Uzbek Journal of Physics

Vol.20(№6) 2018 PP.334-338

ОБРАЗОВАНИЕ И АЗИМУТАЛЬНЫЕ КОРРЕЛЯЦИИ КУМУЛЯТИВНЫХ ПРОТОНОВ И ПИОНОВ С ЧАСТИЦАМИ СОПРОВОЖДЕНИЯ В АДРОН- И ЯДРО-ЯДЕРНЫХ СОУДАРЕНИЯХ ПРИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЯХ

Б.С. Юлдашев[1], С.Л. Лутпуллаев[2], К. Олимов[2], Э.Х. Бозоров[1], Д.А. Каршиев[4], З.Х. Бозорова[4], Б.Ш. Абдиев[3], Э.Э. Дустмурадов[1], А.А. Абдувалиев[1], Б.Р. Турдиев[1], Ж.О. Садуллаев[3]

[1]Институт ядерной физики АН РУз, Ташкент, Узбекистан
[2]Физико-техничекий институт АН РУз, Ташкент, Узбекистан
[3]Национальный университет Узбекистана, Ташкент, Узбекистан
[4]Ташкентский педиатрический медицинский институт, Узбекистан
(Получена 12.10.2018)

Ушбу мақолада кумулятив протон ва пионларни адрон- ва ядро-ядро тўқнашувларида кузатилган заррачалар билан ҳосил бўлишида азимутал корреляция натижалари берилган.

В данной работе представлены результаты исследований азимутальных корреляций при образовании кумулятивных протонов и пионов с частицами сопровождения в адрон- и ядро-ядерных соударениях.

The paper presents results of studies of the azimuthal correlations in the formation of cumulative protons and pions with tracking particles in hadron- and nucleus-nucleus collisions.

Кумулятивное образование частиц может быть связано с существованием в ядре мультикварковых конфигураций (флуктонов) из-за нуклонных флуктуаций плотности, в которых два нуклона (или больше) находятся на расстоянии менее 1 фм.

Кумулятивной считается частица, вылетающая в кинематически запрещенную область для свободных *NN*-соударений. Степень кумулятивности частицы обычно определяют значением величины

$$\beta = (E - P\cos\theta) / m_N ,$$

где E, P и θ – соответственно энергия, импульс и угол вылета протона, m_N – масса нуклона.

По физическому смыслу кумулятивное число β означает минимальную массу мишени в единицах массы нуклона, на которой произошло образование кумулятивного протона.

Исследование кумулятивного образования протонов выполнено в $p^{12}C$- (4.2 ГэВ/с), $p^{12}C$- (9.9 ГэВ/с), $\pi^{-12}C$- (40.0 ГэВ/с), $^{4}He^{12}C$- (4.2 А ГэВ/с), $^{12}C^{12}C$- (4.2 ГэВ/с), ^{16}Op- (3.25 А ГэВ/с), $p^{20}Ne$- (300 ГэВ/с), $p^{181}Ta$- (4.2 ГэВ/с), $^{12}C^{181}Ta$- (4.2 А ГэВ/с) соударениях (табл. 1).

Сведения об ансамблях адрон- и ядро-ядерных взаимодействий, статистика экспериментального материала и основные результаты анализа процессов с кумулятивным образованием протонов приведены в табл. 1 и 2.

Таблица 1. Характеристики каналов с кумулятивным образованием протонов.

