

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

ДУБНА



8858

ЭКЗ. ЧИТ. ЗАЛА
1 0050

А.М.Балдин, В.К.Бондарев, В.Н.Зубарев,
А.Н.Манятовский, Н.С.Мороз, А.А.Повторейко,
Ю.А.Панебратцев, С.В.Рихвицкий, В.С.Ставинский,
А.Н.Хренов

ЗАКОНОМЕРНОСТИ
МАСШТАБНО-ИНВАРИАНТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЯДЕР

1975

А.М.Балдин, В.К.Бондарев,^{*} В.Н.Зубарев,
А.Н.Манятовский, Н.С.Мороз, А.А.Повторейко,
Ю.А.Панебратцев, С.В.Рихвицкий, В.С.Ставинский,
А.Н.Хренов

**ЗАКОНОМЕРНОСТИ
МАСШТАБНО-ИНВАРИАНТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЯДЕР**

Направлено на IV Международный семинар по проблемам
физики высоких энергий, Дубна, 1975.

^{*} Научно-исследовательский физический институт ЛГУ
(Ленинград).

Первые экспериментальные исследования ^{/1/} неупругих взаимодействий ускоренных на синхрофазотроне ЛВЭ дейтронов показали в соответствии с предсказанием ^{/2/}, что инклюзивное сечение мезообразования для энергий вторичных пионов, превышающих кинематическую границу взаимодействия отдельных нуклонов, масштабно-инвариантны.

Нетривиальность этого результата и гипотезы состоит в том, что ядро дейтерия является наиболее слабо связанной из всех ядерных систем и обладает наиболее протяженным формфактором.

Жесткая часть спектра наблюдаемых пионов при взаимодействии релятивистских дейтронов соответствует как бы "плотной" (с большой энергией связи) двухнуклонной системе. При этом вероятность пребывания дейтерия в таком состоянии оказалась равной, в соответствии с оценками, вероятности нахождения двух нуклонов дейтерия в характерном для мезообразования объеме. В соответствии с этим наблюдаемый эффект был назван кумулятивным.

Однако следует подчеркнуть, что сам по себе кумулятивный эффект является следствием более общего закона масштабно-инвариантного поведения инклюзивного сечения взаимодействия релятивистских ядер.

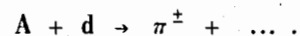
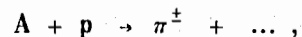
Под масштабно-инвариантным поведением мы понимаем зависимость инвариантного инклюзивного сечения только от масштабной переменной $P_{\pi} / P_{\pi \text{ max}}$, где $P_{\pi \text{ max}}$

определяется из кинематики столкновений группы нуклонов фрагментирующего ядра.

Независимость от энергии, приходящейся на один нуклон релятивистского ядра инвариантного сечения инклюзивного процесса, лучше всего иллюстрируют экспериментальные данные по кумулятивному образованию протонов при взаимодействии пионов с энергией 40 ГэВ с ядрами углерода, приведенные в работе /3/, где было показано, что полученная структурная функция практически совпадает со структурной функцией, полученной при энергии в несколько ГэВ /4/.

Кумулятивный эффект имеет, очевидно, прикладное значение как способ получения вторичных пучков больших энергий от ускоренных ядер. С физической точки зрения он связан, по-видимому, с ядерной физикой низких энергий структурой ядра, определяющей вероятность нахождения группы нуклонов в заданном объеме, и инклюзивными процессами нуклон-нуклонных взаимодействий, особенно в так называемой "центральной области".

Детальные исследования кумулятивного мезообразования были проведены при "медленном" выводе ускоренного пучка из синхрофазотрона ЛВЭ /5/. В цитируемых работах были исследованы спектры пионов в реакции



Энергия, приходящаяся на нуклон исследуемого ядра, изменялась от 4,2 до 8,4 ГэВ. В качестве исследуемых ядер (A) были взяты ${}^6\text{Li}$, ${}^7\text{Li}$, C, Al, Cu, ${}^{144}\text{Sm}$, ${}^{154}\text{Sm}$, ${}^{182}\text{W}$, ${}^{186}\text{W}$, Pb.

