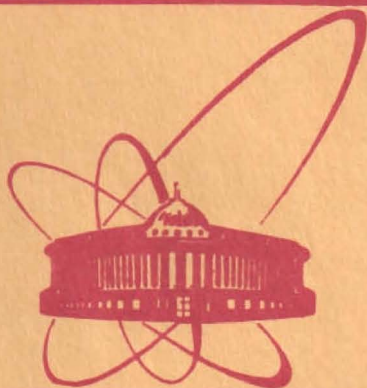


С-76



Объединенный
институт
ядерных
исследований
дубна

P1-80-23

В.С.Ставинский

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА
ГИПОТЕЗЫ КУМУЛЯТИВНОГО
ЯДЕРНОГО ЭФФЕКТА

Направлено на Международную конференцию
по экстремальным состояниям в ядерных
системах, Дрезден, февраль 1980 г.

1980

Ставинский В.С.

PI-80-23

Экспериментальная проверка гипотезы
кумулятивного ядерного эффекта

Рассмотрены основные положения гипотезы А.М.Балдина^{/1/} и ее следствия для эксперимента, рассматриваются наиболее информативные экспериментальные данные по кумулятивному ядерному эффекту.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1980

Stavinsky V.S.

PI-80-23

Experimental Check of Cumulative
Nuclear Effect Hypothesis

Basic theses of the hypothesis of A.M.Baldin

В 1971 году А.М.Балдин высказал гипотезу^{/1/} о том, что спектры вторичных частиц высоких энергий, рожденных в результате неупругих ядерных взаимодействий при столкновении релятивистских ядер, определяются локальными свойствами адронной материи, а не геометрическими характеристиками сталкивающихся объектов /формфакторами/. Эта гипотеза означает распространение масштабной инвариантности на столкновение релятивистских ядер. Она стимулировала интенсивные экспериментальные исследования, определяющие предмет релятивистской ядерной физики^{/2/}. Из всей совокупности вопросов мы сейчас рассмотрим один, возможно, наиболее яркий, когда при столкновении релятивистских ядер энергия рожденной инклюзивной частицы значительно превышает энергию, приходящуюся на один нуклон ускоренного ядра, т.е. кумулятивный эффект. Итак, локальное взаимодействие, равновероятное по объему ядра. Эффекты поглощения возбуждающей частицы, движущейся в ядерной среде до центра локального взаимодействия, а также взаимодействия рожденных частиц малы и не имеют существенного значения. Таким образом, имеем первое следствие гипотезы - пропорциональность вероятности рождения частиц /инклюзивного сечения/ объему фрагментирующего ядра /характерная А-зависимость/:

$$\frac{E}{A} \frac{d\sigma}{d\vec{p}} = F(\vec{p}_e). \quad /1/$$

Инвариантное инклюзивное сечение рождения частицы, отнесенное к одному нуклону фрагментирующего ядра с атомным весом А, является функцией только параметров инклюзивной частицы.

Конкретный механизм локального взаимодействия /модель взаимодействия/ был сформулирован на основе идей масштабной инвариантности. Инклюзивное сечение равно сумме масштабных вкладов взаимодействия групп N-нуклонов фрагментирующего ядра с нуклоном мишени:

$$E \frac{d\sigma}{d\vec{p}} = \sum_{N=Q}^A P(N) f(\vec{x}_N). \quad /2/$$

Если функция f и инклюзивное сечение масштабнo-инвариантны, то P(N) - числа, зависящие от свойств ядра. Эти коэффициенты интерпретировались как вероятности попадания в характерный для сильных взаимодействий объем групп N нуклонов. Макси-

мально возможное, пороговое значение $N = Q$ определяется энергией рожденной частицы (E_c), и при больших энергиях взаимодействующих ядер равно

$$Q = \frac{E_c - P_c \cos \theta_c}{m}, \quad /3/$$

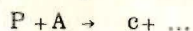
где $P_c \cos \theta_c$ - продольная составляющая импульса рожденной частицы, m - масса нуклона /выражение для Q при конечной энергии можно найти в работе /3/ /. Поскольку коэффициенты $P(N)$ быстро убывают с ростом N , то инклюзивное сечение $E \frac{d\sigma}{d\bar{p}}$ фактически определяется нижним пределом интегрирования по N , т.е.

$$E \frac{d\sigma}{d\bar{p}} = F(Q). \quad /4/$$

Это - очень важное информативное следствие гипотезы предельной фрагментации ядер. Действительно, соотношение /4/ устанавливает однозначную связь между зависимостью сечения от энергии рожденной частицы при фиксированном угле эмиссии и угловой зависимостью при фиксированной энергии инклюзивной частицы.

