

МНОЖЕСТВЕННЫЕ ВЫХОДЫ АДРОНОВ В СС-СТОЛКНОВЕНИЯХ ПРИ ИМПУЛЬСЕ 4,2 А GeV/c С РАЗЛИЧНОЙ СТЕПЕНЬЮ ЦЕНТРАЛЬНОСТИ

Р.Н. Бекмирзаев¹, М.У. Султанов², С. Юлдашев³, Г. Надиров²

¹Джизакский государственный педагогический институт, Джизак, Узбекистан

²Самаркандский государственный архитектурно – строительный институт, Самарканд, Узбекистан, ³Самаркандский государственный университет, Самарканд, Узбекистан

e-mail: bekmirzaev@mail.ru

Аннотация. В данной работе изучены множественные образования вторичных адронов ($\pi^\pm$ -мезонов и протонов) в СС-взаимодействиях в зависимости от степени центральности соударений. В качестве степени центральности принято число протонов-участников, образованных в событии. Экспериментальные значения средней множественности $\pi^\pm$ -мезонов, протонов и протонов-участников определены для 4-х методически выделенных типов столкновений. Оценена выход протонов в разных интервалах импульсов в зависимости от значения «прицельного параметра». Полученные экспериментальные данные сравнены с результатами теоретических расчетов модели FRITIOF. Показано, что множественности медленных и испарительных протонов воспроизводятся моделью неудовлетворительно.

4,2 A GeV/c impulsli cc-to'qnashuvlarda adronlarning markaziylik darajasidan bog'liq holda ko'plamchilik chiqishlari

Annotasiya. Ushbu ishda CC-o'zaro ta'sirlashuvlarda ikkilamchi adronlar ($\pi^\pm$ -mezonlar va protonlar) hosil bo'lishi ko'plamchiligi to'qnashuv markaziyligi darajasidan bog'liq holda o'rganilgan. Markaziylik darajasi sifatida voqealarda hosil bo'lgan ishtirokchi protonlar soni qabul qilingan. $\pi^\pm$ -mezonlar, protonlar hamda ishtirokchi protonlarning o'rtacha ko'plamchiliklari bo'yicha tajriba qiymatlari to'qnashuvlarning uslubiy jihatdan ajratilgan 4 ta guruhi uchun aniqlangan. Protonlarning har xil impulsar sohasida chiqishi “zarba paparametri”dan bog'liq holda baholandi. Olingan tajriba ma'lumotlari FRITIOF modeli nazariy hisoblari n atijalari bilan taqqoslangan. Sekin va bug'lanuvchi protonlar tafsilotlarini model qoniqarsiz ifodalashi ko'rsatilgan.

Multiplicity outputting of hadrons in cc-interactions at the momentum 4.2 A GeV/c with different collision centralities

Abstract. In this paper the multiple of secondary hadrons ($\pi^\pm$ -mesons and protons) in CC-interactions, depending on the degree of collision centrality was studied. As the degree of centrality accepted number of protons participating formed in the event. The experimental values of the mean multiplicity $\pi^\pm$ -mesons, protons, proton-participants identified for 4 methodically selected types of collisions. Estimate the yield of protons in different momentum intervals depending on the value of the impact parameter. The experimental data are compared with the results of theoretical calculations of the model FRITIOF. It is shown that the multiplicity of slow and evaporated protons model reproduced unsatisfactorily.

Введение

В основе каскадно-испарительной модели (КИМ) лежит представление о каскаде взаимодействий внутри ядра в процессе ядерной реакции. Таким образом можно объяснить образование быстрых нуклонов в адрон-ядерных и ядро-ядерных столкновениях [1,2]. Большое значение выхода реакции в областях фрагментации ядер в КИМ обуславливается каскадом реджеонных обменов. Согласно [3] в адрон-ядерных взаимодействиях возможно не только последовательное по времени выбивание нуклонов, но и одновременное выбивание нуклонов, описываемое непланарными усиленными диаграммами. При одновременном выбивании нуклонов все они находятся в состоянии, характеризуемый с одинаковыми физическими характеристиками и поэтому можно ожидать слабое зависимости спектров нуклонов от центральности соударений.

