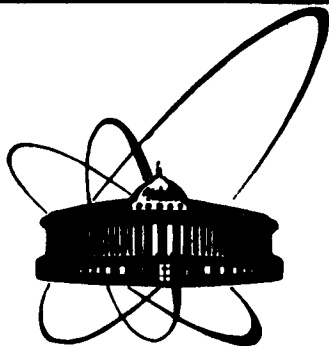


82-535



ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

5152/82

25/10-82
P1-82-535

НАБЛЮДЕНИЕ БАРИОНОВ
С БОЛЬШИМИ ПОПЕРЕЧНЫМИ ИМПУЛЬСАМИ
ВО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ ЯДЕР p , d , He И C
С ЯДРАМИ ТАНТАЛА
ПРИ ИМПУЛЬСЕ 4,2 ГэВ/с НА НУКЛОН

Направлено в журнал "Ядерная физика".

1982

Н.Ахабабян, Ц.Баатар, А.М.Балдин, Е.Бартке, Е.Богданович,
А.П.Гаспарян, В.Г.Гришин, И.А.Ивановская, Т.Канарек,
Е.Н.Кладницкая, М.Ковальски, Э.Кондор, Д.К.Копылова, В.Б.Любимов,
В.Ф.Никитина, Л.Симич, М.И.Соловьев, В.Д.Тонеев, А.П.Чеплаков
Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

Г.Н.Агакишиев, Р.Р.Мехтиев, М.К.Сулейманов
Институт физики АН Аз.ССР, Баку

Е.Балеа, О.Балеа, В.Болдеа, Т.Понта, С.Хакман
Центральный институт физики, Бухарест

Е.Биалковска
Варшавский университет

Н.С.Григалашвили
Тбилисский государственный университет

К.К.Гудима
Институт прикладной физики АН МССР, Кишинев

Л.Д.Диденко, Р.А.Кватадзе, В.М.Попова, А.Н.Соломин, Г.П.Тонеева,
Л.М.Щеглова
Научно-исследовательский институт ядерной физики МГУ, Москва

1. ВВЕДЕНИЕ

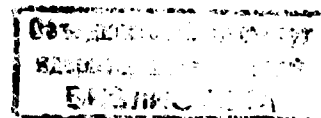
Изучение процессов с большой передачей импульса дает важную информацию о структуре ядерного вещества. В начале 70-х годов были начаты исследования кумулятивного рождения частиц в адрон-ядерных взаимодействиях^{/1/}. В области фрагментации ядра были наблюдаемы частицы с параметрами, выходящими далеко за кинематический предел для взаимодействия первичного адрона с покоящимся нуклоном, и установлены важные универсальные закономерности этого процесса^{/2/}. В лабораториях CERN^{/3/}, FNAL^{/4/} и ИВФЭ^{/5/} изучались характеристики вторичных адронов с большими поперечными импульсами /БПИ/, рожденных в адрон-ядерных взаимодействиях при высоких энергиях. Была обнаружена аномально сильная А-зависимость выхода таких адронов^{/2-6/}. Делаются попытки объяснить эти новые закономерности в ряде подходов, например, в модели когерентной трубки^{/7/}, в ядерной партонной модели флуктонов^{/8/}, перерассеянием партонов при прохождении через ядерную среду^{/9/}.

Целью данной работы являлось изучение процесса образования протонов с большими поперечными импульсами в ядро-ядерных столкновениях.

2. МЕТОДИКА

Экспериментальный материал был получен с помощью 2-метровой пропановой камеры ЛВЭ ОИЯИ, облученной в пучках легких релятивистских ядер p , d , ${}^4\text{He}$ и ${}^{12}\text{C}$ при импульсе на нуклон первичного ядра 4,2 ГэВ/с. Внутри камеры размещалась мишень из трех танталовых пластин толщиной 1 мм каждая. В этих пластинках и в прилегающих к ним слоях пропана / ~3 мм каждый / почти полностью поглощалась испарительная часть спектра продуктов расщепления ядра-мишени. Средний граничный импульс регистрации для протонов составлял ~250 МэВ/с^{/10/}. Статистика событий неупругого взаимодействия ядер p , d , ${}^4\text{He}$ и ${}^{12}\text{C}$ с ядром тантала была соответственно 769, 1362, 780 и 1177 событий.

