

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



СЗ438

Б-232

3875/2-77

26/IX-77

P1 - 10762

Б.П.Банник, Р.Ибатов, Дж.А.Саломов, К.Д.Толстов,
Г.С.Шабратова, М.Шериф, А.Эль-Наги

ЦЕНТРАЛЬНЫЕ СТОЛКНОВЕНИЯ
БЫСТРЫХ ЧАСТИЦ С ТЯЖЕЛЫМИ ЯДРАМИ

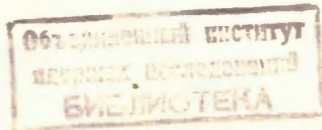
1977

P1 - 10762

Б.П.Банник, Р.Ибатов, Дж.А.Саломов, К.Д.Толстов,
Г.С.Шабратова, М.Шериф, А.Эль-Наги

ЦЕНТРАЛЬНЫЕ СТОЛКНОВЕНИЯ
БЫСТРЫХ ЧАСТИЦ С ТЯЖЕЛЫМИ ЯДРАМИ

Направлено в "Zeitschrift für Physik A"



Центральные столкновения быстрых частиц с тяжелыми ядрами

Приводятся результаты исследования центральных столкновений протонов с импульсом 70 ГэВ/с с ядрами Ag, Br и Pb, найдено, что среднее число частиц, рожденных во взаимодействиях протона с ядрами Ag, Br, равно $19,0 \pm 1,0$, а во взаимодействиях протона с ядрами свинца - $20,7 \pm 1,0$. Отмечаются большие значения среднего числа частиц, вылетающих при разрушении ядра с энергией по протонам от 26 до 400 МэВ (α -частицы). В случае взаимодействия протонов с ядрами Ag, Br это число равно $14,2 \pm 0,8$, а в случае взаимодействия протона с ядром свинца - $23,0 \pm 1,0$. Такие значения среднего числа этих частиц указывают на выброс из ядра половины нуклонов на быстрой стадии взаимодействия налетающего протона с ядром мишени. Из анализа распределений по псевдобыстротам частиц, рожденных во взаимодействиях p -Ag, Br, Pb и p - p взаимодействиях, следует, что налетающая частица после первого столкновения взаимодействует с последующими нуклонами ядра с заметным сечением. Величина этого сечения, определенная на основе модельных представлений, составляет ~50% от σ_{in}^{pp} . Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1977

Bannik B.P. et al.

P1 - 10762

Central Collisions of Fast Particles with Heavy Nuclei

The central collisions of 70 GeV/c protons with Ag, Br and Pb nuclei have been studied, with the help of BR-2 photoemulsion and emulsion of the same constitution loaded with Pb nuclei.

It is shown that the average multiplicity of produced particles (S -particles) increases slowly with increasing the atomic weight of the target nucleus. The ratio of the average multiplicity for these particles to the average charged particle multiplicity for proton-proton interactions equals 3.2 for p -Ag, Br and 3.5 for p -Pb. The average multiplicities of particles from nuclear disintegration with energies for protons from 26 up to 400 MeV (α -particles) are 14.2 ± 0.8 for p -Ag, Br and 23.0 ± 1.0 for p -Pb corresponding to the emulsion of about half of all nucleons from the nucleus at the first rapid stage of interaction.

The difference of the s -particle pseudorapidity distributions for p -Ag, Br, Pb and p - p interactions at pseudorapidities larger than 4.2 can be explained by successive interactions of incident proton with nucleus nucleons.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1977

В последнее время все большее значение приобретают исследования взаимодействий быстрых частиц с ядрами. Это связано как с надеждами, которые возлагаются на ядро как на анализатор адрон-адронных неупругих столкновений, позволяющий рассматривать пространственно-временную картину взаимодействий, так и с усилением интереса к изучению механизма возбуждения и распада ядер, в частности, возникновения в ядре ударной волны под действием быстрых адронов и ядер.