Были установлены следующие закономерности:

1. Энергетический спектр рожденных пионов имеет экспоненциальный характер:

$$E \frac{d^3 \sigma}{d^3 \vec{p}} = C \exp\{-T/T_0\}.$$

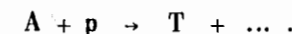
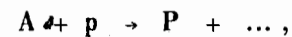
Причем параметр C в пределах ошибок не зависит от энергии, приходящейся на один нуклон ядра; не зависит от знака рожденных пионов. Параметр T_0 (температура) не зависит от знака рожденных пионов и по порядку величины равен 60 МэВ.

2. Инвариантное сечение инклюзивного процесса фрагментирующего ядра практически линейно возрастает с атомным весом:

$$E \frac{d^3 \sigma}{d^3 \vec{p}} \approx A.$$

Таким образом, было показано, что кумулятивный эффект имеет объемный характер. Эта особенность нового явления, определяемого адрон-адронными взаимодействиями при больших энерговыделениях, является нетривиальным свойством ядерных взаимодействий. Как оказалось, ядра самария, существенно разные по форме согласно спектроскопическим данным, также подчиняются этой зависимости.

Следующим этапом в исследовании кумулятивного рождения частиц были исследования процессов с образованием нуклонных систем:



Для этой цели была применена техника времени пролета для регистрации вторичных частиц в той же самой постановке эксперимента /3/. На рис. 1 показан спектр частиц с импульсом 800 МэВ/с, полученный на ядре свинца, бомбардируемого протонами с импульсом 8,4 ГэВ/с. Этот рисунок иллюстрирует степень надежности отделения полезных событий от фоновых. В качестве исследуемых ядер были взяты ${}^6\text{Li}$, ${}^7\text{Li}$, Be, C, Al, Si, Fe, ${}^{58}\text{Ni}$, ${}^{64}\text{Ni}$, Cu, ${}^{122}\text{Sn}$, ${}^{118}\text{Sn}$, ${}^{124}\text{Sn}$, ${}^{144}\text{Sm}$, ${}^{154}\text{Sm}$, ${}^{182}\text{W}$, ${}^{186}\text{W}$, Pb, U.

Большой набор исследуемых ядер-изотопов позволил установить новую интересную закономерность. Выход вторичных частиц (статистически обеспечены данные

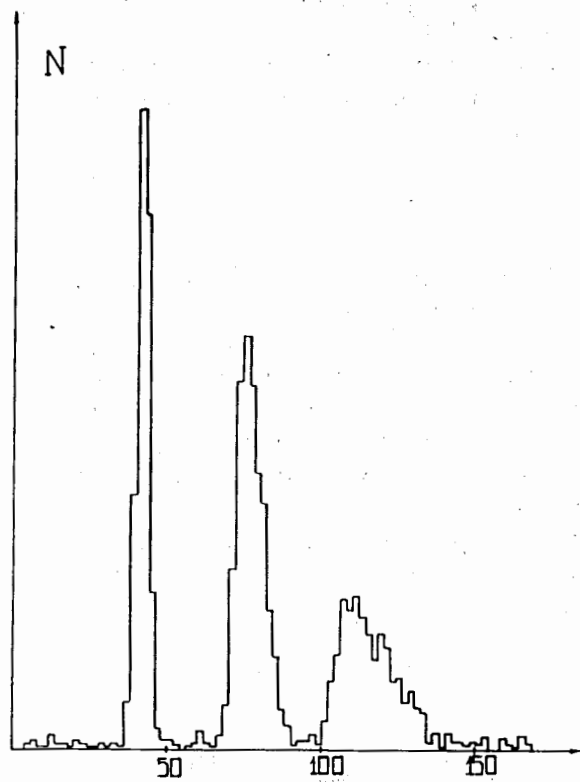


Рис. 1.

