



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
«КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»
Институт физики высоких энергий имени А.А. Логунова
Национального исследовательского центра
«Курчатовский институт»

Препринт 2020-7

А.Г. Афонин, М.Ю. Боголюбский, А.А. Волков, Д.К. Елумахов,
В.Н. Запольский, А.А. Иванюков, А.Ю. Калинин, А.Н. Криницын,
Н.В. Кулагин, В.И. Крышкин, Д.И. Паталаха, К.А. Романишин,
В.В. Скворцов, В.В. Талов, Л.К. Турчанович, Ю.А. Чесноков

***A*-зависимость образования в переднем направлении
заряженных адронов и ядерных фрагментов
в *CPb* и *CS*-взаимодействиях при
энергии пучка 19.6 ГэВ/нуклон**

Направлено в *ЯФ*

Протвино 2020

Аннотация

Афонин А.Г. и др. A -зависимость образования в переднем направлении заряженных адронов и ядерных фрагментов в CPb и CC -взаимодействиях при энергии пучка 19.6 ГэВ/нуклон: Препринт НИЦ «Курчатовский институт» – ИФВЭ 2020-7. – Протвино, 2020. – 12 с., 6 рис., 6 табл., библиогр.: 14.

Измерены инклюзивные дифференциальные сечения образования π^\pm , k^- -мезонов, протонов, антипротонов с импульсами от 6 до 50 ГэВ/с и ядерных фрагментов с атомным номером $1 \leq A \leq 10$ в интервале импульсов 20-220 ГэВ/с в CPb -столкновениях при кинетической энергии пучка 19.6 ГэВ/нуклон ($\sqrt{s_{NN}}=6.3$ ГэВ). Приведены сравнение с сечениями в CC -взаимодействиях и оценка A -зависимости от ядра мишени. Анализ показывает, что наблюдаемые частицы образуются, в основном, в периферических взаимодействиях.

Abstract

Afonin A.G. et al. A -dependence of the forward production for charged hadrons and nuclear fragments in CPb and CC -interactions at beam energy 19.6 GeV/nucleon: NRC «Kurchatov Institute» – IHEP Preprint 2020-7. – Protvino, 2020. – p. 12, figs. 6, tables 6, refs.: 14.

The measurements of inclusive differential cross sections in forward direction of π^\pm , k^- -mesons, protons, antiprotons with momenta from 6 to 50 GeV/c and nuclear fragments with atomic number $1 \leq A \leq 10$ in the range of momenta 20-220 GeV/c in CPb collisions at beam kinetic energy of 19.6 GeV/n ($\sqrt{s_{NN}}=6.3$ GeV) are presented. A comparison with cross sections in CC -collisions and an estimate of the A -dependence on the target nucleus are given. The analysis shows that observed particles are formed mainly in peripheral interactions.

Введение

В рассматриваемой статье представлены сравнения инклюзивных сечений образования заряженных адронов и ядерных фрагментов в CPb и CC -столкновениях при кинетической энергии углеродного пучка 19.6 ГэВ/нуклон ($\sqrt{S_{NN}}=6.3$ ГэВ). Работа выполнена на ускорительном комплексе У-70 (НИЦ "Курчатовский институт" – ИФВЭ) и является продолжением цикла исследований образования частиц и фрагментов в переднем направлении в AA и pA -взаимодействиях [1, 2, 3].

В указанных работах было отмечено, что полученные сечения образования частиц и фрагментов близки к аналогичным результатам других экспериментов при более низких энергиях, что согласуется с гипотезой предельной фрагментации [4].

Помимо слабой зависимости от энергии взаимодействия согласно данной гипотезе ожидается слабая A -зависимость от ядра мишени в области фрагментации пучка, выходящая на плато с ростом импульса вторичной частицы. Это связано с тем, что образование под углом 0° , в основном, происходит или в результате диссоциации ядра или в периферических взаимодействиях с малыми передачами импульса. Таким образом, измеренные импульсные распределения ядерных фрагментов в области, соответствующей средней энергии на нуклон в пучке и выше близки к энергетическим распределениям нуклонов и их кластеров в ядре.

В данном эксперименте вторичные частицы регистрируются в переднем направлении и область фрагментации пучка хорошо разделяется с областью фрагментации мишени и центральной областью [3], что делает его весьма выгодным для изучения данных процессов.

1. Экспериментальная установка

Экспериментальная установка состояла из канала, формирующего вторичный пучок частиц высоких энергий [7] с мишенью, установленной в его начале (толщина мишени составляла 0.1 от длины ядерного взаимодействия протона в ее веществе), и детекторов

спектрометра ФОДС [8], включающих в себя трековую систему, черенковский спектрометр, набор сцинтилляционных счетчиков и набор пороговых черенковских счетчиков. Проводились также циклы измерений с пустой мишенью для вычитания фона. Вклад пустой мишени относительно углеродной мишени изменялся от 15% до 45% при разных способах вывода (медленный вывод или вывод с помощью изогнутых кристаллов) углеродного пучка из ускорителя.