Для анализа отбирались положительно заряженные частицы с квадратом поперечного импульса $p_{\perp}^2 \geq 0,5$ /ГэВ/с². Доля положительных пионов среди отобранных таким образом частиц, оцененная по π^- -мезонам, составляла не более 4%. При импульсе 4,2 ГэВ/с на нуклон первичного ядра фрагменты ядра-снаряда испускаются преимущественно в узкий угловой интервал, $\theta \leq 4^\circ$, относительно направления первичного ядра. Квадрат поперечного импульса этих



фрагментов не превышал $0,5 \text{ /ГэВ/с/}^2$. В нашем эксперименте возможна идентификация составных частиц типа d , t , ${}^3\text{He}$ по плотности ионизации. Уверенная идентификация вторичных дейтронов, например, возможна в интервале импульсов дейтронов $1,0-1,5 \text{ ГэВ/с}$. Доля частиц, вызывающих повышенную ионизацию, по отношению ко всем положительно заряженным частицам в этом интервале импульсов составила $\sim 9\%$. Поэтому, если в первом приближении пренебречь вкладом π^+ -мезонов и составных частиц, то адроны с БПИ можно считать протонами.

Для учета потерь частиц, вылетающих под углом $\sim 90^\circ$ к направлению пучка и поглощающихся в танталовых пластинах, а также частиц, вылетающих под большим углом к плоскости фотографирования, были введены поправки, зависящие от угла вылета протона, которые не превышали 7% . С учетом этих поправок количество протонов, подвергшихся дальнейшему анализу, для случаев взаимодействия ядра тантала с первичными ядрами p, d, He и C равнялось $247, 741, 933$ и 2322 соответственно.

3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

На рис.1 представлены сечения выхода протонов, образованных в $d\text{Ta}$ - и CTa -взаимодействиях, в зависимости от квадрата поперечного импульса протона. Стрелкой на рис.1 указан кинематический предел для нуклон-нуклонных (NN) столкновений. Видно, что наблюдаются протоны с БПИ, превышающими этот предел. Экспериментальные данные для d, He и C/Ta -взаимодействий аппроксимировались зависимостью вида $Ae^{-ap_1^2} + Be^{-bp_1^2}$. На рис.1 сплошными линиями показаны результаты аппроксимации для $(d, \text{C})\text{Ta}$ -взаимодействий. Для $p\text{Ta}$ -столкновений, ввиду малой статистики, экспериментальные точки аппроксимировались одной экспонентой. Параметры наклона экспонент для всех облучений при импульсе ядра-снаряда $4,2 \text{ ГэВ/с}$ на нуклон представлены в табл.1.

Таблица 1

Значения параметров наклона при аппроксимации сечений выхода протонов зависимостью $Ae^{-ap_1^2} + Be^{-bp_1^2}$ для взаимодействий первичных ядер p, d, He и C с ядрами тантала при импульсе $p_0 = 4,2 \text{ ГэВ/с}$ на нуклон

A_p	p	d	He	C
a	$3,2 \pm 0,6$	$3,4 \pm 0,5$	$3,2 \pm 0,4$	$2,6 \pm 0,3$
b	$-$	$0,9 \pm 0,5$	$0,4 \pm 0,3$	$1,0 \pm 0,5$
χ^2/ν	$0,59$	$0,73$	$1,16$	$1,15$