Центральные и периферические взаимодействия отличаются, прежде всего, числом первичных внутриядерных столкновений. В центральных взаимодействиях должна происходить концентрация нуклонов-участников в центральной области быстрой из-за многократных рассеяний нуклонов внутри ядра, т.е. можно ожидать преимущественное рождение нуклонов в областях фрагментации ядер. С уменьшением параметра удара увеличивается количество первичных столкновений и число каскадных взаимодействий в ядрах-остатках и поэтому выход нуклонов в областях фрагментаций ядер должен быть минимальным. Поэтому согласно КИМ должно происходить изменение формы спектров нуклонов в областях фрагментации ядер. Расчеты, представленные в [4] подтверждают это рассуждение. Однако в эксперименте наблюдается обратная картина – с увеличением центральности соударений относительно возрастает выход протонов центральной области, а не в областях фрагментаций ядер. Поэтому интересно изучить выходов ядерных реакций в зависимости от степени центральности и при разных интервалах импульсов вторичных адронов.

Настоящая работа является продолжением анализа экспериментальных данных [5-8] о взаимодействиях легких ядер с ядрами углерода при импульсе 4,2 ГэВ/с на нуклон в рамках модели FRITIOF, адаптированный к энергиям ниже 10 ГэВ/с [9].

Получение и методика обработки экспериментального материала

Для обработки использован экспериментальный материал, полученный на 2-х метровой пропановой пузырьковой камере, помещенной в магнитное поле с напряженностью 1,5 Тл и облученной в пучке ядер ^{12}C с импульсом 4,2 АГэВ/с на синхрофазатроне ОИЯИ (г.Дубна, РФ). Выделение событий неупругого СС-взаимодействия из полного ансамбля взаимодействий ядер углерода с пропаном (более 37000 соб.), а также введение поправок на число вторичных частиц и их импульсные и угловые характеристики подробно описаны в работе [10]. Из всех $^{12}\text{C}(\text{C}_3\text{H}_8)$ -взаимодействий, в соответствие установленным критериям, было выделено 20527 неупругих СС-событий.

В рассмотренных СС-взаимодействиях среди вторичных частиц выделялись π^+ и π^- -мезоны, испарительные протоны (протоны с импульсом $p \geq 0,3$ 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 $0,3 \leq p \leq 0,75$ ГэВ/с – протоны участники из мишени и протоны с импульсом $p \geq 0,75$ ГэВ/с – протоны участники из ядра-снаряда. Весь ансамбль неупругих СС-столкновений были разделены на три группы:

1. Периферические взаимодействия – число протонов-участников в которых ≤ 4 .
Среднее значение прицельного параметра $\langle b \rangle$ для этих событий больше 4 ферми и среднее значение протонов-участников равно 4,41.
 2. События с числом протонов-участников $4 \leq n_p \leq 9$. Для этих событий среднее значение прицельного параметра лежит в интервале от двух до четырех ферми.
 3. Центральные события, где число протонов-участников больше 9. Для этих событий $\langle b \rangle$ меньше 2 фм.
- Кроме того, была выделена группа углерод-углеродных событий, в которых суммарный заряд стриппинговых фрагментов $Q_{стр}$ ядра-снаряда равен нулю.

Экспериментальные результаты и сравнение с расчетами модели

Полученные результаты по множественности вторичных частиц для рассматриваемых групп СС-столкновений приведены в таблице 1. Результаты обработки экспериментального материала (20527 СС-событий) с помощью алгоритмической программой FORTRAN-77 показал, что более половины СС-соударений составляют периферические взаимодействия и лишь несколько процентов СС-столкновений удовлетворяет вышесказанное условия центральности событий. Из анализ данных, приведенные в табл.1 хорошо видно, что с увеличением степени центральности возрастает множественность вторичных заряженных частиц. Например, при переходе от периферических столкновений до глубоко центральных событий доля π -мезонов увеличивается от 23% до 35%. Причины этого является то, что с увеличением мерой центральности увеличится число нуклон-нуклонных взаимодействий с рождением пионов.

В группе с $n_p \leq 4$ наблюдается превышение средней множественности π^+ -мезонов чем средней множественности π^- -мезонов. Это связано с тем, что в группу с $n_p \leq 4$ вошло больше событий с перезарядкой протонов в нейтроны ($p \rightarrow n\pi^+$), чем с перезарядкой нейтронов в протоны ($n \rightarrow p\pi^-$). А в группе с $n_p > 9$ наблюдается обратная картина. Там, где процессы перезарядки равновероятны, $\langle n_{\pi^-} \rangle = \langle n_{\pi^+} \rangle$. Такое соотношение получено для групп с $4 \leq n_p \leq 9$ и $Q_{стр}=0$.