Первые эксперименты с релятивистскими дейтронами /4/, ускоренными на синхрофазотроне Дубны, подтвердили гипотезу о масштабной инвариантности инклюзивных спектров пионов при больших энергиях рожденных ядер дейтерия. Энергия вторичных пионов значительно превышала кинематический предел столкновения одного из нуклонов ускоренного ядра дейтерия с ядрами (Cu) мишени. Наблюдаемое явление получило название кумулятивного эффекта.

В последнее время появилось большое количество работ /3-5/, посвященных исследованию кумулятивного рождения частиц. Мы рассмотрим данные, имеющие отношение к настоящей теме. В основном это - результаты исследования инклюзивных спектров частиц большой энергии (C) в направлении "назад" при облучении ядра A протонами с импульсом $8,9 \text{ ГэВ/с} \cdot N$:



На рис. 1 показаны экспериментальные данные /6/ по инклюзивным инвариантным сечениям рождения пионов и протонов с импульсом 500 МэВ/с при угле эмиссии 180° . Из рисунка видно, что предсказание /выход на константу/, следующее из локальности взаимодействия /соотношение /1//, выполняется для пионов, начиная с $A \sim 20$, для протонов - с $A \sim 100$. Более сильный рост сечения рождения мезонов на легких ($A < 20$) ядрах обусловлен, по-видимому, тем, что радиус легкого ядра сравним с размерами налетающего протона. Не исключено, что для протонов этот эффект может быть выражен и более сильно в согласии с экспериментальными данными. Заметим, что выход адронов, измеренный

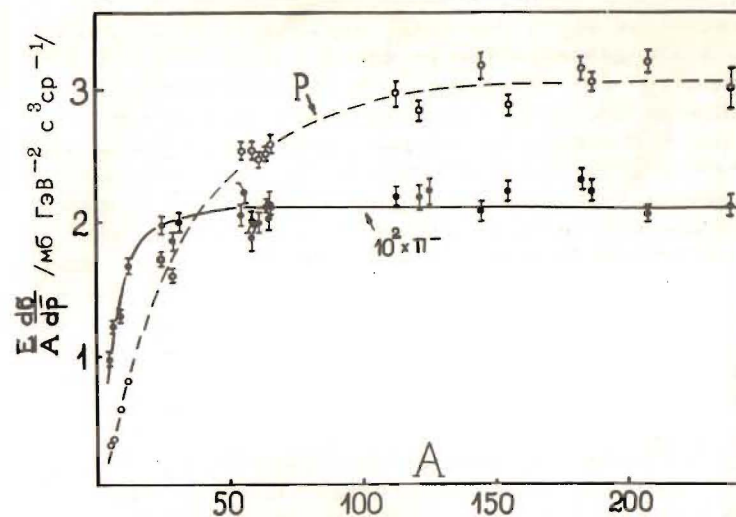


Рис. 1. Зависимость от атомного веса фрагментирующего ядра инвариантных сечений /нормированных на атомный вес/ генерации кумулятивных пионов (π^-) и протонов (p).

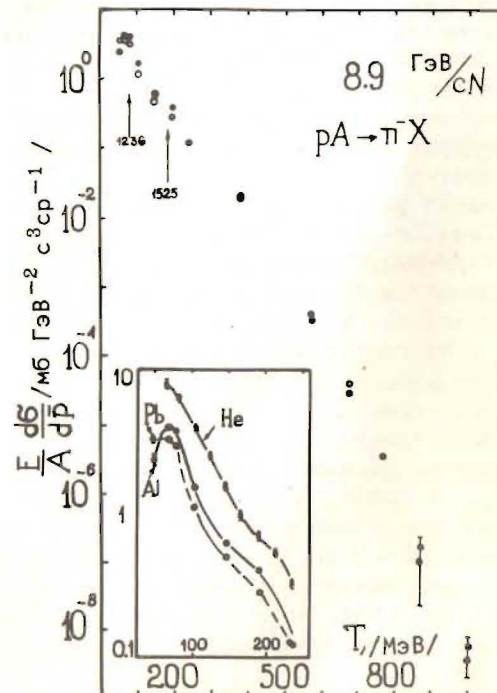


Рис. 2. Зависимости от кинетической энергии вторичных мезонов инвариантных сечений, нормированных на атомный вес фрагментирующих ядер Al (π^-) и Pb (π^-).