Тип вторичной частицы или ядерного фрагмента определялся по их заряду и массе. Заряд устанавливался по величине ионизации в сцинтилляционных счетчиках и выделяемой энергии в адронном калориметре. Массу восстанавливали в спектрометре колец Черенковского излучения при известных магнитной жесткости канала и заряде частицы. Параметры экспериментальной установки и процедура обработки более подробно описаны в работах [1, 2, 3]. Дополнительно отметим, что работа велась на углеродном пучке интенсивностью 10^9 ядер за сброс 1.2с, вторичные частицы и ядерные фрагменты регистрировались под нулевым углом при сравнительно малой апертуре канала: $d\Omega=35 \mu sr$, $dp/p=2.4 \%$ для отрицательно заряженных частиц и $-d\Omega=3.4 \mu sr$, $dp/p=1.2 \%$ - для положительных.

Моделирование эксперимента проводилось методом Монте-Карло в рамках Geant4 [9] и описано в [10, 11].

2. Экспериментальные результаты

Измеренные в CPb -взаимодействиях дифференциальные сечения представлены в таблицах 1-6. Анализ инвариантных сечений для разных мишеней показал, что их форма в зависимости от импульса адронов и ядерных фрагментов была практически одинаковой на углеродной и свинцовой мишенях. Поэтому наибольший интерес представляли отношения сечений, которые позволили оценить A -зависимость образования заряженных адронов и ядерных фрагментов в переднем направлении. Отношения сечений для протонов и антипротонов, π и k -мезонов, ядерных фрагментов в зависимости от их импульса в лабораторной системе координат показаны на рис. 1, 2 и 3, соответственно. Из этих данных видно, что для адронов, за исключением k^- -мезонов, при импульсах выше 20 ГэВ/отношение близко к 2, но с увеличением значения отношения при меньших импульсах. Для легких ядерных фрагментов от протонов до гелия включительно отношения сечений также близки к двум и несколько увеличиваются для более тяжелых фрагментов. Это хорошо видно на рисунке 4, где представлены усредненные по импульсу отношения инвариантных сечений для разных мишеней.

В отношениях сечений сокращаются общая нормировка, связанная с мониторингом пучка, расчет аксептанса канала, учет взаимодействий в веществе канала и детекторов, учет распадов вторичных частиц и эффективности регистрации. Анализ экспериментальных результатов в разных циклах измерений показал наличие систематической погрешности около 15% [2, 3], связанной с нестабильностью положения пучка во время набора физических данных. Везде кроме таблиц, включая процедуру усреднения, в качестве ошибки приводится квадратный корень из суммы квадратов статистической и данной систематической погрешностей.

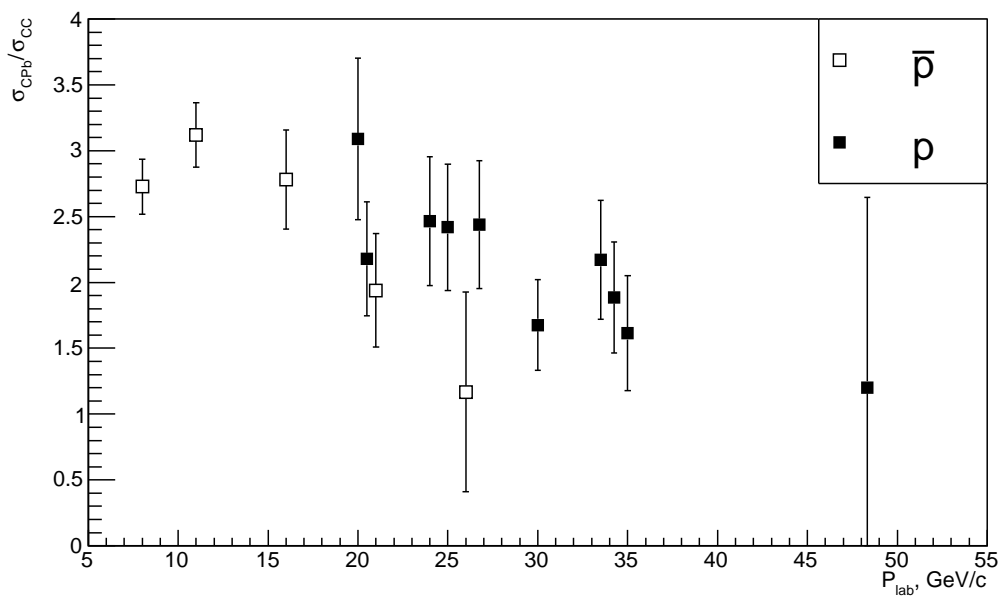


Рис. 1. Отношения инвариантных сечений образования протонов и антипротонов в CPb и CC -столкновениях в зависимости от их импульса в лабораторной системе.