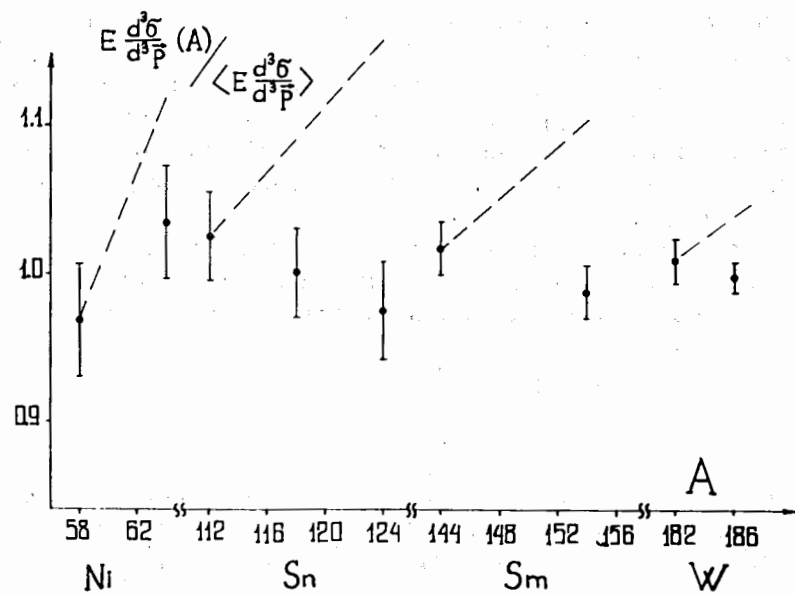


Рис. 2.

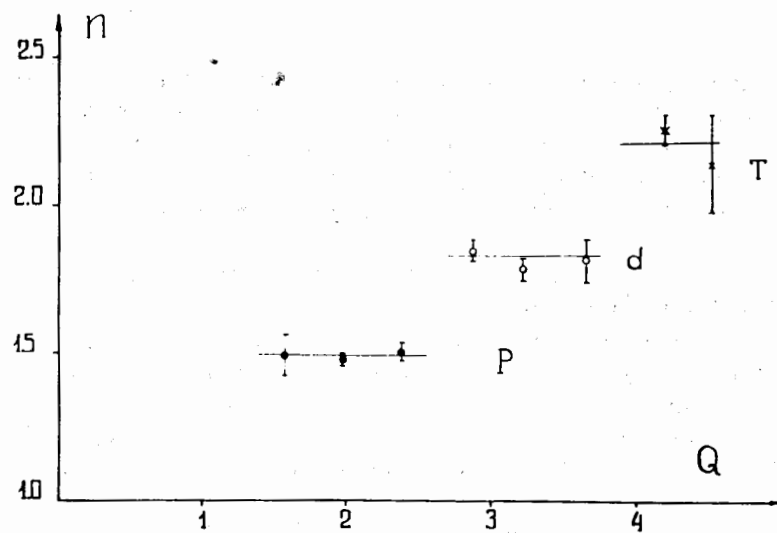


Рис. 3.

для протонов) практически не зависит от количества нейтронов в ядрах. На рис. 2 показано отношение выходов протонов для ядер-изотопов (Ni, Sn, Sm, W), нормированное на среднее значение по серии изотопов, в зависимости от атомного веса A . Пунктиром показана ожидаемая A -зависимость по всему набору исследуемых ядер.

Более того, оказалось, что экспериментальные данные по кумулятивному рождению нуклонных систем (p , d , T) невозможно описать степенной зависимостью типа

$$E \frac{d^3 \sigma}{d^3 p} \approx A^n,$$

где n - постоянная, не зависящая от атомного веса ядра. Однако описание экспериментальных данных, согласно критерию χ^2 , возможно в предположении степенной зависимости вида

$$E \frac{d^3 \sigma}{d^3 p} \approx z^n,$$

где z - заряд фрагментирующего ядра.