При переходе от периферических взаимодействий к центральным существенно меняется форма распределений событий по числу π -мезонов (для π^- -мезонов см.рис.1). Резко уменьшается число событий без рождения π -мезонов и возрастает доля многомезонных событий, как следствие этого, наблюдается рост средних множественностей π^+ и π^- -мезонов (табл.1). В пересчете средних множественностей пионов на один протон-участник оказалось, что в событиях равными $\langle n_{\pi^-} \rangle$ и $\langle n_{\pi^+} \rangle$ отношения $\langle n_{\pi^-} \rangle / \langle n_p^{yc} \rangle$ совпадают с соответствующим отношением $\langle n_{\pi^-} \rangle / \langle n_p^{yc} \rangle$ для неупругих СС-взаимодействий, равным $0,325 \pm 0,003$. Различное соотношения между средними множественностями π^+ и π^-

Табл.1. Средние множественности заряженных адронов в СС-взаимодействиях с разным числом протонов-участников (верхняя строка – экспериментальные результаты, нижняя строка – расчеты по модели FRITIOF).

Тип события	$n_p^{yc} \leq 4$	$4 \leq n_p^{yc} \leq 9$	$n_p^{yc} \geq 9$	$Q_{стр}=0$
$N_{собр}$	12010 24501	7101 21351	1416 4150	672 2313
$\langle n_{\pm} \rangle$	6.82 ± 0.02 6.61 ± 0.02	13.77 ± 0.04 12.38 ± 0.02	19.34 ± 0.09 17.12 ± 0.07	17.48 ± 0.16 15.22 ± 0.08
$\langle n_{\pi^-} \rangle$	0.714 ± 0.005	2.158 ± 0.016	4.05 ± 0.04	3.25 ± 0.07

	0.698 ± 0.005	1.633 ± 0.008	3.46 ± 0.02	2.58 ± 0.003
$\langle n_{\pi^+} \rangle$	0.892 ± 0.006 0.898 ± 0.006	2.152 ± 0.018 1.666 ± 0.010	2.96 ± 0.04 2.08 ± 0.02	3.35 ± 0.07 2.81 ± 0.03
$\langle n_p \rangle$ $p \geq 0.15$	4.223 ± 0.04 4.366 ± 0.03	1.822 ± 0.024 2.012 ± 0.014	0.42 ± 0.10 0.55 ± 0.09	1.18 ± 0.08 1.44 ± 0.06
$\langle n_p \rangle$ $0.15 \leq p \leq 0.3$	0.682 ± 0.007 0.367 ± 0.005	0.865 ± 0.012 0.674 ± 0.006	0.54 ± 0.02 0.40 ± 0.01	0.86 ± 0.04 0.62 ± 0.02
$\langle n_p \rangle$ $0.3 < p \leq 0.75$	0.728 ± 0.005 0.626 ± 0.005	1.744 ± 0.015 1.726 ± 0.009	2.66 ± 0.04 2.52 ± 0.02	1.86 ± 0.06 1.52 ± 0.03
$\langle n_p \rangle$ $p \geq 0.75$	1.611 ± 0.007 1.718 ± 0.007	4.936 ± 0.019 4.961 ± 0.012	8.44 ± 0.05 8.51 ± 0.05	8.44 ± 0.09 8.12 ± 0.04
$\langle n_p^{y^q} \rangle$ $P < 0,15$	2.282 ± 0.007 2.344 ± 0.008	6.605 ± 0.016 6.676 ± 0.009	12.04 ± 0.03 11.23 ± 0.02	11.12 ± 0.09 9.14 ± 0.05

мезонов в периферических и центральных СС- взаимодействиях приводит к разной зависимости средних значений отрицательных и положительных пионов от степени центральности (табл.2).

