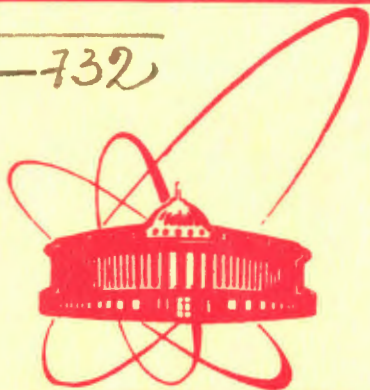


Б-732



ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

2377/2-81

18/5-81

1-81-106

В.И.Богатин, Е.А.Ганза, О.В.Ложкин, Ю.А.Мурин,
В.А.Никитин, В.С.Оплавин

А-ЗАВИСИМОСТЬ СЕЧЕНИЯ
ОБРАЗОВАНИЯ ИЗОТОПОВ $^{3,4,6}\text{He}$ И $^{6,7}\text{Li}$
С БОЛЬШИМИ ПОПЕРЕЧНЫМИ ИМПУЛЬСАМИ
ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ
РЕЛЯТИВИСТСКИХ ПРОТОНОВ С ЯДРАМИ

Направлено в ЯФ

1981

1. ВВЕДЕНИЕ

Процессы с большой передачей импульса вторичным продуктам глубоконеупругих релятивистских адрон-ядерных взаимодействий всегда вызывали значительный интерес. В последние годы в связи с интенсивным экспериментальным исследованием ядерных реакций при высоких энергиях появился ряд новых теоретических представлений о механизме реакций с большой передачей импульса^{1/}. Так, образование кумулятивных частиц^{2,3/} связывается с проявлением кварковой фазы ядерного вещества. В этом случае данные реакции могли бы служить хорошим способом изучения многокварковых конфигураций в атомных ядрах. Альтернативные физические представления, привлекаемые для интерпретации результатов экспериментов по образованию частиц в области, запрещенной кинематикой столкновения свободных нуклонов, связываются с поведением волновой функции ядра-мишени при импульсах нуклонов больше $0,2 \text{ ГэВ/с}^{4/}$. Другие подходы постулируют возможность образования тяжелых внутриядерных фэйрболлов^{5/}. Стремление создать непротиворечивую картину указанных явлений требует получения качественно новой информации, детализации уже существующих данных.

В этой работе представлены экспериментальные данные по образованию изотопов He и Li с большими поперечными импульсами (p_{\perp}), возникающих при взаимодействии протонов с энергией $6,6 \text{ ГэВ}$ с ядрами Be , C , Cu , $^{112,124}\text{Sn}$ и Au . Инклюзивное сечение фрагментации меди сравнивается с результатами аналогичных опытов при существенно больших энергиях^{6/}. Анализируется зависимость измеренных сечений от массовых чисел ядра-мишени (A) и регистрируемого фрагмента (A_f).

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Эксперимент выполнен на внутреннем пучке протонов с энергией $6,6 \text{ ГэВ}$ синхрофазотрона ЛВЭ ОИЯИ. В качестве мишеней в нем используются тонкие пленки $1-13 \text{ мкм}$ Be , C , Cu , $^{112,124}\text{Sn}$ и Au , расположенные внутри одного из прямолинейных участков камеры ускорителя. Вторичные ядра регистрируются телескопом из кремниевых $\Delta E-E$ детекторов, находящихся на расстоянии $1,5 \text{ м}$ от мишени под углом 90° к направлению пучка. Телескоп собран из пяти Si(P) -детекторов. Его суммарная тол-

щина, определенная по верхней границе энергетического спектра ядер ${}^3\text{He}$, остановившихся в телескопе, составляет 3 см. Это определяет верхнюю границу регистрации α -частиц $p_{\perp} = 1,2$ ГэВ/с. Подробное описание установки дано в работе ^{7/}.

Абсолютное мониторирование потока протонов, прошедших через мишень, достигается одновременной регистрацией продуктов фрагментации ядер-мишеней и актов упругого $p\alpha$ -рассеяния в дополнительной мишени из дейтерированного полиэтилена. Для этой цели используются двухслойные мишени, состоящие из тонкой /1-3 мкм/ пленки дейтерированного полиэтилена и пленки исследуемого вещества. Ошибка в значениях полученных таким образом сечений не превосходит 10% для ядер углерода, 15% в опытах с медью и золотом и достигает 20% при работе с разделенными изотопами олова ^{8/}.