В этих исследованиях очевидный интерес представляют центральные столкновения быстрых частиц с тяжелыми ядрами. В этом случае налетающая частица проходит ядро (практически по диаметру).

В нашей работе рассматривались центральные столкновения протонов с импульсом 70 ГэВ/с с ядрами ^{108}Ag , ^{80}Br и ^{207}Pb . Исследования проводились как с помощью обычной эмульсии БР-2, так и с помощью эмульсии того же состава, наполненной ядрами свинца. Метод наполнения был разработан в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Общая статистика составляла 147 событий. Эти случаи примерно поровну распределены между ядрами (Ag, Br) и Pb. К центральным столкновениям с ядрами (Ag, Br) были отнесены звезды, содержащие 28 и больше частиц, вылетающих при разрушении этих ядер (h -частиц). Специальные исследования^{1/} показали, что в этих звездах происходит полное разрушение ядер (не наблюдается остаточного ядра с заметной массой). Суммарный средний заряд h -частиц составляет $\langle Z \rangle = 41$. К центральным столкновениям с Pb были отнесены

звезды из "наполненной" эмульсии, содержащие 40 и более h -частиц (для этих звезд $\langle Z \rangle = 62$).

В табл. 1 приведены средние значения множественностей и половинные углы (угол раствора конуса, в который вылетает половина частиц) для частиц, рожденных в этих столкновениях (s -частиц, релятивистских частиц), и для частиц, вылетающих при разрушении ядра мишени с энергиями по протонам от 26 до 400 МэВ (g -частиц).

Таблица 1

Ядро мишени	$\langle n_s \rangle$	$\theta_{s,1/2}$	$\langle n_g \rangle$	$\theta_{g,1/2}$
Ag, Br	19,0 \pm 1,0	28°	14,2 \pm 0,8	69,5°
Pb	20,7 \pm 1,0	25°	23,0 \pm 1,0	68°

Анализируя результаты таблицы, приходим к выводу, что изменение атомного веса ядра мишени почти вдвое слабо сказывается на величине среднего числа s -частиц, приводя между тем к заметному росту среднего числа g -частиц.

Оценим влияние атомного веса ядра мишени на среднее число s - и g -частиц. Представим отношение этих значений для ядер Ag, Br и Pb в виде степенной функции от A .

$$\langle n_i \rangle_{Pb} / \langle n_i \rangle_{Ag, Br} = (A_{Pb} / A_{Ag, Br})^{a_i}, \quad (1)$$

где $\langle A_{Ag, Br} \rangle$ - среднее от атомных весов Ag и Br с учётом их содержания в эмульсии, а $i = s, g$.

Используя результаты табл. 1, получаем

$$a_s = 0,13 \pm 0,01 \quad \text{и} \quad a_g = 0,74 \pm 0,05.$$

Найденные значения показателей степени близки аналогичным величинам, полученным для взаимодействия про-

тонов со средним ядром фотоэмульсии $a_s \sim 0,15$ и $a_g \sim 0,67$ (см., например, работу ^{/2/}). Обращает на себя внимание большая величина $\langle n_g \rangle$. Если учесть долю ядер ^3He и ^4He по данным работы ^{/3/} и вылет g -нейтронов, число которых очевидно больше, чем протонов в отношении $\frac{A-Z}{Z} \sim 1,3$, то получаем, что половина нук-

лонов выбрасывается из ядра на "быстрой" стадии его взаимодействия с налетающей частицей.

Значения половинных углов, по данным табл. 1, как для s -частиц, так и для g -частиц практически остаются без изменения при переходе от ядер Ag, Br к свинцу.

Учитывая слабое изменение значений среднего числа s -частиц, постоянство $\theta_{s,1/2}$ с изменением атомного веса ядра мишени, при последующем рассмотрении полученных результатов по s -частицам мы объединяем данные по взаимодействию протонов с ядрами Ag, Br и ядрами свинца.