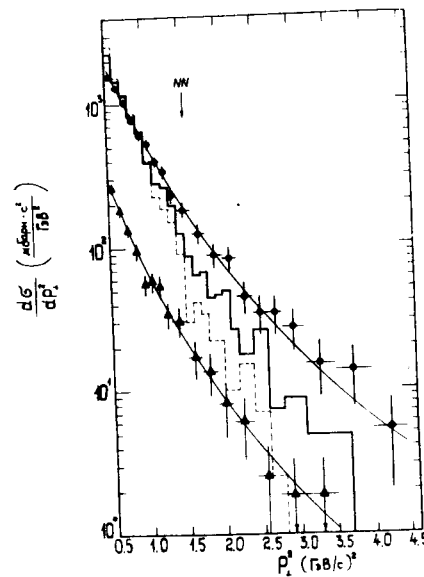
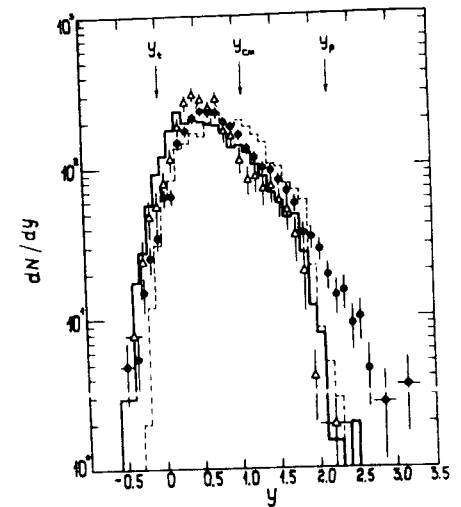


Рис.1. Сечения выхода протонов в столкновениях $d\text{Ta}$ (Δ) и CTa (\bullet) в зависимости от квадрата поперечного импульса. Сплошной линией показана аппроксимация экспериментальных данных суммой двух экспонент. Гистограммы-предсказания каскадной модели для CTa -взаимодействий /см. текст/.

Рис.2. Распределение протонов с большими поперечными импульсами по быстрой во взаимодействиях $d\text{Ta}$ (Δ) и CTa (\bullet). Гистограммы-предсказания каскадной модели для CTa -соударений.



Из табл.1 видно, что параметры наклона первой экспоненты для всех налетающих ядер в пределах ошибок совпадают.

Хотя ошибки в определении параметров наклона второй экспоненты велики, анализ, проведенный методом Монте-Карло, показал, что небольшое увеличение ошибок в определении p_1^2 с ростом поперечного импульса, не приводит к появлению второй экспоненты, а только уменьшает параметр наклона первой экспоненты приблизительно на 10% . Аппроксимация спектров по квадрату поперечного импульса для протонов из $(d, \text{He}, \text{C})\text{Ta}$ -взаимодействий одной экспонентой дает большие значения χ^2/ν .

На рис.2 приведено распределение протонов с БПИ по быстрой в лабораторной системе для $d\text{Ta}$ - и CTa -взаимодействий. Видно, что протоны с БПИ преимущественно находятся в центральной области быстрой. Распределения для $d\text{Ta}$ - и CTa -столкновений заметно отличаются в области фрагментации налетающего ядра. Средние вели-

Таблица 2

Средние значения быстрот протонов с БПИ в интервалах $p_{\perp}^2 = /0,5 \div 1,0 / \text{ГэВ}/c^2$ и $p_{\perp}^2 \geq 1,0 \text{ ГэВ}/c^2$ для взаимодействий первичных ядер p, d, He и C с ядрами тантала

p_{\perp}^2 /ГэВ/с/²	A_p	p	d	He	C
0,5 ÷ 1,0		0,68±0,04	0,65±0,02	0,79±0,02	0,87±0,01
≥ 1,0		0,74±0,05	0,73±0,03	0,77±0,03	0,88±0,01