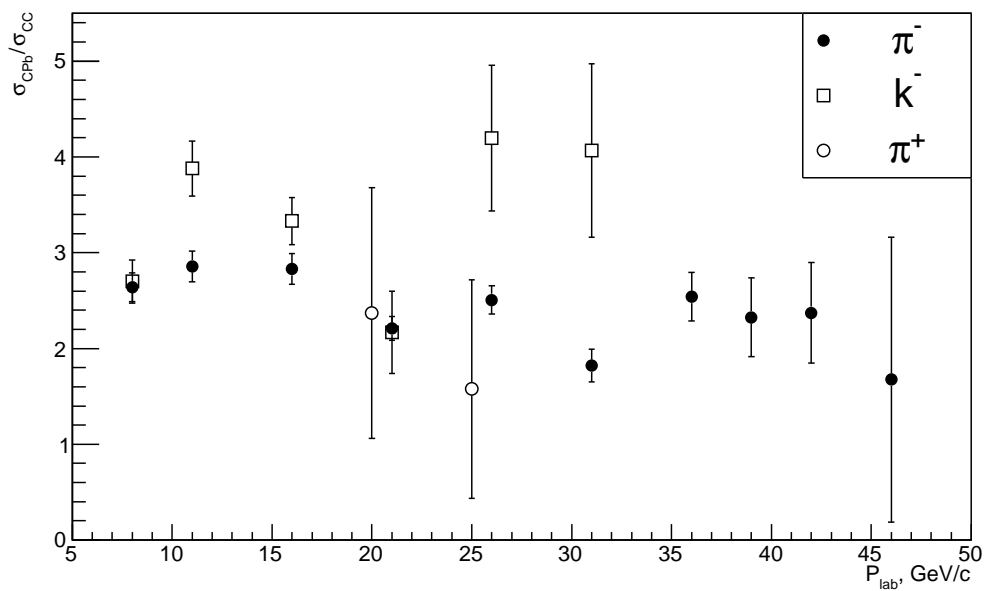


Рис. 2. Отношения инвариантных сечений образования π^- , π^+ , k^- -мезонов в CPb и CC -столкновениях в зависимости от их импульса в лабораторной системе.

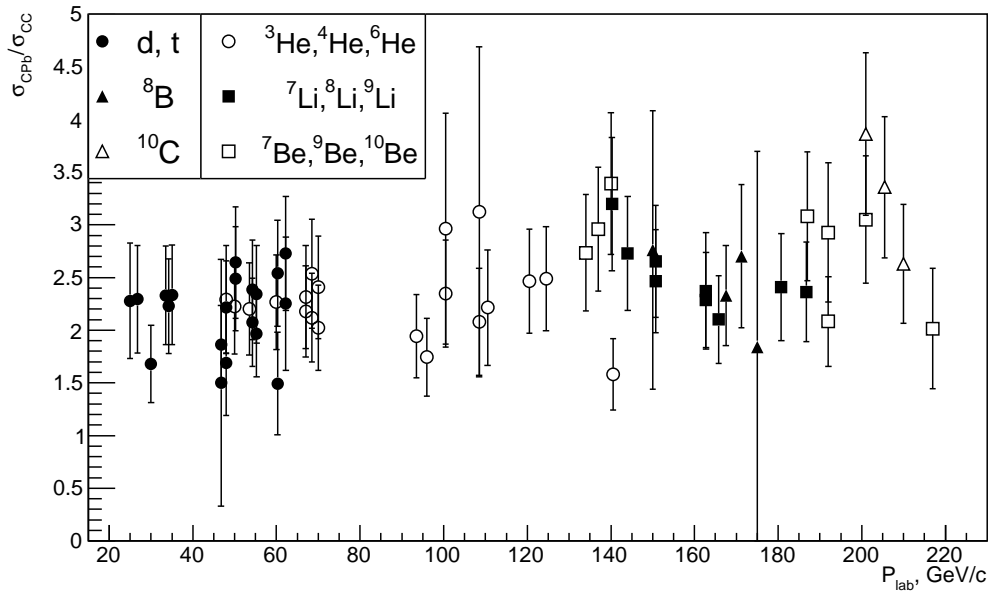


Рис. 3. Отношения инвариантных сечений в CPb и CC -столкновениях образования ядерных фрагментов в зависимости от их импульса в лабораторной системе.