на разделенных ядрах-протонах, не зависит от нейтронного избытка, а определяется только зарядом ядра ^{6,7/}. Для нас существенно то, что зависимость от атомного веса фрагментирующего ядра не слабее пропорциональности объему ядра.

На рис. 2 показаны экспериментальные данные по инвариантным инклюзивным сечениям рождения пионов, нормированным на атомный вес фрагментирующего ядра /алюминия и свинца/ в зависимости от кинетической энергии мезонов ^{6/}. Угол наблюдения - 180°. Импульсы первичных протонов - 8,9 ГэВ/с. Согласно кинематике, пионы с энергией, большей 270 МэВ, могут быть рождены при столкновении первичного протона с мишенью из двух и более нуклонов. Из рисунка видно, что зависимость сечения рождения пионов от их энергии имеет в первом приближении экспоненциальный характер, причем сама величина сечения изменяется примерно на 10 порядков.

На рис. 3 приведены экспериментальные данные ^{8/} по сечению рождения протонов для взаимодействий протонов /8,9 ГэВ/с/ с ядрами свинца в зависимости от кинетической энергии протонов, регистрируемых под углом 180°. Из рисунка видно, что и в этом случае зависимость носит экспоненциальный характер при изменении величины сечений на 8 порядков. Особенно важно отметить, что как для пионов, так и для протонов в энергетических зависимостях сечений не наблюдается катастрофического уменьшения сечений при переходе из области некумулятивных взаимодействий к кумулятивной.

На рис. 4 показаны результаты, рассмотренные для пионов и протонов, совместно с данными по рождению дейтронов и ядер трития ^{8/} в зависимости от кумулятивного числа минус барионный заряд регистрируемого фрагмента. Из рисунка видно, что предсказание гипотезы кумулятивного ядерного эффекта /соотношение /4// выполняется удивительно точно. Энергетические зависимости рождения различных фрагментов действительно описываются единой функцией, зависящей от кумулятивного числа.

Из гипотезы кумулятивного ядерного эффекта следует ^{9/}, что при равных кумулятивных числах сечения генерации пионов и каонов равны. Эксперименты, выполненные в Дубне ^{7/}, подтвердили предсказание. На рис. 5 вместе с экспериментальными данными для пионов показана величина сечения рождения K^+ -мезонов для $Q'=1,8$.

На рис. 6 показаны экспериментальные данные, полученные на пучках пионов ^{10,11/} с импульсом 3 ГэВ/с и первичных протонов с импульсом 3,75 ГэВ/с ^{12/} при облучении тяжелых ядер. Из рисунка видно, что при равных кумулятивных числах выход пионов равен выходу каонов в пионном эксперименте, и сечение генерации пионов равно сечению генерации каонов в протонном эксперименте.

Рис. 3. Зависимость от кинетической энергии вторичных протонов инвариантных сечений, нормированных на атомный вес ядра /свинец/.