Таблица 3

Значения параметра α при аппроксимации A-зависимости сечений выхода протонов с $p_{\perp}^2 = /0,5 \div 1,0 / \text{ГэВ}/c^2$ и $p_{\perp}^2 \geq 1,0 \text{ ГэВ}/c^2$ степенной зависимостью вида $\frac{d\sigma}{dp_{\perp}^2} = cA_p^{\alpha}$

$p_{\perp}^2/\text{ГэВ}/c^2$	0,5 ÷ 1,0	1,0
α	1,07±0,02	1,17±0,03

чины быстрот протонов с БПИ для взаимодействий налетающих ядер с Та приведены в табл. 2 для двух интервалов по p_{\perp}^2 : $0,5 \leq p_{\perp}^2 < 1,0 \text{ ГэВ}/c^2$ и $p_{\perp}^2 \geq 1,0 \text{ ГэВ}/c^2$. Наблюдается увеличение среднего значения скорости с ростом атомного номера ядра-снаряда.

На рис. 3 приведена A-зависимость сечения выхода протонов с квадратом поперечного импульса в интервалах $/0,5 \div 1,0 / \text{ГэВ}/c^2$ и $p_{\perp}^2 \geq 1,0 \text{ ГэВ}/c^2$. Линии соответствуют аппроксимации экспериментальных точек степенной зависимостью $\frac{d\sigma}{dp_{\perp}^2} = cA_p^{\alpha}$. Величины параметра α приведены в табл. 3. Аппроксимация проводилась с фиксацией первой точки. Из табл. 3 видно, что значения параметра α превышают единицу и с увеличением квадрата поперечного импульса A-зависимость становится несколько круче.

На рис. 4 приведены средние множественности положительно заряженных частиц, π^- -мезонов и протонов с $p_{\perp}^2 \geq 0,5 \text{ ГэВ}/c^2$ в зависимости от величины максимального квадрата поперечного импульса протона в событии для СТа-столкновений. Из этого рисунка видно, что события с образованием протона с БПИ характеризуются большой множественностью заряженных частиц. Начиная с $p_{\perp}^2_{\max} \approx 1,5 \text{ ГэВ}/c^2$ средние множественности заряженных частиц практически не зависят от величины $p_{\perp}^2_{\max}$.

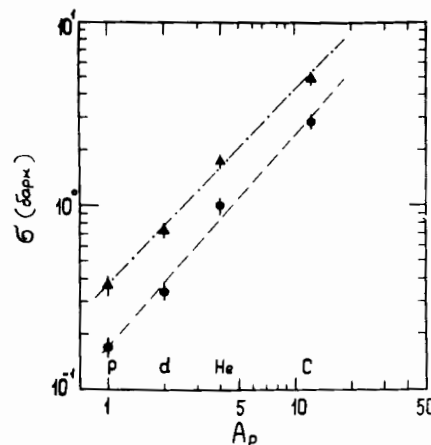


Рис. 4. Зависимость средних множественностей положительно заряженных частиц — ■, π^- -мезонов — ● и протонов с $p_{\perp}^2 \geq 0,5 \text{ ГэВ}/c^2$ — ▲ от величины максимального квадрата поперечного импульса протона в каждом событии СТа-столкновений. Гистограмма — предсказания каскадной модели с учетом слипания нуклонов.

В табл. 4 приведены средние значения и дисперсии распределений по множественности положительно заряженных частиц, π^- -мезонов и протонов с $p_{\perp}^2 \geq 0,5 \text{ ГэВ}/c^2$ для всех неупругих СТа-взаимодействий и для событий с $p_{\perp}^2 \geq 1,5 \text{ ГэВ}/c^2$. Наблюдаемую ширину распределений по множественности заряженных частиц можно объяснить флуктуациями числа взаимодействующих нуклонов ядра-снаряда ^{11/}. Из табл. 4 видно, что для событий с $p_{\perp}^2 \geq 1,5 \text{ ГэВ}/c^2$ величина отношения $D^2/\langle n \rangle$ уменьшается, т.е. флуктуаций в числе взаимодействующих нуклонов становятся меньше. На рис. 5 представлено распределение по множественности заряженных частиц для всех неупругих СТа-столкновений. Видно, что среди неупругих СТа-взаимодействий существенную долю составляют много-нуклонные взаимодействия, приводящие к большей множественности вторичных частиц.

