

**ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Ш-961

1-84-157

**ШУМБЕРА**

**Михал**

**НЕПЕРИФЕРИЧЕСКИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ  
ЛЕГКИХ ЯДЕР С ЯДРАМИ  
ПРИ ИМПУЛЬСЕ 4,5 ГэВ/с НА НУКЛОН**

**Специальность: 01.04.01 - экспериментальная физика**

**Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук**

Дубна 1984

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий Объединенного института ядерных исследований

Научные руководители:

доктор физико-математических наук,  
профессор

Константин Дмитриевич  
ТОЛСТОВ

кандидат физико-математических наук,  
доцент

Иосиф  
ТУЧЕК

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук,  
старший научный сотрудник

Юрий Александрович  
БАТУСОВ

кандидат физико-математических наук,  
старший научный сотрудник

Александр Иванович  
ТИТОВ

Ведущее научно-исследовательское учреждение:

Физико-технический институт АН УзССР, г. Ташкент

Автореферат разослан "29" марта 1984 г.

Защита диссертации состоится "3" мая 1984 г. на заседании Специализированного совета Д-047.01.02 Лаборатории высоких энергий Объединенного института ядерных исследований, г. Дубна, Московской области.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЛВЭ ОИЯИ.

Ученый секретарь

Специализированного совета *Улинич* М.Ф. ЛИХАЧЕВ

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность проблемы.** За последние несколько лет в исследованиях ядерных явлений и в физике элементарных частиц произошли заметные изменения, позволяющие предсказать существование, при достаточных барионных плотностях, новых форм ядерной материи, в частности, сверхплотной и кварковой. Поиск и исследование проявлений этих новых эффектов занимается релятивистская ядерная физика.

Экспериментально были разработаны два подхода, претендующие хотя бы на частичное решение поставленной задачи: в первом — необходимыми для проявления эффектов, связанных с большими плотностями и температурами, считают отбор событий, в которых геометрический контакт между нуклонами сталкивающихся ядер является максимальным. Во втором — исследуют эффекты флуктуации ядерной плотности на малых расстояниях. Это означает, что в первом случае отбирают события с большими множественностями вторичных частиц, а в другом — взаимодействия с испусканием частиц далеко за кинематическими границами свободных нуклон-нуклонных соударений.

Очевидно, что исследования подобного рода наиболее рационально проводить в 4 $\pi$ -геометрии. Это позволяет исследовать не только те или другие инклюзивные характеристики, но также выявлять всевозможные корреляционные связи между ними. Интерес представляет также последовательное сравнение экспериментальных результатов с расчетами, проведенными в рамках моделей, опирающихся на традиционные представления о строении ядер и их соударениях при высоких энергиях.

**Цель работы** — получение и анализ нового экспериментального материала по взаимодействиям легких ядер с ядрами в области релятивистских энергий ( $E_0 = 4,6$  А ГэВ), характеризующегося широким диапазоном переданного импульса и энергии, масс ядер мишеней, а также единообразием условий и методики экспериментов;

— изучение связи центральных ядро-ядерных соударений с процессами испускания быстрых адронов в заднюю полусферу в л.с.к.

**Новизна работы** заключается в том, что впервые получены и проанализированы данные по характеристикам событий, сопровождающихся вылетом быстрого адрона назад в соударениях протонов и альфа-частиц с группами ядер (C, N, O) и (Ag, Br) при импульсе 4,5 ГэВ/с на нуклон. При этом установлен ряд новых эмпирических закономерностей этих процессов и установлена их связь с динамикой центральных ядро-ядерных взаимодействий. Впервые изучены протон-ядерные соударения без образо-

вания релятивистских частиц. Обнаружены нерегулярности в угловых спектрах испарительных частиц, испущенных из легких ядер, а также в угловых спектрах быстрых фрагментов при полных разрушениях ядер (Ag, Br) ядрами углерода.

Практическая ценность полученных результатов состоит в том, что они приводят к лучшему пониманию динамики ядро-ядерных соударений в области релятивистских энергий и поэтому могут быть полезны при построении новых и развитии уже существующих моделей взаимодействий высокоэнергетических ядер. Результаты по угловым спектрам медленных частиц, испускаемых из легких ядер фотоэмульсии, критерии отбора центральных соударений, а также полученные в настоящей работе указания на определенную роль эффектов гидродинамического типа в этих соударениях могут быть использованы в качестве отправной точки для электронных экспериментов. Методика разделения событий на группах ядер фотоэмульсии дает возможность изучать процессы, для которых зависимость от атомного номера ядра-мишени априори неизвестна.

Апробация работы. Результаты настоящей работы докладывались и обсуждались на Специализированном семинаре по релятивистской ядерной физике, а также на других семинарах ЛВЭ ОИЯИ, на международных рабочих совещаниях Сотрудничества по исследованию взаимодействий быстрых адронов и ядер с ядрами (ФЭК ОИЯИ), были представлены на Международной конференции по ядро-ядерным соударениям (Ист Лэнсинг, США, 1982 г.) и на УП Конференции чехословацких физиков (Прага, 1981 г.).

Публикации. Основные результаты диссертации опубликованы в 9 работах.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения, содержит 140 страниц машинописного текста, в том числе 39 рисунков, 17 таблиц и библиографический список литературы из 94 наименований.

На защиту выносятся следующие результаты:

1. Метод выделения взаимодействий с различными группами ядер фотоэмульсии и центральных ядро-ядерных соударений для случая легкого ядра-снаряда и тяжелой мишени.