На рис. 1 представлено распределение по множественности релятивистских частиц. Приведенные на рисунке кривые получены в предположении KNO-скейлинга при $\langle n \rangle$, равно $\langle n_s \rangle$, взятому из табл. 1. Сплошная кривая - аппроксимация Слатери для протон-протонных взаимодействий ^{/4/}, штриховая - для взаимодействий протона с ядрами фотоэмульсии по работе ^{/5/}. Распределение по s -частицам для "центральных" столкновений оказывается более узким, чем в случае взаимодействия протонов с ядрами эмульсии и в случае протон-протонного взаимодействия.

На рис. 2 даны распределения по псевдобыстроатам η ($\eta = -\ln \text{tg } \theta_L / 2$) для столкновения протонов с ядрами Ag, Br и свинца (сплошная линия) и распределения для протон-протонных столкновений (штриховая линия). Распределения нормировались на одинаковое число событий. Представленные на рисунке распределения различаются не только в области больших (малые значения η), но и в области малых углов вылета (большие значения η) s -частиц, что не наблюдалось в работах ^{/6,7/} при изучении взаимодействия протонов с импульсом 300 ГэВ/с с ядрами вольфрама. Еще более очевидным это различие

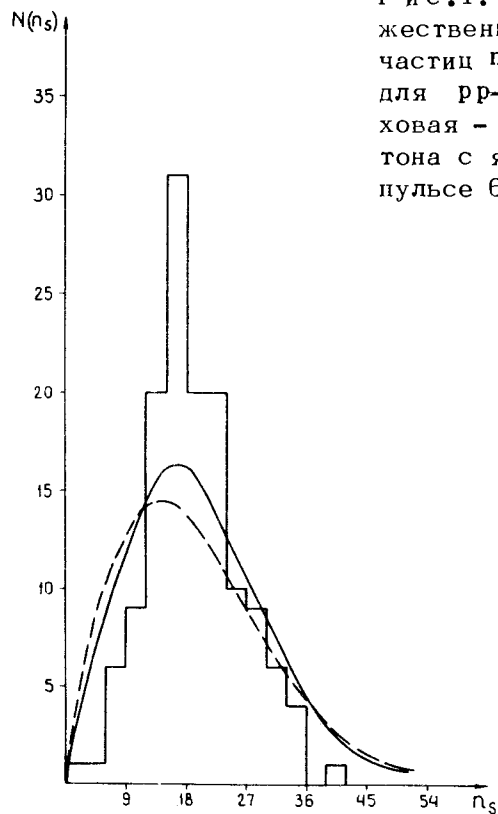


Рис.1. Распределение по множественности релятивистских частиц n_s . Сплошная кривая для pp-взаимодействий, штриховая - для взаимодействия протона с ядрами эмульсии при импульсе 60 ГэВ/с.

становится, если рассмотреть зависимость $R_\eta = (dN/d\eta)_{pA} / (dN/d\eta)_{pp}$ от η , представленную на рис.3. Здесь же приведены экспериментальные точки из работы^{/8/} и кривая, рассчитанная на основе партонной модели^{/9/} для взаимодействия протонов с импульсом 200 ГэВ/с с ядрами Ag, Вг. В случае центральных столкновений наблюдается еще большее падение R_η в области малых углов.

Из анализа рис.2,3 следует, что быстрая частица после ее первого столкновения взаимодействует с нуклонами ядра. Величину сечения этого взаимодействия σ'_{in} можно оценить из сравнения числа нуклонов на пути первичной частицы, пролетающей по диаметру ядра π (в нашем случае центральных столкновений), со средним числом столкновений этой частицы с нуклонами ядра $\langle \nu \rangle$. Последнее определяется из наших данных на основе моделей, полагающих это сечение равным неупругому сечению протон-протонных взаимодействий $\sigma'_{in} = \sigma_{in}^{pp} / 10.11$.