4. СРАВНЕНИЕ С ТЕОРИЕЙ

С целью теоретической интерпретации полученных результатов было проведено сравнение экспериментальных данных с предсказаниями дубненской версии каскадной модели /модель ДКМ/ ^{12/}. Расчеты были проведены в 2-вариантах. В первом варианте расчета

Рис. 3. A-зависимость сечения выхода протонов с $p_{\perp}^2 /0,5-1,0 / \text{ГэВ}/c^2$ — ▲ и с $p_{\perp}^2 \geq 1,0 \text{ ГэВ}/c^2$ — ●. Прямые линии — аппроксимация степенной зависимостью $\frac{d\sigma}{dp_{\perp}^2} = cA_p^{\alpha}$.

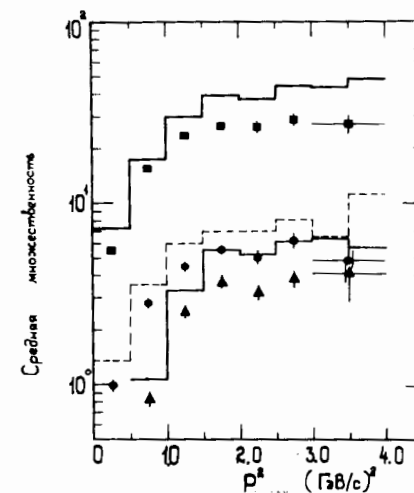


Таблица 4

Средние значения и дисперсии распределений по множественности положительно заряженных частиц, π^- -мезонов и протонов с $p_{\perp}^2 \geq 0,5$ /ГэВ/с/2 для всех неупругих СТа-взаимодействий и для событий с $p_{\perp}^2 \geq 1,5$ /ГэВ/с/2.

	Все положительные частицы *	π^- -мезоны	Протоны $p_{\perp}^2 \geq 0,5$ /ГэВ/с
$\langle n \rangle$ Все неупругие взаимодействия	17,8 \pm 0,4	3,4 \pm 0,2	2,5 \pm 0,2
D^2	184 \pm 8	10,7 \pm 0,5	7,9 \pm 0,3
$\langle n \rangle$ События с протонами с $p_{\perp}^2 \geq 1,5$ /ГэВ/с/2	140 \pm 11	5,8 \pm 0,2	4,1 \pm 0,2
D^2	28,2 \pm 0,6	10,4 \pm 0,8	8,0 \pm 0,8

* Данные по просмотру.

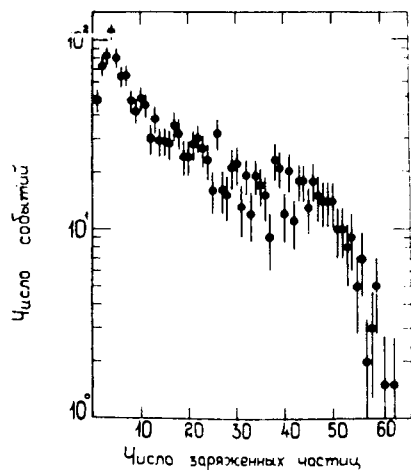


Рис.5. Распределение по множественности заряженных частиц в неупругих СТа-соударениях.