Тип взаимодействия, первичный импульс (ГэВ/с)	Число неупругих событий	Параметр наклона, β	Средняя множественность кумул. протонов	Доля событий с кумулятивным протоном, %
*p*C, (4.2)	6 817	8.18 ± 0.26	1.04 ± 0.03	10.1 ± 0.4
*p*C, (9.9)	19 331	8.09 ± 0.49	1.06 ± 0.03	10.0 ± 0.2
π^{-12}C, (40.0)	16 657	8.10 ± 0.25	1.06 ± 0.03	6.6 ± 0.2
^{4}HeC, (4.2 *A*)	11 974	8.00 ± 0.28	1.06 ± 0.05	10.1 ± 0.3
CC, (4.2 *A*)	20 527	8.14 ± 0.20	1.05 ± 0.04	10.1 ± 0.2
^{16}O*p*, (3.25 *A*)	12 367	8.13 ± 0.21	1.11 ± 0 .02	12.1 ± 0.4
p^{20}Ne, (300)	4 990	7.99 ± 0.18	1.16 ± 0.03	14.6 ± 0.6
*p*Ta, (4.2)	1 517	7.9 ± 0.8	1.60 ± 0.10	18.0 ± 1.0
CTa, (4.2 *A*)	2 440	8.4 ± 0.5	1.86± 0.06	41.0 ± 1.5

Таблица 2. Средняя множественность различных типов частиц и ядер в событиях с образованием и без образования кумулятивных протонов при $n_p \geq 1$ в ^{16}Op-соударениях при 3.25 А ГэВ/с.

Тип частицы, фрагмента	$n_{cum} = 0$	$n_{cum} \geq 1$	Тип частицы, фрагмента	$n_{cum} = 0$	$n_{cum} \geq 1$
π^-	0.33±0.01	0.44±0.02	^{4}He	0.61±0.01	0.71±0.02
π^+	0.48±0.01	0.47±0.02	Z_f=3	0.09±0.01	0.12±0.01
^{1}H	2.00±0.02	3.23±0.04	Z_f=4	0.05±0.01	0.05±0.01
^{2}H	0.36±.0.01	0.59±0.02	Z_f=5	0.09±0.01	0.08±0.01
^{3}H	0.14±0.01	0.24±0.02	Z_f=6	0.21±0.01	0.12±0.01
^{3}He	0.14±0.01	0.21±0.01	Z_f=7	0.19±0.01	0.04±0.01

Приведенные данные по кумулятивному образованию протонов позволяют заключить следующее:

– образование кумулятивных протонов происходит в центральных (периферических) *hA*- и *AA*-соударениях с более высокой степенью разрушения фрагментирующего ядра;

– средняя множественность фрагментов с $Z_f \geq 6$ в кумулятивных процессах существенно меньше, чем в некумулятивных;

– средняя множественность ядер-фрагментов ^{1}H, ^{2}H, ^{3}H, ^{3}He и ^{4}He в кумулятивных процессах существенно выше, чем в некумулятивных;

– средняя множественность π^--мезонов в кумулятивных процессах в 1.3 раза выше, чем в некумулятивных, тогда как средняя множественность π^+-мезонов одинакова в обоих процессах, что указывает на более высокую вовлеченность нейтронов ядра в кумулятивные процессы;

– распределения по параметру кумулятивности β являются универсальными для всех анализируемых ансамблей взаимодействий: при аппроксимации спектров

зависимостью $f(\beta) = a\exp(-b\beta)$ параметр наклона b оказывается независимым от массового числа ядра-мишени, первичной энергии и типа налетающей частицы;

– средняя минимальная масса кластера-мишени, участвующего в образовании кумулятивных протонов, равна $<\beta>=1.33\ m_N$, т.е. среднее число кварков, участвующих в образовании кумулятивных протонов больше 3.

– средняя множественность кумулятивных протонов в кумулятивных событиях для одного и того же ядра-мишени не зависит от первичной энергии и типа снаряда;

– доля кумулятивных событий среди полного ансамбля взаимодействий оказывается чувствительной к типу налетающей частицы, а отношение этих долей для пион-ядерных и протон-ядерных соударений близко к отношению числа конституентных кварков в пионе и протоне $R = \alpha(\pi^-C)/\alpha(pC) = 0.66\approx 2/3$;

– показатель A-зависимости средней множественности кумулятивных протонов от массового числа ($<n_{cum}> = bA^{\alpha}$) примерно равен $\alpha \approx 1/6$, указывая на то, что образование кумулятивных протонов характеризуется флуктуациями плотности нуклонов в ядре и взаимодействием налетающего адрона с этим плотным кластером (флуктоном).