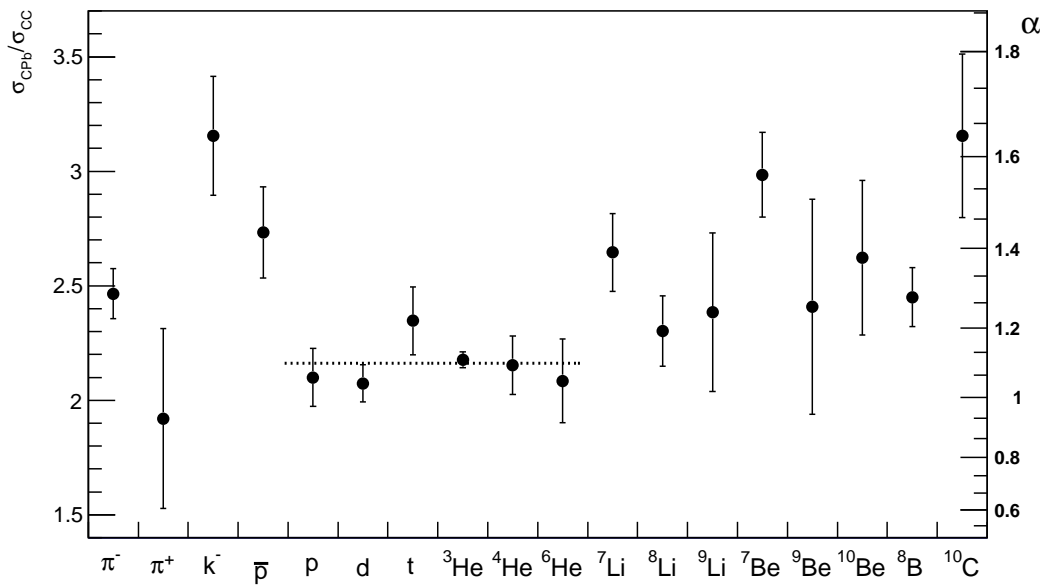


Рис. 4. Усредненные по импульсу значения отношений инвариантных сечений для регистрируемых в данном эксперименте частиц и ядерных фрагментов, а также рассчитанный по формуле (1) показатель A-зависимости α . Пунктирная линия показывает среднее значение для легких фрагментов p , d , t , 3He , 4He , 6He , равное, соответственно, $\langle\sigma_{CPb}/\sigma_{CC}\rangle=2.16\pm 0.03$ и $\langle\alpha\rangle=1.10\pm 0.02$.

В работе [12] была изучена A -зависимость неупругих ядро-ядерных взаимодействий при импульсе ядер фтора в пучке 4 ГэВ/с на нуклон. Эта зависимость хорошо описывалась выражением в рамках геометрической модели столкновений ядер:

$$\sigma = \sigma_0 \cdot (A_1^{1/3} + A_2^{1/3} - 1)^\alpha, \quad (1)$$

где σ_0 – сечение нуклон-нуклонного рассеяния, A_1 и A_2 – атомные номера ядер пучка и мишени, α - параметр. Величина последнего была зафиксирована в [12] на значении $\alpha=2$ для неупругих взаимодействий, а для периферических процессов $\alpha=1$. Тогда из формулы (1) следует, что отношения сечений на свинцовой мишени к углеродной в пучке ионов углерода равняются, соответственно, 4.05 и 2.01 для неупругих и периферических взаимодействий.

На рисунке 4 приведены усредненные по импульсу отношения инвариантных сечений и оценка параметра α . Для протонов и легких ядер показатель близок к единице. Для остальных фрагментов наблюдается небольшой рост в пределах ошибок.

На рисунке 5 приводится сравнение параметра α для π^- -мезонов и протонов при кинетических энергиях ядер пучка 19.6 ГэВ на нуклон (данный эксперимент), 2.1 ГэВ на нуклон [5, 6], а также в pA -взаимодействиях, измеренных в рамках данного цикла исследований [1]. Видно, что A -зависимость при различных энергиях и парах ядер ведет себя подобным образом, падая с ростом фейнмановской переменной X_F с возможным выходом на плато при $X_F > 1$.

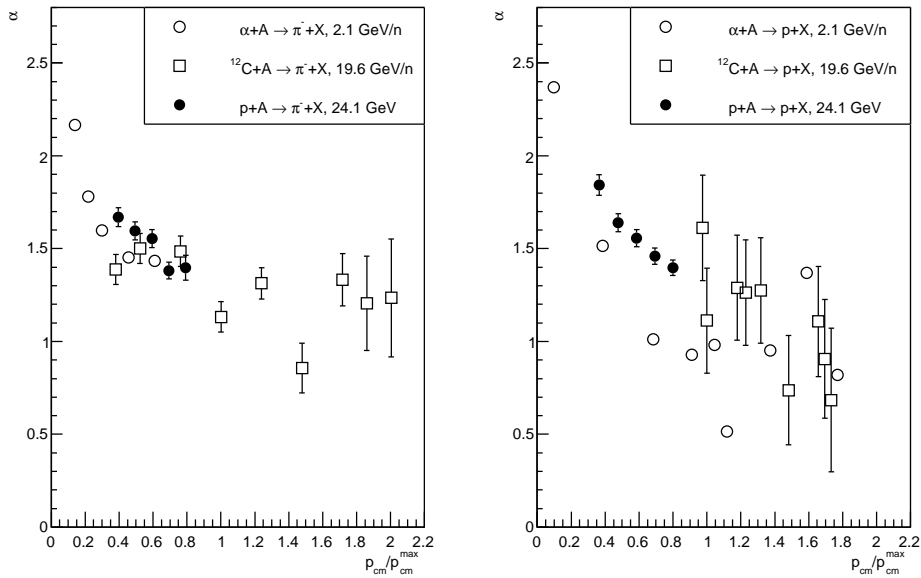


Рис. 5. Сравнение A -зависимости образования π^- -мезонов и протонов от X_F в различных экспериментах. \circ - данные из работ [5, 6], \bullet - [1], \square - эта работа (p_{cm} – импульс частицы в системе центра масс, p_{cm}^{max} – его максимальное значение в случае свободных взаимодействующих нуклонов).