вторичные частицы, испущенные в результате каскадирования нуклонов первичного ядра, не испытывали взаимодействия в конечном состоянии. Во втором — любые два или более нуклонов в событии с импульсами, различающимися на величину, меньшую, чем параметр P_0 , считались составными частицами (d, t, ^3He). Параметр P_0 , радиус импульсной сферы для слипания, оценивался из спектров вторичных

частиц в (Ne+U)-столкновениях^{/13/} при энергиях на нуклон ядра-снаряда 0,4 ÷ 2,1 ГэВ и был выбран равным 90 МэВ/с. Такой подход аналогичен учету взаимодействия в конечном состоянии в модели коалесценции^{/13/}. Учет коалесценции нуклонов был обусловлен экспериментальным наблюдением на нашем материале составных частиц, о которых говорилось в §2.

На рис.1 приведены результаты обоих вариантов расчета распределений по квадрату поперечного импульса для протонов из СТа-взаимодействий. В соответствии с экспериментальными условиями все составные частицы, полученные во втором варианте расчета, считались протонами. Видно, что расчет без учета слипания /пунктир/ не описывает область больших передач импульсов. Учет слипания /сплошная гистограмма/ улучшает описание экспериментальных данных.

На рис.2 также в виде гистограмм представлены оба варианта расчета распределения по быстротам протонов с $p_{\perp}^2 \geq 0,5$ /ГэВ/с/2 в СТа-столкновениях, а на рис.4 — результаты расчета корреляционной зависимости средней множественности частиц от $p_{\perp}^2_{\text{max}}$ с учетом слипания. Из рис.2 видно, что согласие предсказаний ДКМ с экспериментом нельзя считать удовлетворительным, особенно в области быстроту > 2. Каскадная модель качественно правильно воспроизводит корреляционную зависимость множественности от $p_{\perp}^2_{\text{max}}$, но при этом существенно завышает среднюю множественность частиц /см. рис.4/.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Во взаимодействиях релятивистских ядер p, d, ^4He , ^{12}C с ядрами тантала наблюдаются барионы с большими поперечными импульсами, превышающими кинематический предел для NN-столкновений. Зарегистрированы составные частицы (d, t, ^3He) с поперечными импульсами $p_{\perp} > 0,7$ ГэВ/с. Распределение барионов с $p_{\perp}^2 > 0,5$ /ГэВ/с/2 по квадрату поперечного импульса описывается двумя экспонентами с изломом в области 1,5 /ГэВ/с/2. Протоны с поперечными импульсами $p_{\perp} > 0,7$ ГэВ/с находятся преимущественно в центральной области быстрот. Показатель степени A-зависимости выхода таких протонов несколько превышает единицу. События, содержащие протоны с поперечными импульсами $p_{\perp} > 1$ ГэВ/с, характеризуются большой множественностью заряженных частиц.

Каскадная модель без учета взаимодействия в конечном состоянии предсказывает значительно меньший выход барионов с БПИ. Учет коалесценции нуклонов заметно улучшает согласие с экспериментом, однако и в этом случае не удается достигнуть количественного описания экспериментальных данных. Представляет интерес сопоставить полученную совокупность данных с предсказаниями других моделей и продолжить исследование корреляционных харак-

теристик в 'событиях с испусканием барионов с большими поперечными импульсами.