В данной работе мы приводим результаты исследований азимутальных корреляций при образовании кумулятивных протонов и пионов в $\pi^{-12}C$, $p^{12}C$, $^2H^{12}C$, $^4He^{12}C$, $^{12}C^{12}C$, $^{12}C^{181}Ta$, ^{16}Op и $p^{20}Ne$ столкновениях в диапазоне первичных энергий 3–300 ГэВ при полной экспериментальной статистике, превышающей 100000 полностью измеренных неупругих актов столкновений.

Азимутальные корреляции исследовали с помощью коэффициента азимутальной асимметрии

$$A = \frac{N\left(\varepsilon_{ij} < \pi/2\right) - N\left(\varepsilon_{ij} \geq \pi/2\right)}{N\left(0 \leq \varepsilon_{ij} \leq \pi\right)},$$

где ε_{ij} – угол в азимутальной плоскости между i-ым кумулятивным протоном и j-ым сопутствующим протоном с импульсом в диапазоне p = 0.3–1.2 ГэВ/с (или j-ым сопутствующим пионом с импульсом в диапазоне $p \leq 0.7$ GeV/c), $N\left(\varepsilon_{ij} < \pi/2\right)$ – общее количество комбинаций с $\varepsilon_{ij} < \pi/2$; $N\left(\varepsilon_{ij} \geq \pi/2\right)$ – общее количество комбинаций с $\varepsilon_{ij} \geq \pi/2$ и $N\left(0 \leq \varepsilon_{ij} \leq \pi\right)$ – общее количество всех комбинаций с $\left(0 \leq \varepsilon_{ij} \leq \pi\right)$.

Полученные коэффициенты азимутальной асимметрии между кумулятивными протонами и сопутствующими протонами и между кумулятивными протонами и сопутствующими пионами приведены в табл. 3.

Из табл. 3 следует, что для большинства рассматриваемых реакций при фрагментации ядер от ^{12}C до ^{181}Ta и начальных энергиях от 3 до 300 ГэВ, коэффициент азимутальной асимметрии, A_{pp} значительно меньше нуля. Особенно это выражено для адрон-ядерных и ядро-ядерных столкновений с массовым числом ядра-снаряда $A_p \leq 4$. С увеличением массового числа ядра снаряда ($^{12}C^{12}C$ столкновения при 4.2 ГэВ/с) или/и массового числа ядра-мишени ($^{12}C^{181}Ta$ столкновения при 4.2 ГэВ/с), абсолютное значение коэффициента азимутальной асимметрии уменьшается, приближаясь к нулю. Это может объясняться

увеличением числа участвующих протонов с увеличением массовых чисел снаряда или/и ядра-мишени. Как видно из значений $A_{p\pi}$ в табл. 3, азимутальных корреляций между кумулятивными протонами и сопутствующими пионами не наблюдается, что резко контрастирует со значительными азимутальными корреляциями между кумулятивными и сопутствующими протонами.

Таблица 3. Коэффициенты азимутальной асимметрии между кумулятивными протонами и сопутствующими протонами (A_{pp}) и между кумулятивными протонами и сопутствующими пионами ($A_{p\pi}$).

Реакция, P_0 (ГэВ/с)	A_{pp}	$A_{p\pi}$
p^{12}C, 4.2	–0.20 ± 0.04	–0.06 ± 0.06
p^{16}O, 3.25	–0.16 ± 0.04	–0.12 ± 0.06
p^{12}C, 9.9	–0.12 ± 0.02	–0.07 ± 0.02
^{2}H^{12}C, 4.2 *A*	–0.17 ± 0.04	–0.09 ± 0.04
^{4}He^{12}C, 4.2 *A*	–0.12 ± 0.02	–0.03 ± 0.02
^{12}C^{12}C, 4.2 *A*	–0.04 ± 0.02	–0.01 ± 0.02
^{12}C^{181}Ta, 4.2 *A*	–0.00 ± 0.01	–0.03 ± 0.01
π^{-12}C, 40	–0.10 ± 0.03	–0.03 ± 0.02
p^{20}Ne, 300	–0.09 ± 0.03	-