Моделями соответственно предсказываются следующие зависимости отношения множественностей R от $\langle \nu \rangle$:

$$R = 1/2 + 1/2 \langle \nu \rangle, \quad (2)$$

$$R = 2/3 + 1/3 \langle \nu \rangle, \quad (3)$$

где

$$R = \langle n_s \rangle_{pA} / \langle n_{ch} \rangle_{pp},$$

$\langle n_s \rangle_{pA}$ - средняя множественность релятивистских заряженных частиц для взаимодействия с ядром A , а $\langle n_{ch} \rangle_{pp}$ - средняя множественность для протон-протонных взаимодействий при той же самой энергии.

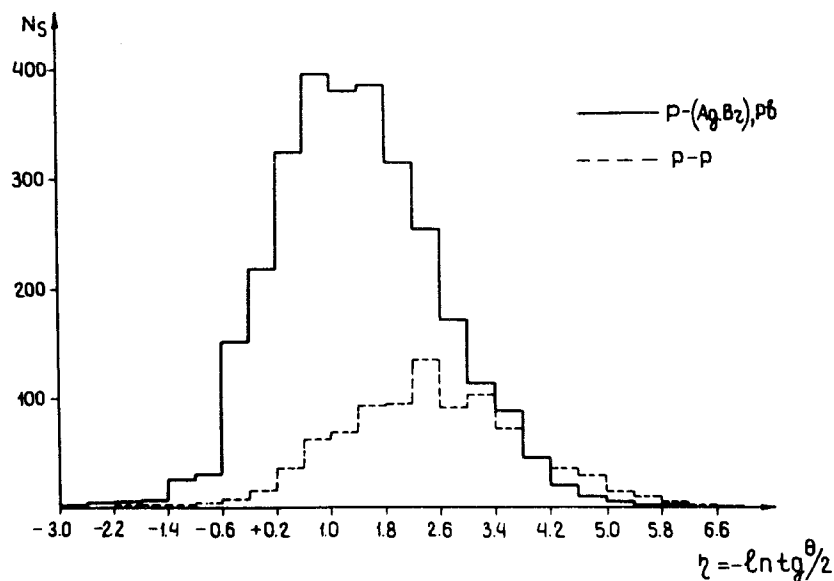


Рис.2. Распределения релятивистских частиц по псевдобыстротам. Сплошная гистограмма - наши данные. Штриховая гистограмма - для протон-протонных взаимодействий.

Подставляя экспериментальные значения в (2) и (3), найдем соответствующие значения $\langle \nu \rangle$. Полученные результаты приведены в табл. 2. Здесь же приведены n , рассчитанные в предположении постоянства ядерной плотности.

Таблица 2

Ядро	$R_{\text{эксп}}$	$R = 1/2 + 1/2 \langle \nu \rangle$	$R = 2/3 + 1/3 \langle \nu \rangle$	n
Ag, Br	$3,2 \pm 0,2$	$5,4 \pm 0,3$	$7,6 \pm 0,5$	7
Pb	$3,5 \pm 0,2$	$6,0 \pm 0,3$	$8,5 \pm 0,5$	9

Подставляя полученные значения $\langle \nu \rangle$ в соотношение $(\langle \nu \rangle - 1)/(n-1) \sim \sigma'_{\text{ин}} / \sigma_{\text{ин}}^{\text{pp}}$, найдем, что величина отношения $\sigma'_{\text{ин}} / \sigma_{\text{ин}}^{\text{pp}}$ изменяется от 0,6 до 1,0.

Наши оценки сечения взаимодействия лидирующей частицы выше значений, найденных в работе /12/ и составляющих $\sim 1/4$ от неупругого сечения адрон-адронного взаимодействия.

По-видимому, это различие связано с тем, что в работе /12/ исследовались в основном периферические взаимодействия налетающей частицы с ядром.