Абсолютная нормировка сечения образования изотопов He в реакции $p/6,6$ ГэВ/ + Ве выполнена по известному значению сечения образования α -частиц в реакции $p/0,66$ ГэВ/ + Ве ^{9/}. В настоящем эксперименте использовалась только однослойная бериллиевая мишень.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Проведенные измерения позволили получить дифференциальное сечение образования изотопов ${}^{3,4,6}\text{He}$ и ${}^{6,7}\text{Li}$ в диапазоне импульсов $p = 0,2-1,2$ ГэВ/с при взаимодействии протонов 6,6 ГэВ с ядрами С, Cu, ${}^{112,124}\text{Sn}$ и Au, а также сечения образования ${}^{3,4}\text{He}$ из Ве. В качестве примера рассмотрим данные исследования реакции $p + \text{Cu} = f + \dots$. На рис. 1 и 2 приведена функция

$$\rho = \frac{1}{\sigma_{\text{in}} n A} E_f \frac{d^3 \sigma}{dp^3}(p_{\perp}),$$

$\sigma_{\text{in}}^{\text{pA}}$ - полное неупругое сечение pA -реакции, E_f - полная энергия фрагмента/. Выбор в качестве аргумента p_{\perp} , а не кинетической энергии фрагмента обуславливается тем, что только в этом представлении структурная функция принимает наиболее простой экспоненциальный вид в большом интервале изменения p_{\perp} . На рисунках показаны аналогичные данные работ ^{6/}, выполненных при энергии протонов 400 ГэВ. На рисунках отмечены только статистические ошибки. Систематическая ошибка измерений ^{6/} - 20%.

Представленные данные указывают на постоянство структурной функции в интервале кинетической энергии первичных протонов $E_0 = 6,6 - 400$ ГэВ. Такое поведение структурной функции соответствует гипотезе ядерного скейлинга ^{11/}.

Примечательная особенность процесса испускания высокоэнергетических легких фрагментов в релятивистских pA -реакциях - необычайно сильная зависимость сечения их образования от мас-

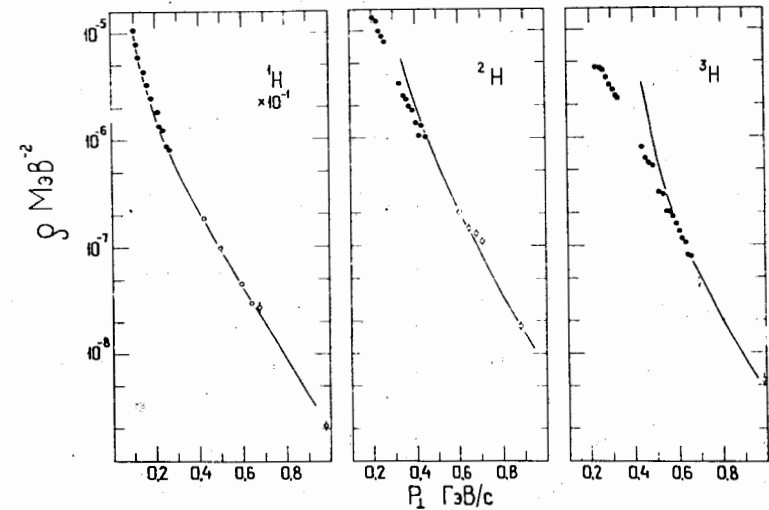


Рис. 1. Структурная функция $\rho = \frac{E}{\sigma_{\text{in}}^{\text{pA}}} \frac{d^3 \sigma}{dp^3}(p_{\perp})$ реакции $p + \text{Cu} = f + \dots$ при $\theta_{\text{LAB}} = 90^\circ$ для изотопов водорода, $\bullet - E_0 = 6,6$ ГэВ / настоящая работа/, $\circ - E_0 = 400$ ГэВ ^{6/}.