Так как полученная A -зависимость не является точной константой, интересно проверить как изменились оценки параметров температуры соответствующих процессов из работы [2]. В ней мы описывали поведение сечений образования частиц в системе покоя фрагментирующего ядра от их кинетической энергии T_{kin} суммой двух экспонент:

$$\sigma_{inv} = c_1 \cdot \exp(-T_{kin}/T_1) + c_2 \cdot \exp(-T_{kin}/T_2), \quad (2)$$

где коэффициенты c_1 и c_2 называют мощностями испарительных и кумулятивных процессов, а T_1 и T_2 – их температурой. Форма данного распределения согласно [13, 14] определяется свойствами фрагментирующего ядра и не зависит от энергии взаимодействия и ядра-спектатора.

На рисунке 6 приведено сравнение для протонов и π -мезонов в CC и CPb -взаимодействиях вместе с соответствующими аппроксимациями по формуле (2). Полученные значения температур совпадают в пределах ошибок:

$$\begin{aligned} \pi^- : \quad T_2^{CC} &= 52.6 \pm 0.9 \text{ МэВ}, & T_2^{CPb} &= 51.9 \pm 0.8 \text{ МэВ}, \\ p : \quad T_1^{CC} &= 4.9 \pm 0.7 \text{ МэВ}, & T_1^{CPb} &= 5.5 \pm 0.8 \text{ МэВ}, \\ p : \quad T_2^{CC} &= 29.4 \pm 1.7 \text{ МэВ}, & T_2^{CPb} &= 28.1 \pm 2.5 \text{ МэВ}. \end{aligned}$$

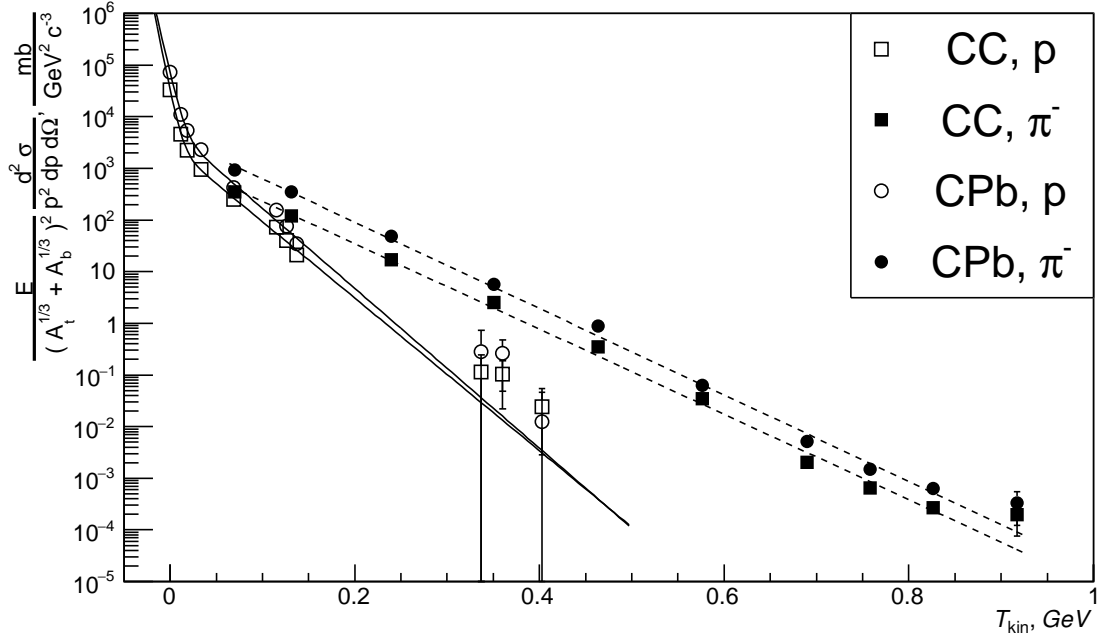


Рис. 6. Инвариантные сечения образования вперед протонов и π^- -мезонов в CPb и CC -взаимодействиях в зависимости от кинетической энергии T_{kin} в системе покоя фрагментирующего ядра. Сплошные кривые – аппроксимации суммой экспонент по формуле (2), пунктирные – одной экспонентой.

Заклучение

Представлены измерения инклюзивных сечений образования в переднем направлении заряженных адронов и ядерных фрагментов в CPb -столкновениях при кинетической энергии пучка 19.6 ГэВ/нуклон ($\sqrt{S_{NN}}=6.3$ ГэВ) в сравнении с аналогичными данными в CC -взаимодействиях и получена A -зависимости изучаемых процессов.

Картины образования вперед частиц и фрагментов подобны друг-другу как в данном эксперименте в CPb и CC -взаимодействиях, так и в других экспериментах, поставленных при более низких энергиях, и демонстрируют слабую A -зависимость, соответствующую периферическим процессам. Что, в свою очередь, согласуется с гипотезой предельной фрагментации. Оценки параметров, определяющих форму дифференциальных сечений, совпадают в пределах ошибок.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что измеренные сечения образования ядерных фрагментов, в основном, определяются свойствами ядра углерода, фрагментирующего в периферических процессах с малыми передачами импульса.