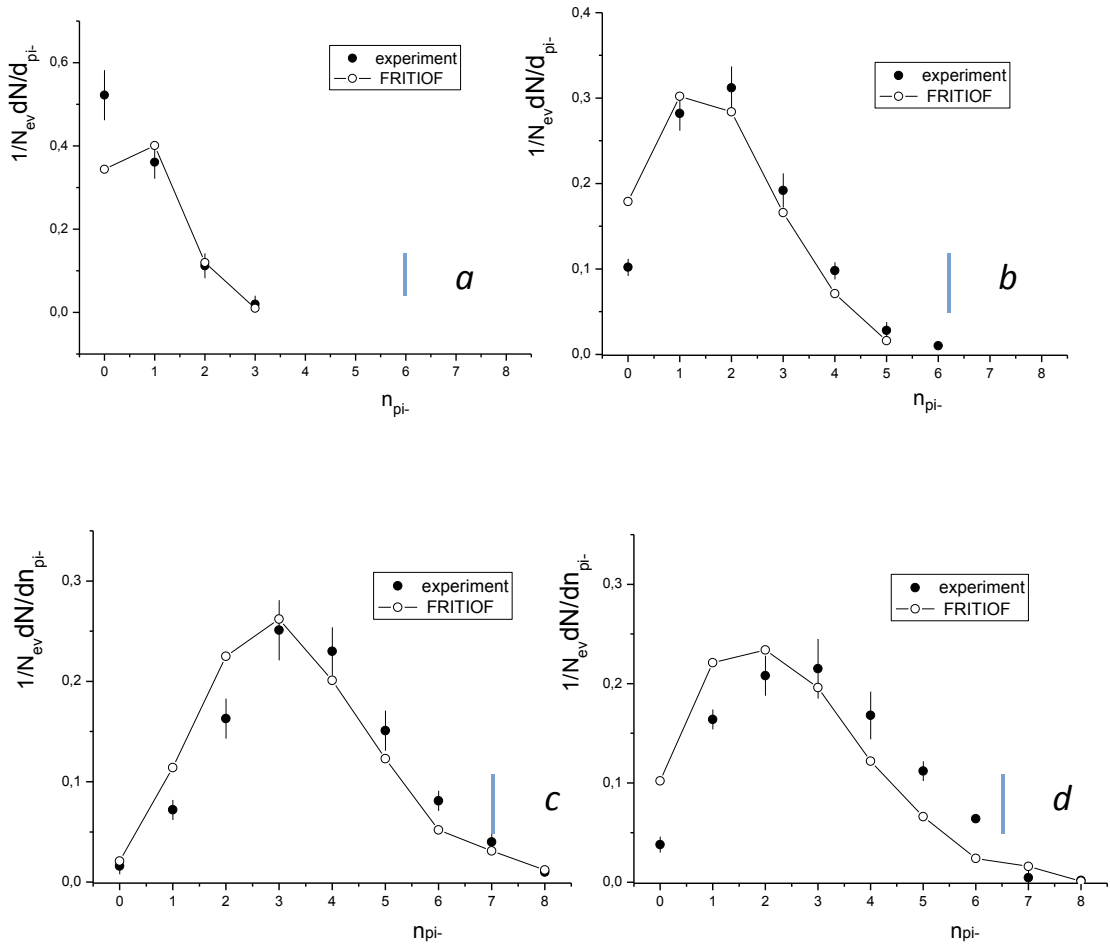


Рис.1. Множественное распределения π^- -мезонов в СС-взаимодействиях.

а) $n_p^{y^q} \leq 4$, б) $4 \leq n_p^{y^q} \leq 9$, в) $n_p^{y^q} \geq 9$, д) $Q_{стр} = 0$.

Табл.2. Относительные множественности π^- и π^+ -мезонов в СС-взаимодействиях с разным числом протонов-участников (верхняя строка – экспериментальные результаты, нижняя строка – расчеты по модели FRITIOF).