совых чисел ядра-мишени и фрагмента. Рис. 3 показывает эту зависимость для изотопов ${}^{3,4,6}\text{He}$, ${}^{6,7}\text{Li}$ и ${}^7\text{Be}$ по данным наших экспериментов и работ ^{9,13/}. Значения сечений $\frac{d\sigma}{d\Omega}$ получены численным интегрированием неинвариантных сечений в интервале энергий фрагментов $\Delta E_f = 10$ МэВ. Приведенные данные отвечают примерно одинаковому среднему поперечному импульсу $\bar{p}_{\perp} = \frac{p_{\perp}}{A_f}$, переходящему на один нуклон регистрируемого фрагмента. Значение $\bar{p}_{\perp} = 140$ МэВ/с превышает характерный средний ферми-импульс \bar{p}_{\perp} для нуклонов ядра-мишени. Экспериментальные данные допускают простую аппроксимацию $\frac{d\sigma}{d\Omega} \sim A^{N(p_{\perp})}$. Результаты такой аппроксимации демонстрируются на рис. 4, где приведена функция $N(p_{\perp})$ для изотопов лития, гелия и водорода. В последнем случае используются данные работы ^{6/}.

Можно сделать следующие выводы:

1. Наблюдается сильная A -зависимость сечений образования легких ядер в области $p_{\perp} > \bar{p}_F$, $N > 1$ для всех рассматриваемых фрагментов с $A_f = 1-7$.
2. Хотя в целом N возрастает с увеличением A_f , очевиден нерегулярный рост N по мере увеличения барионного числа фрагмента: $N({}^3\text{He}) < N({}^3\text{H})$, $N({}^6\text{He}) > N({}^6\text{Li})$.

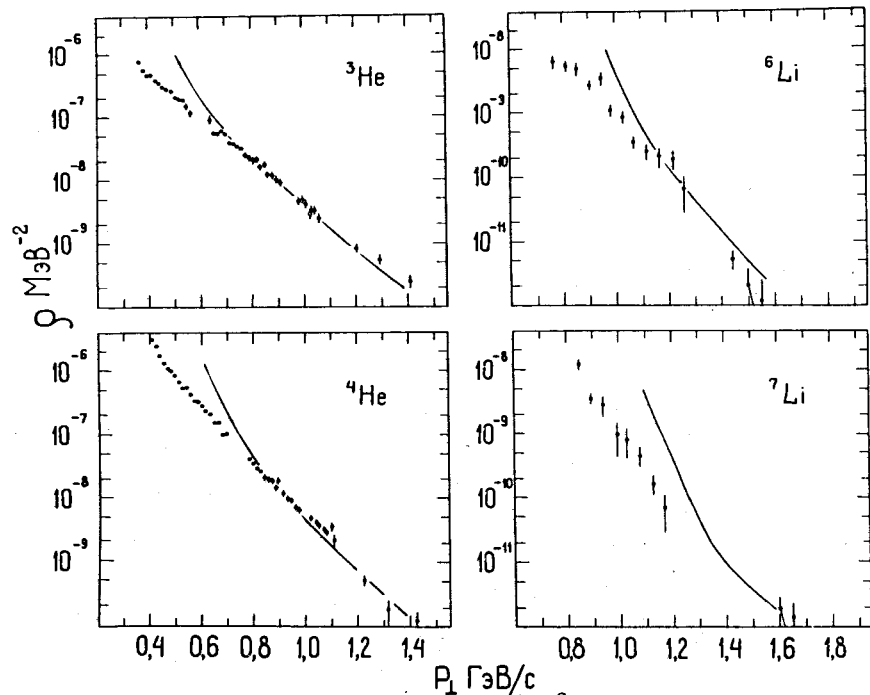


Рис.2. Структурная функция $\rho = \frac{E}{\sigma_{pA}} \frac{d^3\sigma}{dp^3}(p_1)$ реакции

$p + \text{Cu} = f + \dots$ при $\theta_{\text{лаб.}} = 90^\circ$ для изотопов гелия и лития, \bullet - $E_0 = 6,6$ ГэВ, \circ - $E_0 = 400$ ГэВ^{16/}.