Авторы выражают благодарность участникам сотрудничества по исследованиям на 2-метровой пропановой камере за помощь в обработке экспериментального материала и полезные обсуждения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Балдин А.М. и др. ОИЯИ, P1-5819, Дубна, 1971.
2. Baldin A.M. Prog. in Part. and Nucl. Phys., 1980, 4, p.95; Ставинский В.С. ЭЧАЯ, 1979, 10, 5, с. 949.
3. Banner M. et al. Phys.Lett., 1973, 44B, p. 537; Büsser F.W. et al. ibid, 1973, 46B, p. 471; Alper B. et al., ibid, 1973, 44B, p. 521; 1973, 44B, p. 527.
4. Cronin L.W. et al. Phys.Rev., 1975, D11, p. 3105; Cronin J.W. et al. Phys.Rev.Lett., 1973, 31, p. 1426; Carey D.C. et al. ibid, 1974, 32, p. 24; Appel J.A. et al. ibid, 1974, 33, p. 719; Donaldson G. et al. ibid, 1976, 36, p. 1110; Bromberg C. et al., Phys.Rev.Lett, 1979, 42, p. 1202.
5. Акименко С.А. и др. ЯФ, 1977, 26, с. 571; Абрамов В.В. и др. ЯФ, 1980, 31, с. 660.
6. Becker V. et al. Phys.Rev.Lett., 1976, 37, p. 1731; Kluber G. et al., ibid, 1977, 38, p. 670; Garbutt D.A. et al. Phys.Lett., 1977, 67B, p. 355; Antreasyan D. et al. Phys.Rev.. 1979. B19. p. 764.
7. Berlad G. et al. Phys.Rev., 1976, D13, p. 161; Fredriksson S. Nucl.Phys., 1976, B111, p. 167.
8. Ефремов А.В. ЯФ, 1976, 24, с. 633; Wakamatsu M. Ins.-rep.-384, Tokyo, Japan, 1980.
9. Kühn J.H. Phys.Rev., 1976, D13, p. 2498; Ellis E. et al. Nucl.Phys., 1976, B108, p. 93; Pumplín J., Yen E. Phys. Rev., 1975, D11, p. 1812; Farrar G.R. Phys.Lett., 1975, 56B, p. 185; Fishbane P.M., Trefil J.S. Phys.Rev., 1975, D12, p. 2113; Krzywicki A. et al. Phys.Lett., 1979, 85B, p. 407; Змушко В.В. ЯФ, 1980, 32, с.246.
10. Ангелов Н.и др. ОИЯИ, P1-80-168, Дубна, 1980; ЯФ, 1980, 32, с. 1582.
11. Ангелов Н. и др. ОИЯИ, P1-80-473, Дубна, 1980; ЯФ, 1981, 33, с. 1046.
12. Гудима К.К., Тонеев В.Д. ОИЯИ, P2-10431, Дубна, 1977; ЯФ, 1978, 27, с. 658.
13. Sandoval A. et al. Phys.Rev., 1980, C21, p. 1321.
14. Gutbrod H.H. et al. Phys.Rev.Lett., 1976, 37, p. 667; Gosset J. et al. Phys.Rev., 1977, C16, p. 629; Lemaire H.C. Phys.Lett., 1979, 85B, p. 38.

Рукопись поступила в издательский отдел
8 июля 1982 года.

Агакишиев Г.Н. и др.

P1-82-535

Наблюдение барионов с большими поперечными импульсами во взаимодействиях ядер p, d, He и C с ядрами тантала при импульсе 4,2 ГэВ/с на нуклон

Во взаимодействиях релятивистских ядер p, d, He и C с ядром тантала наблюдаются барионы с большими поперечными импульсами, превышающими кинематический предел для NN -столкновений. Проведено сравнение экспериментальных результатов с предсказаниями каскадной модели относительно выхода барионов с большими P_{\perp} . Эти предсказания не согласуются с экспериментальными данными. Учет коалесценции нуклонов улучшает согласие с экспериментом, однако и в этом случае не удается достигнуть удовлетворительного описания данных.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1982

Agakishiev G.N. et al.

P1-82-535

Observation of Baryons with High Transverse Momenta in p, d, He and C Nuclear Interactions with Tantalum Nuclei at 4.2 GeV/c Per Nucleon

The production of baryons with high transverse momenta beyond the kinematical limit for nucleon-nucleon collisions has been observed in interactions of relativistic nuclei p, d, He, C with tantalum nuclei. The experimental results are compared with the cascade model predictions of high p_{\perp} baryon yields. These predictions contradict the experimental data. Taking into account the coalescence of nucleons improves the agreement with experiment, but in this case a satisfactory description of the data cannot be achieved either.

The investigation has been performed at the Laboratory of High Energies, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1982

Перевод О.С.Виноградовой.