Тип события	$n_p^{yq} \leq 4$	$4 \leq n_p^{yq} \leq 9$	$n_p^{yq} \geq 9$	$Q_{стр}=0$
$\langle n_{\pi^-} \rangle / \langle n_p^{yq} \rangle$	0.312 ± 0.003 0.296 ± 0.002	0.326 ± 0.003 0.249 ± 0.002	0.363 ± 0.004 0.290 ± 0.003	0.314 ± 0.007 0.239 ± 0.004
$\langle n_{\pi^+} \rangle / \langle n_p^{yq} \rangle$	0.385 ± 0.003 0.384 ± 0.003	0.321 ± 0.003 0.245 ± 0.002	0.263 ± 0.004 0.179 ± 0.003	0.329 ± 0.008 0.267 ± 0.006
$\frac{\langle n_{\pi^-} \rangle + \langle n_{\pi^+} \rangle}{\langle n_{пруч} \rangle}$	0.697 ± 0.004 0.680 ± 0.004	0.647 ± 0.004 0.494 ± 0.003	0.626 ± 0.006 0.469 ± 0.004	0.643 ± 0.010 0.506 ± 0.007

из табл.2 видно, что при переходе от СС-событий с $n_p \geq 4$ к событиям с $n_p \geq 9$ имеет место небольшое уменьшение (~10 %) выхода заряженных пионов на один протон-участник. С уменьшением прицельного параметра естественно возрастает среднее число протонов-участников как из ядра-снаряда, так и из ядра-мишени и, соответственно, уменьшаются множественности стриппинговых фрагментов ядра-снаряда и испарительных протонов ядра-мишени, причем в большей степени за счет протонов с импульсом меньше 0,15 ГэВ/с (рис.2-3). Среднее число протонов с $p < 0,15$ ГэВ/с оценивалось по недостающему заряду в событии (табл.1). Следует отметить, что средняя множественность протонов-участников в подгруппе с импульсами от 0,3 до 0,75 ГэВ/с растет медленнее, чем в подгруппе с $p > 0,75$ ГэВ/с. Анализ экспериментальных данных показал, что часть протонов-участников из ядра-мишени (40-50%) при соударении с нуклонами налетающего ядра получает большие передачи импульса и переходит в группу протонов-участников с импульсом $p > 0,75$ ГэВ/с. Отсюда значительное увеличение среднего числа протонов-участников с импульсом больше 0,75 ГэВ/с в центральных взаимодействиях.