3. Зависимость сечений образования фрагментов от массового числа ядра-мишени усиливается по мере возрастания p_1 .

4. Существует "тонкая" структура A -зависимости, выражающаяся в уменьшении сечения образования легких ядер/за исключением изотопа ${}^6\text{He}$ / при переходе от ${}^{112}\text{Sn}$ к ${}^{124}\text{Sn}$ / "изотопный эффект"/.

Традиционная и широко используемая в ядерной физике интерпретация механизма образования быстрых легких фрагментов в релятивистских pA -реакциях сводится к утверждению о слипании отдельных каскадных нуклонов, имеющих малые относительные импульсы, в поле ядра-мишени^{14/}. Принципиально важный результат этой работы - представление дифференциального сечения образования дейтронов как квадрата однонуклонного /протонного/ инклюзивного сечения $E_p \frac{d^3\sigma}{dp^3}$. Его обобщение на случай образования более сложного ядра с A_f дает

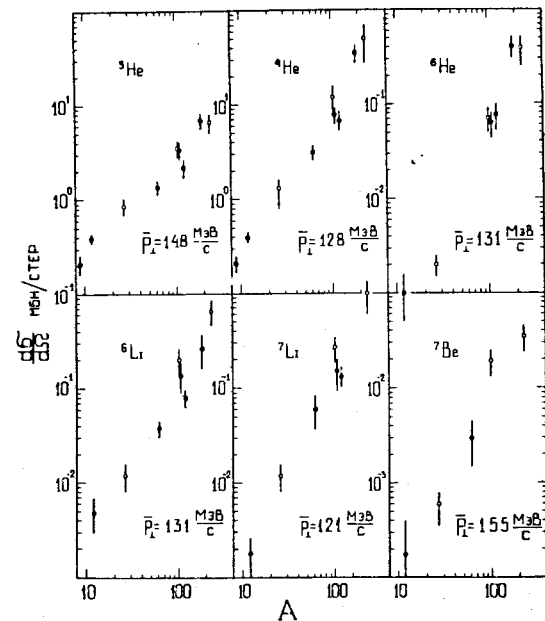


Рис.3. Зависимость сечений реакций $p + A = {}^{3,4,6}\text{He}$, ${}^{6,7}\text{Li}$, ${}^7\text{Be} + \dots$ при $\theta_{\text{лаб.}} = 90^\circ$ от массового числа ядра-мишени. $p_1 = p_{\perp} / A_f$ - импульс, приходящийся на один нуклон фрагмента. \bullet - настоящая работа, \circ - по данным работ^{10-13/}.

$$E_f \frac{d^3\sigma}{dp^3}(p) \sim \left(\frac{1}{p^2}\right)^{A_f} \left[\frac{E_p d^3\sigma}{dp^3} \left(\frac{p}{A_f}\right) \right]^{A_f}, \quad /1/$$

где p - импульс фрагмента.

Авторы^{4/} с успехом использовали зависимость типа /1/ для объяснения формы энергетических спектров ядер дейтерия и трития, образующихся в направлении назад при взаимодействии релятивистских протонов с ядрами свинца. Анализ наших данных по дифференциальным сечениям образования изотопов ${}^{3,4}\text{He}$ совместно с данными^{16/} указывает на отсутствие фактора $(p^2)^{-A_f}$ в формуле /1/. Напротив, эти данные успешно описываются феноменологической моделью слипания^{15,16,17/}

$$E_f \frac{d^3\sigma}{dp^3}(p) = \frac{1}{A_f^2 n_f! z_f! z} \left(\frac{n}{z}\right)^{n_f} \left(\frac{4\pi p_0^3}{3\sigma_{pA} m}\right)^{A_f-1} \left[\frac{E_p d^3\sigma}{dp^3} \left(\frac{p}{A_f}\right) \right]^{A_f}, \quad /2/$$

где n_f, z_f - число нейтронов и протонов, составляющих фрагмент, $A_f = n_f + n_p, n, z$ - число нейтронов и протонов в ядре-мишени, m -

