характеристики  $pC$ -взаимодействий при импульсе 4,2 ГэВ/сн зависимости от степени центральности соударения протона с ядром углерода. Множественность вторичных частиц. ОИЯИ, P1-2002-54, Дубна, 2002.

[4.] Sultanov M.U., Nodirov G., Xalilova X., Aliqulov S.S., Bekmirzaev R.N., Joniqulov A., Bekmirzayeva X. Kinematical characteristics of secondary charged particles in  $CC$  and  $CTa$  interactions at 4.2 GeV/c per nucleon. International conference Nuclear Science and Its Application. Samarkand, Uzbekistan, September 25-28, 2012. p.133-134.

[5.] Бондаренко А.И., Бондаренко Р.А. и др. Характеристики  $CC$ -взаимодействий при импульсе 4,2 ГэВ/сна нуклон с различной степенью центральности соударения ядер. ОИЯИ, P1-2000-138, Дубна, 2000.

[6.] Olimov Kh.K., Iqbal A., Hasseb M.Q., Lutpullayev S.L., Yuldashev B.S. Centrality and system-sized dependencies of temperatures of soft and hard components of  $pt$  distributions of negative pions in  $4He+12C$ ,  $12C+12C$  and  $12C+181Ta$  Collisions at  $\sqrt{s_{nn}}=3.14$  GeV // Physical Review C. – American Physical Society (USA), 2015. – Vol.92, N.2 – id024909. – 16 p.

[7.] Olimov Kh.K., Olimov K., Gulamov K.G., Olimov A.K., Lutpullayev S.L., Yuldashev B.S., Hasseb M.Q. Partial inelasticity coefficients of negative pions in  $p$ ,  $d$ ,  $\alpha$ ,  $12C+12C$  and  $12C+181Ta$  at 4.2 GeV/c per nucleon // International Journal of Modern Physics E.- World Scientific (Singapore), 2015. – Vol.24, N.10-id.1550070-9p.

[8.] R.N. Bekmirzaev, M.U. Sultanov, and S.K. Yuldashev. Quark-Gluon String model and its application to Inelastic  $dC$  Interactions at a Momentum of 4.2 GeV/c per Nucleon. Physics of Atomic nuclei, 2022, vol.85, № 6, pp.1011-1016.

[9.] AN Tovbaev, M Ibadullayev, SI Norboyev. Analysis of subharmonic oscillations in three-phase Ferroresonant circuits with bias Journal of Physics: Conference Series 2388 (1), 012060. 2022.

[10.] A.N Tovboyev, D.S Mardonov, A.X Mamatazimov, S.S Samatova Analysis of subharmonic oscillations in multi-phase ferroresonance circuits using a mathematical model Journal of Physics: Conference Series 2094 (5), 052048, 2021.

[11.] M Ibadullaev, AN Tovboyev. Research of Ferro-Resonance Oscillations at the Frequency of Subharmonics in Three-Phase Non-Linear Electric Circuits and Systems E3S Web of Conferences, 2020.

[12.] Tovbaev A.N., Mardonov D.Sh., Mamatazimov A.X., Samatova S.S. Analysis of subharmonic oscillations in multi-phase ferroresonance circuits using a mathematical model // Apitech III 2021. Journal of Physics: Conference Series 2094 (2021) 052048 IOP Publishing <https://doi:10.1088/1742-6596/2094/5/052048> pp.260-216.

[13.] Тогаев И., Рахимова Ш., Розиков Ж. статистический анализ потерь электроэнергии на воздушных линиях электропередачи 6-10 кв // international conference of education, research and innovation. – 2023. – т. 1. – №. 3. – с. 62-65.



[14.] Togayev I., Tursunova A., Eshmirzayev M. Monitoring of overhead power lines //international conference: problems and scientific solutions. 2022. -T. 1. – №. 2. – c. 267-271.

[15.] Akram T., Islomjon T., Shahrizoda R. Energy Problems in uzbekistan. Their solutions and remedial measures //Yosh Tadqiqotchi Jurnal. – 2022. – T. 1. – №. 2. – C. 273-277.

[16.] Tog'ayev I.B., Isoqulov D.SH., Turniyozov Z.A. Monitoring of air power lines with an assessment of their condition // Central Asian Research Journal For Interdisciplinary Studies (CARJIS) ISSN (online): 2181-2454 Volume 2 | Issue 5 | May, 2022

[17.] Islomjon Bekpo'lat o'gli Togayev, and Tovbaev Akram Nurmonovich. "statistical analysis of power waste on 6-10 kv air power transmission lines." international journal on orange technologies 2.10: 92-94.

[18.] I Togayev, A Norqulov, S Shirinov. modern technologies for improving the quality of electricity. Results of national scientific research international journal 2 (2), 177-181

[19.] T Akram, T Islom, U Islombek. analysis of the impact of the installation of reactive power sources on the quality of electricity. Web of semantic: universal journal on innovative education 2 (2), 198-201