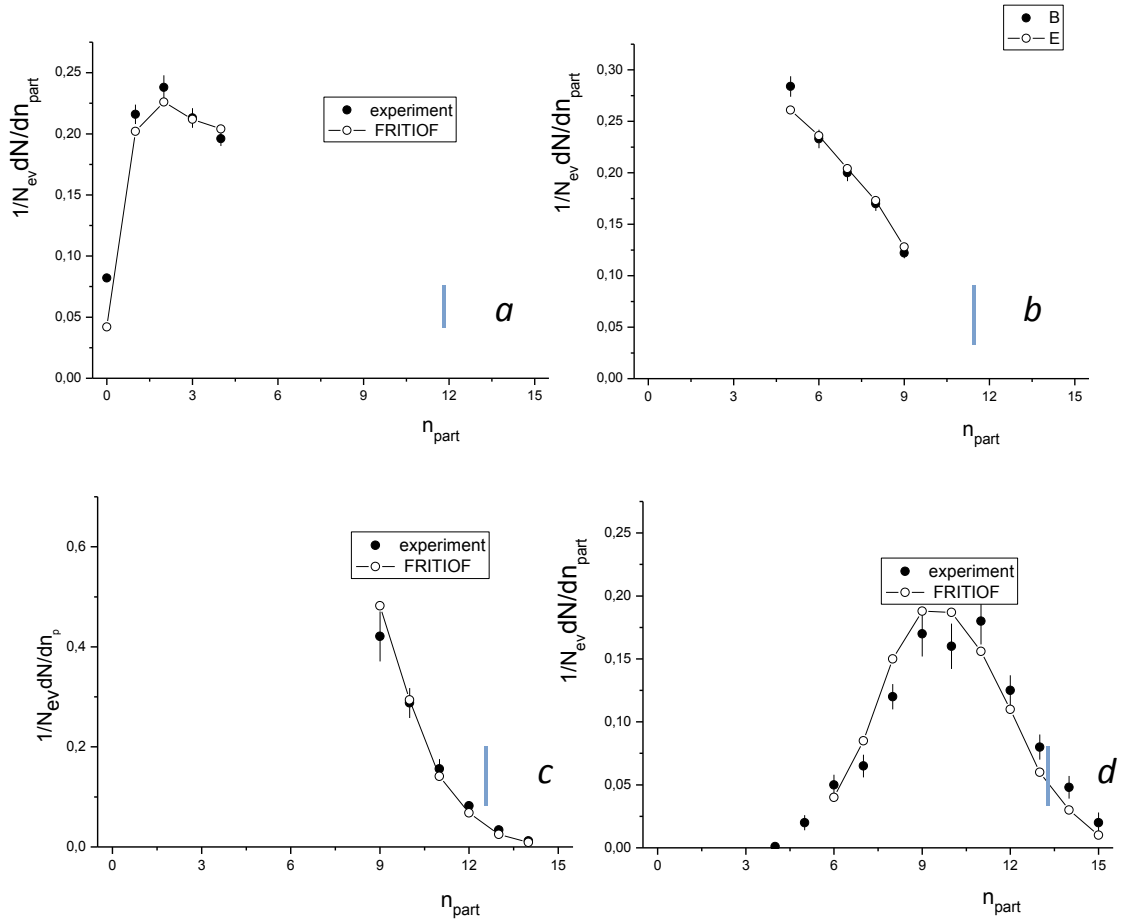


Рис.2. Множественное распределения протонов-участников в неупругих СС-взаимодействиях. а) $n_p^{ych} \leq 4$, б) $4 \leq n_p^{ych} \leq 9$, в) $n_p^{ych} > 9$, г) $Q_{стр}=0$.

Сравнение средних множественностей частиц в группах СС-событий с $n_p^{ych} > 9$ и $Q_{стр}=0$ показывает, что события с $n_p^{ych} > 9$ отличаются большей средней множественностью вторичных заряженных частиц, существенно меньшей средней множественностью испарительных протонов и наличием стриппинговых фрагментов ядра-снаряда (табл.1).

В событиях с $Q_{стр}=0$, по определению, с мишенью взаимодействуют все шесть протонов ядра углерода. Из ядра-мишени в среднем 4,2 протона принимает участие во взаимодействии. В событиях $n_p^{ych} > 9$ эти числа соответственно равны 7,78 и 5,13. Они