Благодарности

Данная работа поддержана грантом РФФИ № 19-02-00278.

Таблица 1. Ивариантные сечения в зависимости от лабораторного импульса для протонов и π^+ -мезонов (только статистические ошибки).

$P_{lab}, GeV/c$	$E d^2 \sigma / (p^2 dp d\Omega), mb / (GeV^2 c^{-3} sr)$	
	p	π^+
20.00	$8.91e+04 \pm 3.55e+02$	$1.09e+01 \pm 4.20e+00$
20.50	$7.23e+04 \pm 3.81e+02$	
24.00	$1.12e+04 \pm 7.58e+01$	
25.00	$5.39e+03 \pm 4.49e+01$	$1.34e+00 \pm 8.32e-01$
26.75	$2.30e+03 \pm 3.32e+01$	
30.00	$4.20e+02 \pm 1.78e+01$	
33.50	$1.57e+02 \pm 7.38e+00$	
34.25	$7.59e+01 \pm 6.45e+00$	
35.00	$3.44e+01 \pm 5.35e+00$	
46.75	$2.83e-01 \pm 4.42e-01$	
48.00	$2.63e-01 \pm 2.11e-01$	
50.25	$1.24e-02 \pm 4.18e-02$	

Таблица 2. Ивариантные сечения в зависимости от лабораторного импульса для антипротонов, k^- , π^- -мезонов (только статистические ошибки).

$P_{lab}, GeV/c$	$E d^2\sigma/(p^2 dp d\Omega), mb/(GeV^2 c^{-3} sr)$		
	π^-	k^-	\bar{p}
8.00	$9.27e+02 \pm 2.14e+00$	$2.46e+01 \pm 1.01e+00$	$4.63e+00 \pm 1.62e-01$
11.00	$3.47e+02 \pm 8.87e-01$	$8.64e+00 \pm 2.76e-01$	$1.81e+00 \pm 6.86e-02$
16.00	$4.81e+01 \pm 1.50e-01$	$1.13e+00 \pm 3.58e-02$	$1.53e-01 \pm 1.23e-02$
21.00	$5.63e+00 \pm 1.50e-02$	$1.00e-01 \pm 1.86e-02$	$1.59e-02 \pm 2.57e-03$
26.00	$8.86e-01 \pm 8.32e-03$	$2.79e-02 \pm 2.40e-03$	$2.65e-03 \pm 1.07e-03$
31.00	$6.25e-02 \pm 4.47e-03$	$4.66e-03 \pm 5.36e-04$	$4.82e-04 \pm 1.41e-04$
36.00	$5.18e-03 \pm 3.04e-04$		
39.00	$1.50e-03 \pm 1.76e-04$		
42.00	$6.34e-04 \pm 9.18e-05$		
46.00	$3.34e-04 \pm 2.12e-04$		
51.00	$3.51e-04 \pm 3.31e-04$		

Таблица 3. Ивариантные сечения в зависимости от лабораторного импульса для ядер дейтерия (d) и трития (t) (только статистические ошибки).

$P_{lab}, GeV/c$	$E d^2\sigma/(p^2 dp d\Omega), mb/(GeV^2 c^{-3} sr)$	
	d	t
25.00	$5.56e+01 \pm 5.86e+00$	
26.75	$1.20e+02 \pm 9.14e+00$	
30.00	$2.02e+02 \pm 1.45e+01$	
33.50	$8.32e+02 \pm 2.00e+01$	
34.25	$8.48e+02 \pm 2.46e+01$	
35.00	$9.00e+02 \pm 2.79e+01$	
46.75	$8.59e+02 \pm 2.40e+01$	$3.77e+00 \pm 2.60e+00$
48.00	$7.50e+02 \pm 1.01e+01$	$1.10e+01 \pm 1.99e+00$
50.25	$4.88e+02 \pm 4.16e+00$	$1.08e+02 \pm 2.16e+00$
54.25	$5.60e+01 \pm 1.72e+00$	$9.19e+02 \pm 6.75e+00$
55.25	$3.02e+01 \pm 1.60e+00$	$1.20e+03 \pm 9.71e+00$
60.25	$3.89e+00 \pm 8.44e-01$	$5.82e+03 \pm 2.81e+01$
62.25	$2.90e+00 \pm 4.57e-01$	$6.45e+03 \pm 1.97e+01$

Таблица 4. Ивариантные сечения в зависимости от лабораторного импульса для ядер ${}^3\text{He}$, ${}^4\text{He}$, ${}^6\text{He}$ (только статистические ошибки).