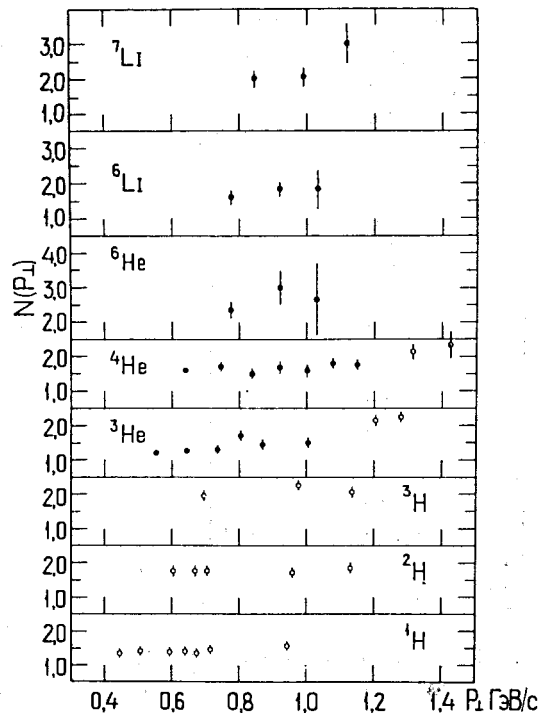


Рис.4. Зависимость показателя степени $N(\frac{d\sigma}{d\Omega} \sim A^{N(p_{\perp})})$ от поперечного импульса p_{\perp} , фрагмента \bullet - настоящая работа, \circ - по данным работ /6/.

масса нуклона, p_0 - свободный параметр модели. На рис. 1 и 2 непрерывными линиями показана функция /2/ при $p_0 \approx 190$ МэВ/с для всех рассматриваемых фрагментов. Модель удовлетворительно описывает наблюдаемое распределение p при достаточно больших p_{\perp} .

Значение $p_0=190$ МэВ/с для случая рА-взаимодействия /настоящая работа/

близко к значению $p_0=200$ МэВ/с, которое найдено в /17/ для случая АА-взаимодействия. Это интересное наблюдение указывает на сходство механизмов фрагментации в реакциях рА и АА. Однако этот вопрос требует дальнейшего экспериментального и теоретического исследования.

Авторы благодарны профессорам А.М.Балдину, Г.А.Лексину, Н.А.Перфилову за дискуссии, в значительной мере стимулирующие эти исследования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Балдин А.М. ЭЧАЯ, 1977, 8, с. 429.
2. Balдин А.М. JINR-E1-80-174, Dubna, 1980.
3. Ставинский В.С. ЭЧАЯ, 1979, 10, с. 949.
4. Стрикман М.И., Франкфурт-Л.Л. ЭЧАЯ, 1980, 11, с. 577.
5. Bogatskaya et al. Phys.Rev., 1980, C22, p. 209.
6. Bayukov V.D. et al. Phys.Rev., 1979, C20, p. 764; Frankel S. et al. Phys.Rev., 1979, C20, p. 2257.
7. Оплавин В.С. и др. РИ-99, Л., Радиевый институт им. В.Г.Хлопина, 1979.
8. Мурин Ю.А. и др. РИ-135, Л., Радиевый ин-т им. В.Г.Хлопина, 1980.

9. Авдейчиков В.В., Богатин В.И., Ложкин О.В. ЯФ, 1977, 25, с. 3.
10. Безногих Г.Г. и др. ЯФ, 1978, 27, с. 1246.
11. Leksin G.A. Preprint ITP-147, 1976.
12. Hyde E.K., Butler G.W., Poskanzer A.M. Phys.Rev., 1971, C4, p. 1959; Poskanzer A.M., Butler G.W., Hyde E.K. Phys.Rev., 1971, C3, p. 882.
13. Westfall G.D. et al. Phys.Rev., 1978, C18, p. 1368.
14. Butler S.T., Pearson C.A. Phys.Rev., 1963, 129, p. 836.
15. Schwarzschild A., Zupancic C. Phys.Rev., 1963, 129, p. 854.
16. Gosset T., Gutbrod H.H. et al. Phys.Rev., 1977, 16, p.629.
17. Lemaire M.-C., Nagamia S. et al. Phys.Lett., 1979, 85B, p. 38.

Рукопись поступила в издательский отдел
11 февраля 1981 года.