В заключение перечислим основные результаты нашей работы:

1) зависимости средней множественности ливневых частиц (s -частиц) и частиц, связанных с нуклоном отдачи (g -частиц), от атомного веса ядра мишени аналогичны зависимостям для "среднего" взаимодействия протона с ядром;

2) налетающая частица после первого столкновения взаимодействует с последующими нуклонами ядра с заметным сечением $\sigma'_{\text{ин}} \geq 0,5 \sigma_{\text{ин}}^{\text{pp}}$;

3) большие значения $\langle n_g \rangle$ указывают на выброс из ядра половины нуклонов на "быстрой" стадии его взаимодействия с налетающей частицей.

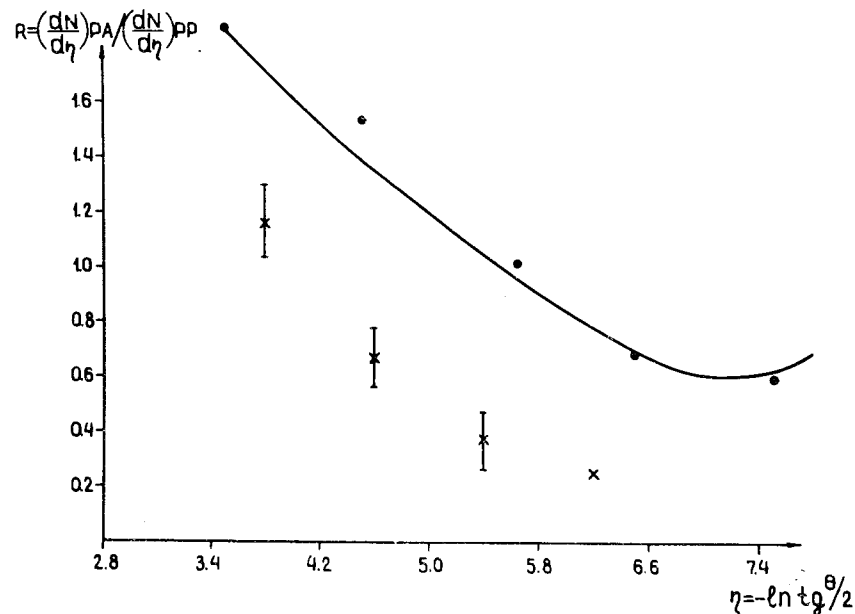


Рис. 3. Зависимость $R = (dN/d\eta)_{PA} / (dN/d\eta)_{PP}$ от η . Крестики - наши данные, кружки - данные работы /8/, штриховая кривая - расчеты на основе партонной модели /9/.

Литература

1. Толстов К.Д., Хошмухамедов Р.А. ОИЯИ, P1-6897, Дубна, 1973.
2. Алма-Ата - Ленинград - Москва - Ташкент - сотрудничество. ЯФ, 1975, 22, 736.
3. Борисенко А.И. и др. ЯФ, 1974, 20, вып. 2.
4. Slattery P. Phys.Rev., 1973, D7, 2073.
5. Martin J.W. e.a. Nuovo Cim., 1975, 25A, 447.
6. Florian I.R. e.a. Phys.Rev., 1976, D13, 558.
7. Busza W. e.a. Report at VIIth Internat. Colloquium on Multiparticle Reactions, Munich, 1976.

8. Tretyakova M.I. Report at the Leipzig-Eisenach Conference on Multiparticle Hydrodynamics (1974).
9. Nikolaev N.N. Preprint ITP-18, Chernogolovka, 1975.
10. Fishbane P.M., Trefil J.S. Phys.Lett., 1974, 51, 139.
11. Gottfried R. Phys.Rev.Lett., 1974, 32, 957.
12. Калинин Б.Н. и др. ОИЯИ, Р2-8760, Дубна, 1975.

Рукопись поступила в издательский отдел
17 июня 1977 года.