На рис. 3 показана зависимость параметра n от порядка кумулятивности Q . Порядок кумулятивности мы определяем как минимально возможное по кинематике число нуклонов ядра, при взаимодействии с которыми налетающего нуклона возможно рождение вторичной частицы.

Полученные экспериментальные данные обнаруживают новые закономерности:

1. Зависимость сечения рождения нуклонных систем по сравнению с пионами с ростом атомного веса фрагментирующего ядра возрастает более сильно.

2. Параметр n не зависит от порядка кумулятивности для образования протонов и дейтронов в интервале Q 1,5-2,5 и 2,6-3,6 для протонов и дейтронов соответственно.

3. Параметр n в z -зависимости меняется "ступенчатым образом" в пределах: $1,49 \pm 0,02$ для протонов,

$1,82 \pm 0,04$ для дейтронов и $2,2 \pm 0,1$ для трития.

Несомненно, интерпретация экспериментальных данных по кумулятивному образованию частиц должна охватывать всю совокупность полученных закономерностей.

В заключение считаем своим приятным долгом выразить благодарность за устойчивую работу ускорителя главному инженеру Л.Г.Макарову, группе диспетчеров, руководимой С.В.Федуковым, сотрудникам сектора вывода, руководимого И.Б.Иссинским. Благодарим также М.Н.Шкобину, В.Г.Перевозчикова, В.Л.Свалова и О.Ю.Кульпину за помощь в работе.

Литература

1. А.М.Балдин, Н.Гиордэнеску, В.Н.Зубарев, А.Д.Кириллов, В.А.Кузнецов, Н.С.Мороз, В.Б.Радоманов, В.Н.Рамжин, В.А.Свиридов, В.С.Ставинский, М.И.Яцута. Препринт ОИЯИ, P1-5819, Дубна, 1971; А.М.Балдин, С.Б.Герасимов, Н.Гиордэнеску, В.Н.Зубарев, Л.К.Иванова, А.Д.Кириллов, В.А.Кузнецов, Н.С.Мороз, В.Б.Радоманов, В.Н.Рамжин, В.С.Ставинский, М.И.Яцута. ЯФ, 18, 79 (1973).
2. А.М.Балдин. Препринт ОИЯИ, P7-5769, Дубна, 1971; Краткие сообщения по физике, №1, "Наука", 1971.
3. Сотрудничество: Бухарест - Москва - София - Ташкент - Тбилиси - Улан-Батор. Препринт ОИЯИ, P1-8566, Дубна, 1975.
4. Ю.Д.Баюков, Л.С.Воробьев, Г.А.Лексин и др. ЯФ, 18, 1246 (1973).
5. А.М.Балдин, Н.Гиордэнеску, В.Н.Зубарев, Л.К.Иванова, А.Д.Кириллов, В.И.Котов, Н.С.Мороз, С.А.Нежданова, А.А.Повторейко, В.Б.Радоманов, А.Д.Рогаль, В.С.Ставинский. Сообщение ОИЯИ, 1-8028, Дубна, 1974; А.М.Балдин, N.Giordanescu, L.K.Ivanova, N.S.Moroz, A.A.Povtorejko, V.B.Radomanov, V.S.Stavinsky, N.N.Zubarev. Preprint JINR, E1-8054, Dubna, 1974; Ya.F., 20, 1201 (1974); А.М.Балдин, В.К.Бондарев, Н.Гиордэнеску, В.Н.Зубарев, Л.К.Иванова, Н.С.Мороз, А.А.Повторейко, В.Б.Радоманов.

нов, В.С.Ставинский, Ю.Я.Яковлев. Препринт ОИЯИ,
1-8249, Дубна, 1974.

Рукопись поступила в издательский отдел
8 мая 1975 года.