$P_{lab}, \text{GeV}/c$	$Ed^2\sigma/(p^2 dp d\Omega), \text{mb}/(\text{GeV}^2 c^{-3} \text{sr})$		
	${}^3\text{He}$	${}^4\text{He}$	${}^6\text{He}$
40.00	$2.36\text{e}+00 \pm 8.47\text{e}-01$		
41.00	$3.02\text{e}+00 \pm 9.98\text{e}-01$		
48.00	$2.18\text{e}+01 \pm 1.67\text{e}+00$		
50.00	$5.97\text{e}+01 \pm 2.17\text{e}+00$		
53.50	$3.70\text{e}+02 \pm 5.84\text{e}+00$		
60.00	$5.00\text{e}+03 \pm 2.36\text{e}+01$		
67.00	$1.28\text{e}+03 \pm 7.87\text{e}+00$	$2.07\text{e}+01 \pm 1.11\text{e}+00$	
68.50	$4.97\text{e}+02 \pm 5.06\text{e}+00$	$5.02\text{e}+01 \pm 1.76\text{e}+00$	
70.00	$2.01\text{e}+02 \pm 3.57\text{e}+00$	$9.68\text{e}+01 \pm 2.69\text{e}+00$	
93.50	$1.84\text{e}-01 \pm 1.14\text{e}-01$	$4.14\text{e}+01 \pm 1.48\text{e}+00$	
96.00		$5.89\text{e}+00 \pm 3.64\text{e}-01$	
100.50		$1.28\text{e}+00 \pm 7.22\text{e}-02$	$1.36\text{e}-01 \pm 2.54\text{e}-02$
108.50		$3.04\text{e}-02 \pm 1.04\text{e}-02$	$5.69\text{e}-01 \pm 6.37\text{e}-02$
110.50			$9.13\text{e}-01 \pm 1.11\text{e}-01$
120.50			$5.09\text{e}+01 \pm 1.01\text{e}+00$
124.50			$8.63\text{e}+01 \pm 8.55\text{e}-01$
140.50			$4.97\text{e}-01 \pm 3.17\text{e}-02$

Таблица 5. Ивариантные сечения в зависимости от лабораторного импульса для ядер ${}^7\text{Li}$, ${}^8\text{Li}$, ${}^9\text{Li}$, ${}^7\text{Be}$, ${}^9\text{Be}$, ${}^{10}\text{Be}$ (только статистические ошибки).

	$Ed^2\sigma/(p^2 dp d\Omega), \text{mb}/(\text{GeV}^2 c^{-3} \text{sr})$		
$P_{lab}, \text{GeV}/c$	${}^7\text{Li}$	${}^8\text{Li}$	${}^9\text{Li}$
140.25	$1.18\text{e}+03 \pm 7.19\text{e}+00$		
144.00	$1.16\text{e}+03 \pm 4.35\text{e}+00$		
150.75	$1.92\text{e}+02 \pm 8.02\text{e}-01$	$1.05\text{e}+01 \pm 1.95\text{e}-01$	
162.75	$6.05\text{e}-01 \pm 5.70\text{e}-02$	$1.06\text{e}+02 \pm 8.30\text{e}-01$	
165.75		$7.71\text{e}+01 \pm 8.70\text{e}-01$	
180.75		$1.04\text{e}-01 \pm 7.13\text{e}-02$	$7.16\text{e}+00 \pm 3.71\text{e}-01$
186.75			$1.75\text{e}+01 \pm 3.80\text{e}-01$
$P_{lab}, \text{GeV}/c$	${}^7\text{Be}$	${}^9\text{Be}$	${}^{10}\text{Be}$
134.00	$6.92\text{e}+01 \pm 1.86\text{e}+00$		
137.00	$5.01\text{e}+02 \pm 4.66\text{e}+00$		
140.00	$1.30\text{e}+03 \pm 7.74\text{e}+00$		
187.00		$3.58\text{e}+02 \pm 3.78\text{e}+00$	
192.00		$1.13\text{e}+01 \pm 4.48\text{e}-01$	$3.78\text{e}+00 \pm 2.82\text{e}-01$
201.00			$1.75\text{e}+02 \pm 8.29\text{e}-01$
217.00			$2.53\text{e}-01 \pm 4.09\text{e}-02$

Таблица 6. Ивариантные сечения в зависимости от лабораторного импульса для ядер ${}^8\text{B}$ и ${}^{10}\text{C}$ (только статистические ошибки).

	$Ed^2\sigma/(p^2 dp d\Omega), \text{mb}/(\text{GeV}^2 c^{-3} \text{sr})$	
$P_{lab}, \text{GeV}/c$	${}^8\text{B}$	${}^{10}\text{C}$
150.00	$1.69\text{e}+00 \pm 4.63\text{e}-01$	
167.50	$3.28\text{e}+01 \pm 1.13\text{e}+00$	
171.25	$3.72\text{e}+00 \pm 4.05\text{e}-01$	
175.00	$3.01\text{e}-01 \pm 2.47\text{e}-01$	
201.00		$1.86\text{e}+02 \pm 2.99\text{e}+00$
205.50		$1.56\text{e}+02 \pm 2.63\text{e}+00$
210.00		$1.46\text{e}+01 \pm 8.79\text{e}-01$