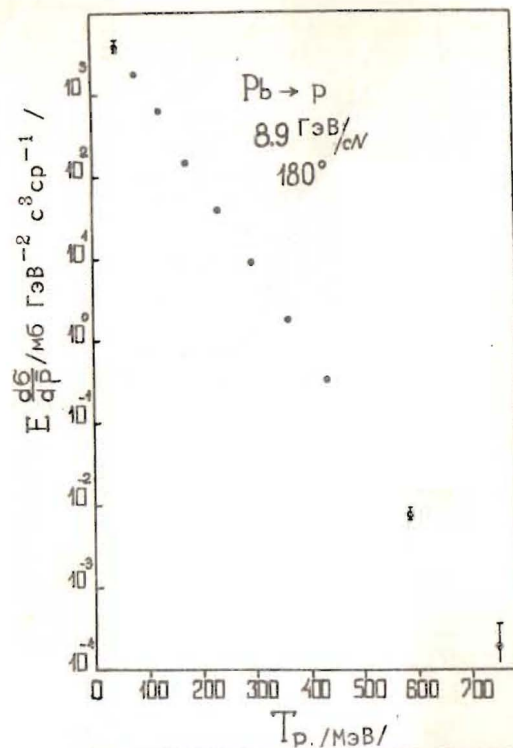
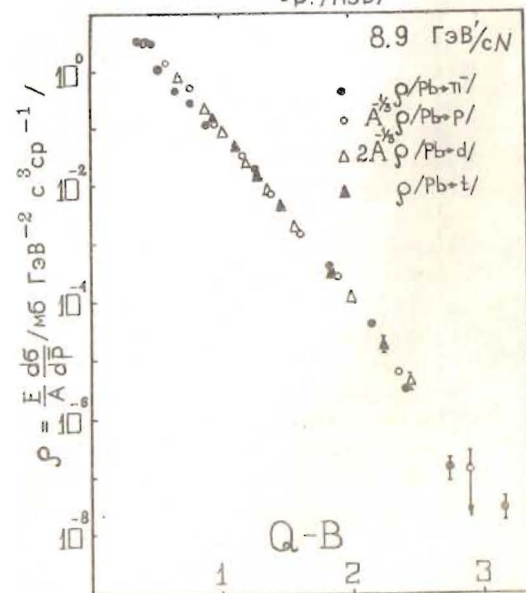


Рис. 4. Универсальная Q-зависимость сечений рождения пионов, протонов, дейтронов и ядер трития.



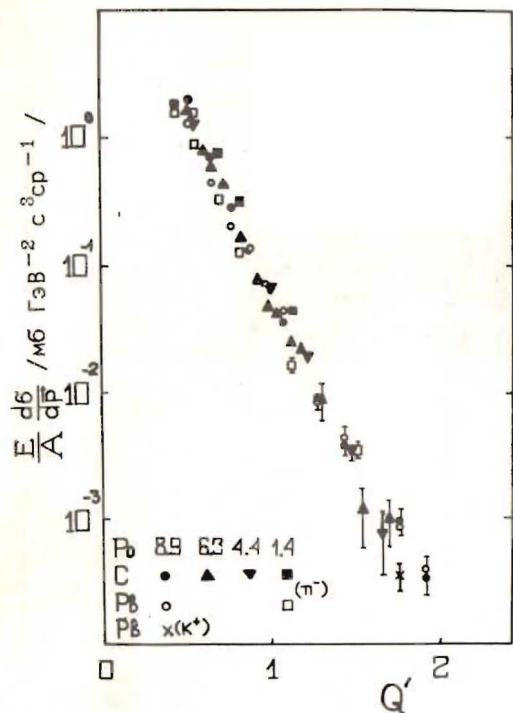


Рис. 5. Сравнение сечения генерации кумулятивных K^+ -мезонов (\blacksquare) с сечением генерации мезонов для углов эмиссии 180° для первичных протонов 8,9 ГэВ/с.

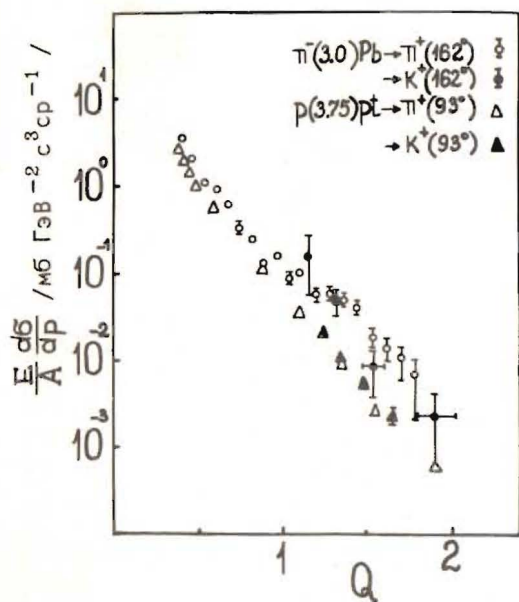
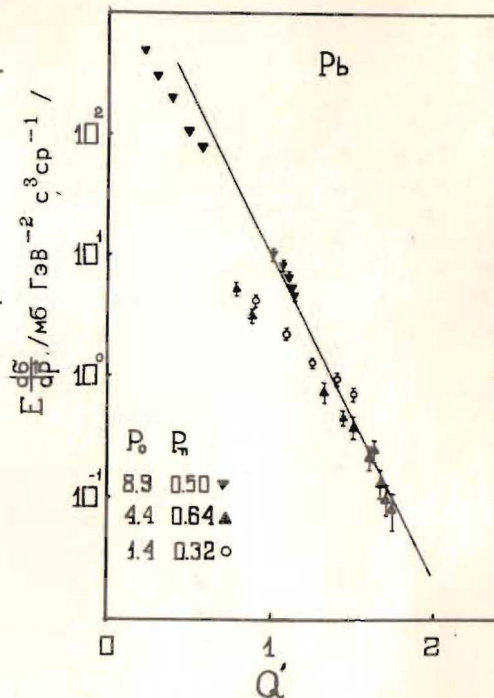