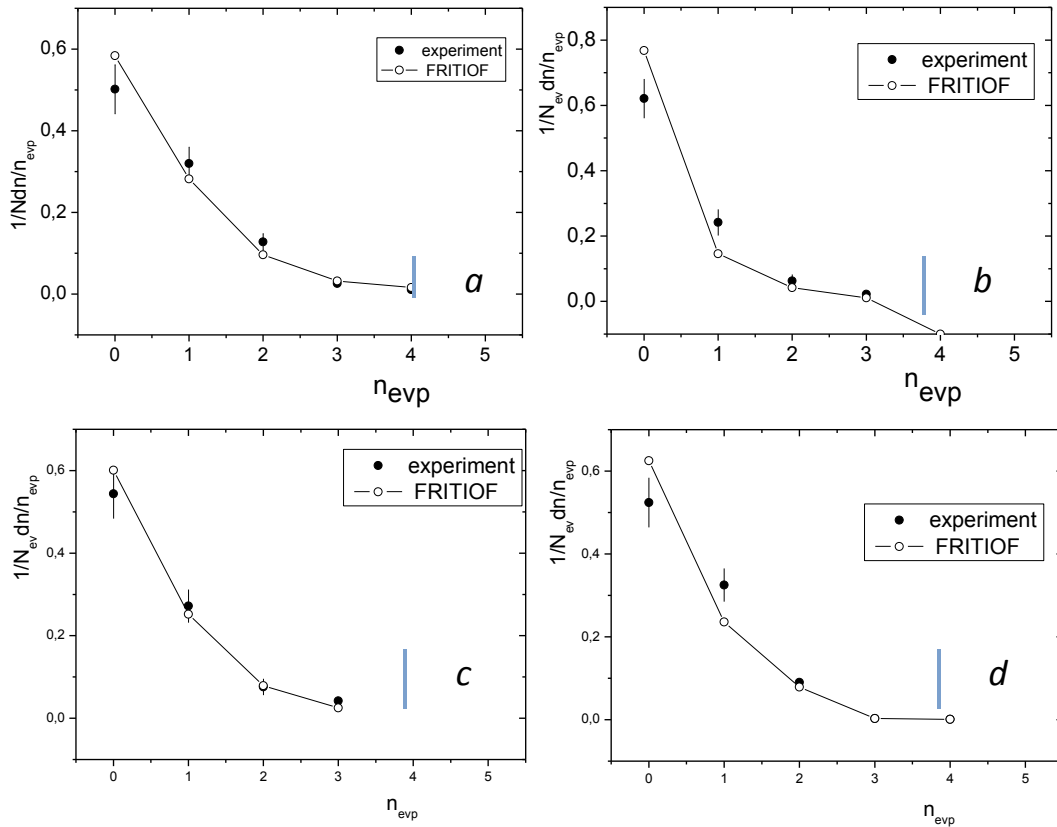


Рис.3. Множественные распределения испарительных протонов в СС-взаимодействиях. а) $n_p^{ych} \leq 4$, б) $4 \leq n_p^{ych} \leq 9$, в) $n_p^{ych} > 9$, д) $Q_{стр}=0$.

получены с использованием средних множественностей стриппинговых частиц и испарительных протонов из табл.1. Наглядное представление об особенностях двух типов центральных СС-взаимодействий ($n_p^{ych} > 9$ и $Q_{стр}=0$) можно получить из рис.1 с,д.

Заключение

Итог анализа полученных экспериментальных данных и их сопоставления с расчетами модели FRITIOF позволяет сделать следующие выводы:

- При близких значениях средних множественностей протонов-участников (отличие около 10%) СС-события имеют совершенно различные распределения по n_p^{ych} . В силу критерия отбора события $n_p^{ych} > 9$ сосредоточены в узком интервале по n_p^{ych} , в то время как для событий с $Q_{стр}=0$ распределение по n_p^{ych} довольно широкое (рис.2 г). Видимо в событиях с $Q_{стр}=0$ существенную роль играют протон-нейтронные взаимодействия ($pn \rightarrow pnX$) и взаимодействия с перезарядкой протонов ($pn \rightarrow pp\pi^+$). Этим можно объяснить появление событий с $n_p^{ych} > 9$ при взаимодействии шести протонов из налетающего ядра углерода с углеродной мишенью.

- В результате проведенного сравнения можно сделать вывод о том, что степени центральности СС-взаимодействий с $n_p^{ych} > 9$ и $Q_{стр}=0$ примерно одинаковы.

- Сравнение экспериментальных данных по множественности вторичных частиц с расчетами по модели FRITIOF показывает, что модель удовлетворительно воспроизводит средние множественности всех заряженных частиц, протонов-участников и испарительных протонов во всех анализируемых группах событий (табл.1 и рис.2). Наибольшее расхождение между экспериментом и моделью наблюдается при сравнении

множественностей π -мезонов и испарительных протонов в подгруппах с импульсами $p < 0,15$ ГэВ/с и $0,15 \leq p \leq 0,3$ ГэВ/с.

Литература

1. Барашенков В.С., Тонеев В.Д., М., Атомиздат, 1972.
2. Tonееv V.D., Gudima K.K. Nuclear Physics. 1983. V.A400. p.385.
3. Боресков К.Г., Кайдалов А.Б., Смородинская С.Я. ЯФ. 1991.т.53.с.569.
4. Simiĉ Lj. at al.. Z.Phys. C-Particles and Fields 48,577-580 (1990).
5. Бекмирзаев Р.Н., Олимов К., Султанов М.У. Фундаментальные и прикладные вопросы физики. Материалы четвертой международной конференции посвященной 80-летию академика М.С.Саидова. Ташкент-2010. с. 15.
6. Бекмирзаев Р.Н. и др., ДАН Узбекистана. 6-2011, с.36-38.
7. Бекмирзаев Р.Н. и др., ДАН Узбекистана.. 3-2012. Стр.27-31
8. Олимов К., и др., ДАН Узбекистана. 2-2014. Стр.19-21.
9. Galoyan A.S., Kladnitskaya E.N., Rogachevski O.V., Uzhinskii V.V. Application of RQMD and FRITIOF models for description of nucleus-nucleus interactions at energy of 3.36 GeV/nucleon. E1-2001-68. Dubna, 2001.
10. Галоян А.С., Кладницкая У.Н., Ужинский В.В. Флуктуации множественностей рожденных частиц во азимодействиях легких ядер с ядрами углерода при импульсе 4,2 ГэВ/с/нуклон и их теоретическая интерпретация. Письма в ЖЭТФ, 2007, том 86, выпуск 10,718-721.