Список литературы

- [1] M.Yu. Bogolyubsky, A.Yu. Bordanovsky, A.A. Volkov, D.K. Elumakhov, V.P. Efremov, A.A. Ivanilov, A.Yu. Kalinin, A.N. Krinitsyn, V.I. Kryshkin, N.V. Kulagin, D.I. Patalakha, V.V. Skvortsov, V.V. Talov, L.K. Turchanovich, Phys. Atom. Nucl. **80**, no. 3, 455 (2017).
- [2] A.G. Afonin, M.Yu. Bogolyubsky, A.A. Volkov, D.K. Elumakhov, V.N. Zapolsky, A.A. Ivanilov, A.Yu. Kalinin, A.N. Krinitsyn, V.I. Kryshkin, N.V. Kulagin, D.I. Patalakha, K.A. Romanishin, V.V. Skvortsov, V.V. Talov, L.K. Turchanovich, Yu.A. Chesnokov, Phys. of Atom. Nucl. (2020) Vol. 83, №2, pp. 228-236.
DOI: 10.1134/S1063778820020015
- [3] A.G. Afonin, M.Yu. Bogolyubsky, A.A. Volkov, D.K. Elumakhov, V.N. Zapolsky, A.A. Ivanilov, A.Yu. Kalinin, A.N. Krinitsyn, V.I. Kryshkin, N.V. Kulagin, D.I. Patalakha, K.A. Romanishin, V.V. Skvortsov, V.V. Talov, L.K. Turchanovich, Yu.A. Chesnokov, Nucl. Phys. A 997 (2020) 121718.
DOI: 10.1016/j.nuclphysa.2020.1217180375
- [4] J. Benecke, T. T. Chou, C. N. Yang and E. Yen, Phys.Rev.188, 2159 (1969).
- [5] L. Anderson, W. Bruckner, E. Moller, S. Nagamiya, S. Nissen-Meyer, L. Schroeder, G. Shapiro and H. Steiner, Phys. Rev. C. **28**, 1224 (1983). doi:10.1103/PhysRevC.28.1224.
- [6] L. Anderson, W. Bruckner, E. Moller, S. Nagamiya, S. Nissen-Meyer, L. Schroeder, G. Shapiro and H. Steiner, Phys. Rev. C. **28**, 1246 (1983). doi:10.1103/PhysRevC.28.1246.
- [7] А.Г. Афонин, Н.А. Галяев, В.Н. Гресь, Ю.П. Давиденко, В.И. Дианов, А.Ц. Дышкант, В.Н. Запольский, В.И. Котов, В.П. Крючков, С.Н. Лапицкий, В.Н. Лебедев, А.В. Максимов, А.В. Минченко, А.Н. Мойбенко, В.С. Селезнев, Р.М. Суляев, В.Н. Терехов, М.А. Холоденко, С.А. Черный, Ю.А. Чесноков, Препринт ИФВЭ 90-38, Протвино, 1990.
- [8] V.V. Abramov, B.Yu. Baldin, A.F. Buzulutskov, A.A. Volkov, V.Yu. Glebov, P.I. Goncharov, A.N. Gurjiev, A.S. Dyshkant, V.N. Evdokimov, A.O. Efimov, Yu.P. Korneev, A.N. Krinitsyn, V.I. Kryshkin, M.I. Mutaftan, V.M. Podstavkov, A.I. Ronjin, R.M. Sulyaev, L.K. Turchanovich, Instrum. Exp. Tech. 35 (1992) 1006.
- [9] <http://geant4.cern.ch/support/ReleaseNotes4.10.2.html>
- [10] M.Yu. Bogolyubsky, Instrum. Exp. Tech. 57 (2014) 519.
DOI: 10.1134/S0020441214050030
- [11] M.Yu. Bogolyubsky, D.K. Elumakhov, A.I. Ivanilov, A.N. Krinitsyn, Instrum. Exp. Tech. 62, №6 (2019) 5. DOI: 10.1134/S0020441219050130

- [12] V.M. Golovin, I.A. Golutvin, S.N. Dolia, B.E. Zhilcov, A.V. Zarubin, V.V. Perelygin, V.S. Sviridov, V.V. Tikhomirov, V.I. Tsovbun, A.G. Fedunov, JINR Rapid Communication № 17-86, Dubna (1986) 13.
- [13] V.K. Lukyanov and A.I. Titov. Sov. J. Part. Nucl. 10 (1070) 321.
- [14] V. K. Bondarev, Phys. Part. Nucl. 28, (1997) 5.

Рукопись поступила 21 декабря 2020 г.

Препринт отпечатан с оригинала-макета, подготовленного авторами.

А.Г. Афонин и др.

A-зависимость образования в переднем направлении заряженных адронов и ядерных фрагментов в *CPb* и *CC*-взаимодействиях при энергии пучка 19.6 ГэВ/нуклон.

Оригинал-макет подготовлен с помощью системы **Л^AT_EX**.

Подписано к печати 22.12.2020. Формат 60 × 84/16. Цифровая печать.
Печ.л. 1,0. Уч.-изд.л. 1,34. Тираж 80. Заказ 12. Индекс 3649.

НИЦ «Курчатовский институт» – ИФВЭ
142281, Московская область, г. Протвино, пл. Науки, 1

www.ihep.ru; библиотека <http://web.ihep.su/library/pubs/all-w.htm>

Индекс 3649

П Р Е П Р И Н Т 2020–7,
НИЦ «Курчатовский институт» – ИФВЭ, 2020