Рис. 6. Сравнение сечения генерации кумулятивных K^+ -мезонов (\blacksquare) с пионами (\circ) для первичных пионов с импульсом 3 ГэВ/с, угол эмиссии 162° , а также K^+ (\blacktriangle) и π^+ (\triangle) для первичных протонов с импульсом 3,75 ГэВ/с, угол эмиссии 93° .

Рис. 7. Соответствие угловых и энергетических зависимостей сечений генерации кумулятивных пионов при равных кумулятивных числах. Экспериментальные точки - зависимость от угла эмиссии /от 180° до 50° / пионов с импульсом 500 МэВ/с (\blacktriangledown), 640 МэВ/с (\blacktriangle), 320 МэВ/с (\circ) для первичных импульсов протонов 8,9; 4,4 и 1,4 ГэВ/с.



Приведенные экспериментальные данные являются сильным и нетривиальным подтверждением гипотезы кумулятивного ядерного эффекта /соотношение /4//.

В экспериментах Дубны были измерены зависимости от угла эмиссии кумулятивных частиц для легчайших /гелий/ и тяжелых /свинец/ ядер^{/3/}. В соответствии с гипотезой о локальном характере взаимодействия угловые зависимости оказались идентичными для легкого и тяжелого ядер.

На рис. 7 показаны экспериментальные данные по фрагментации ядра свинца в зависимости от кумулятивного числа. Сплошная кривая проведена по экспериментальным данным /рис. 5/ для зависимостей от энергии пионов /и каонов/ при фиксированном угле 180° .

Таким образом, сейчас можно говорить о качественном соответствии угловых и энергетических зависимостей для сечений генерации кумулятивных частиц. А именно - изменение сечений в зависимости от угла эмиссии определяется кумулятивным числом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Балдин А.М. Краткие сообщения по физике, 1971, №1, с.35.
2. Балдин А.М. ЭЧАЯ, 1977, т.8, вып.3.

3. Ставинский В.С. ЭЧАЯ, 1979, т.10, вып.5.
4. Балдин А.М. и др. ОИЯИ, P1-5819, Дубна, 1971.
5. Leksin G.A. Proc. XVIII Int. Conf. High Energy Physics. Tbilisi, 1976. JINR, D1,2-10400, Dubna, 1977.
6. Балдин А.М. и др. ОИЯИ, 1-12396, Дубна, 1979.
7. Балдин А.М. и др. IV Международный семинар по проблемам физики высоких энергий. ОИЯИ, D1,2-9224, Дубна, 1975.
8. Балдин А.М. и др. ОИЯИ, P1-11302, Дубна, 1978.
9. Ставинский В.С. ОИЯИ, P2-9528, Дубна, 1976.
10. Бугров Н.А. и др. Препринт ИТЭФ-58, М., 1979.
11. Бугров Н.А. и др. Препринт ИТЭФ-95, М., 1979.
12. Pirone P.A. et al. Phys.Rev., 1966, 148, 4, p.1315.

Рукопись поступила в издательский отдел
10 января 1980 года.

Вышел в свет очередной номер журнала "Физика элементарных частиц и атомного ядра", том 11, вып. 1. Подписка на журнал проводится в агентствах и отделениях "Союзпечати", в отделениях связи, а также у общественных распространителей печати.