Таким образом, можно заключить, что наблюдаются значительные азимутальные корреляции между кумулятивными протонами и сопутствующими протонами: они имеют тенденцию испускаться в противоположных направлениях в азимутальной плоскости. Этот факт, наряду с нашими предыдущими результатами по кумулятивным протонам, показывает, что кумулятивные протоны и коррелированные участвующие протоны наиболее вероятно испускаются из одного и того же источника, а именно, из флуктона. Азимутальные корреляции в процессах фрагментации ядер от ^{12}C до ^{181}Ta и начальных энергиях от 3 до 300 ГэВ подтверждают вывод, что кумулятивные протоны наиболее вероятно генерируются во взаимодействиях первичного адрона (ядра) с флуктонами ядра.

Мы также исследовали азимутальные корреляции в образовании кумулятивных пионов в π^{-12}C, p^{12}C, ^{2}H^{12}C, ^{4}He^{12}C, ^{12}C^{12}C, ^{12}C^{181}Ta столкновениях в диапазоне первичных энергий 4–40 ГэВ на полной статистике эксперимента более 90000 полностью измеренных неупругих актов столкновений. Результаты анализа азимутальных корреляций между кумулятивными пионами и сопутствующими протонами приведены в табл. 4.

Таблица 4. Коэффициенты азимутальной асимметрии между кумулятивными пионами и сопутствующими протонами ($A_{\pi p}$) и между кумулятивными пионами и сопутствующими пионами ($A_{\pi\pi}$).

Реакция, P_0 (ГэВ/с)	$A_{\pi p}$	$A_{\pi\pi}$
p^{12}C, 4.2	–0.11 ± 0.07	–0.08 ± 0.10
p^{12}C, 9.9	–0.09 ± 0.04	–0.01 ± 0.03
^{2}H^{12}C, 4.2 *A*	0.04 ± 0.06	–0.11 ± 0.07
^{4}He^{12}C, 4.2 *A*	–0.05 ± 0.03	–0.06 ± 0.04
^{12}C^{12}C, 4.2 *A*	–0.03 ± 0.02	–0.03 ± 0.02
^{12}C^{181}Ta, 4.2 *A*	0.01 ± 0.01	0.05 ± 0.02
π^{-12}C, 40	–0.08 ± 0.04	–0.04 ± 0.03

Из табл. 4 видно, что практически отсутствуют азимутальные корреляции между кумулятивными пионами и сопутствующими протонами, а также между кумулятивными пионами и сопутствующими пионами в адрон-ядерных и ядро-ядерных взаимодействиях в интервале первичных энергий от 4 до 40 ГэВ.

Почти для всех рассматриваемых реакций коэффициенты азимутальной симметрии, $A_{\pi p}$ и $A_{\pi\pi}$, в пределах двух среднеквадратичных отклонений согласуются с нулевым значением A, что указывает на отсутствие азимутальных корреляций между кумулятивными пионами и сопутствующими частицами.

Таким образом, установлено противоиспускание в азимутальной плоскости (компенсация поперечных импульсов) кумулятивных протонов и сопровождающих протонов и ядер-фрагментов, что указывает на их принадлежность к общему эмиссионному центру.

ЛИТЕРАТУРА

1. A.M. Baldin, Kratk. Soobshch. Fiz. **1**, 35 (1971); Sov. J. Part. Nucl. **8**, 175 (1977).
2. V.K. Bondarev et al., Phys. Part. Nucl. **28**, 5 (1997).
3. K. Olimov et al., Phys. At. Nucl. **70**, 709 (2007).
4. K. Olimov et al., Phys. At. Nucl. **70**, 1977 (2007).
5. Kh. K. Olimov et al., Phys. At. Nucl. **70**, 1974 (2007).
6. K. Olimov et al., Phys. At. Nucl. **72**, 567 (2009).
7. A.V. Blinov and M.V. Chadeeva, Phys. At. Nucl. **69**, 1439 (2006).