2. Экспериментальные данные по характеристикам неупругих взаимодействий протонов и альфа-частиц с ядрами с вылетом и без вылета быстрых адронов назад в л.с.к.

3. Поиск гидродинамических эффектов в центральных соударениях ядер гелия и углерода с тяжелыми ядрами.

4. Проведение сравнительного анализа фрагментационных характеристик легких и тяжелых ядер фотоэмульсии во взаимодействиях, вызванных протонами и альфа-частицами.

5. Проведение детального анализа протон-ядерных столкновений при отсутствии релятивистских заряженных частиц в конечном состоянии.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность и основная цель работы - изучение непериферических взаимодействий легких ядер с ядрами. Кратко изложено содержание диссертации.

В первой главе изложена экспериментальная методика<sup>/1,2/</sup>; использованная при обработке материала, полученного в стопках ядерных эмульсий, облученных протонами и ядрами гелия и углерода с импульсом  $p_0 = 4,5$  ГэВ/с на нуклон на синхрофазотроне ЛВЭ ОИЯИ. При облучении протонами и ядрами  ${}^4\text{He}$  использовались, кроме фотоэмульсий стандартного ядерного состава ( $E_m$ ) и фотоэмульсии, загруженные легкими ядрами  $\text{H}, \text{C}, \text{O}$  ( $E_m^*$ )<sup>/9/</sup>. Таким образом, экспериментальный материал состоит из 5 ансамблей неупругих соударений легких ядер с ядрами фотоэмульсии, полученных в сотрудничестве с лабораториями Алма-Аты, Бухареста, Кошице (ЧССР), Ленинграда, Москвы, Ташкента, Улан-Батора<sup>x</sup>.

Просмотр стопок был выполнен методом "вдоль следа". Измерялись пространственные ( $\theta$ ) и азимутальные ( $\gamma$ ) углы вылета всех заряженных частиц, которые были количественно разделены на релятивистские (a) "серые" (g), "черные" (b) и одно-, двух- и более зарядные стриппинговые фрагменты налетающего ядра ( $a', g', b'$ ).

Изложена методика выделения событий на отдельных группах ядер фотоэмульсии. Предложены и апробированы критерии отбора неупругих взаимодействий релятивистских ядер с водородом фотоэмульсии<sup>/9/</sup>. Их основой является использование информации о суммарном заряде всех фрагментов налетающего ядра Q. Введен новый метод разделения событий на группах ядер (C, N, O) и (Ag, Br), в котором статистические веса для разных групп определяются на основе фрагментационных характеристик легкой и тяжелой групп, полученных с помощью разностной процедуры из данных в  $E_m$  и  $E_m^*$ <sup>/8/</sup>.

Во второй главе диссертации представлены экспериментальные данные по общим характеристикам ядро-ядерных соударений.

Сравнительный анализ неупругих взаимодействий протонов и альфа-частиц с группами ядер (C, O) и (Ag, Br) показал<sup>/9/</sup>, что:

a) Увеличение коллимации вперед угловых спектров s- и g-частиц, наблюдающееся при увеличении массы ядра-снаряда  $A_c$ , происходит, в основном, при столкновениях с легкими ядрами фотоэмульсии,

x) Автор пользуется случаем выразить глубокую признательность коллегам по сотрудничеству за совместную работу по набору и частичному анализу экспериментального материала.

где роль прямых процессов весьма значительна. Это иллюстрируется на рис. 1, где для обеих рассматриваемых групп ядер  $A_M = (C, O)$  и  $A_M = (Ag, Br)$  приведены отношения инклюзивных распределений релятивистских частиц по квазибыстроте  $\eta = \ln \text{ctg}(\theta/2)$  вида

$$R_{A_M}(\eta) = \left[ \frac{1}{\sigma_{in}} \frac{d\sigma}{d\eta} (\text{He} + A_M) \right] / \left[ \frac{1}{\sigma_{in}} \frac{d\sigma}{d\eta} (p + A_M) \right].$$

б) Угловые распределения  $b$ -частиц (см. рис. 2, где они приведены в переменной  $\cos \theta$ ), испущенных из легких и тяжелых ядер-мишеней, весьма различаются по своей форме. Обращает на себя внимание широкий максимум в области углов  $60^\circ - 90^\circ$  в распределениях для  $p(C, O)$  (рис. 2а) и  ${}^4\text{He}(C, O)$  (рис. 2в) соударений, являющийся, вероятно, также следствием заметной роли прямых процессов, в том числе и упругого выбивания медленных нуклонов отдачи.

В работе также приведены для всех вышеуказанных комбинаций ядер-орядов и мишеней характеристики распределений по множественности и различные корреляции вторичных частиц. Отметим, что большую роль при их анализе и правильном понимании играет в случае налетающего протона необходимость учета энергодбаланса между продуктами фрагментации мишени и рожденными частицами. На это обстоятельство также указывают результаты<sup>4,6/</sup> сопоставления протон-ядерных (pA) взаимодействий при  $E_0 = 4,6$  ГэВ с данными при более высоких энергиях. Показано, что при  $E_0 < 20$  ГэВ существует выделенная группа событий, характеризующихся отсутствием релятивистских заряженных частиц в конечном состоянии. Проведенный нами анализ<sup>3/</sup> этого класса взаимодействий (дающего при наших энергиях  $E_0 \approx 12\%$ -ый вклад в  $\sigma_{in}$ ) принят с целью выяснить, возникают ли наблюдаемые события в глубоко-неупругих взаимодействиях, при которых налетающая частица останавливается в мишени (K.Nakai et al. Phys. Lett., 1983, 121B, p. 373) и

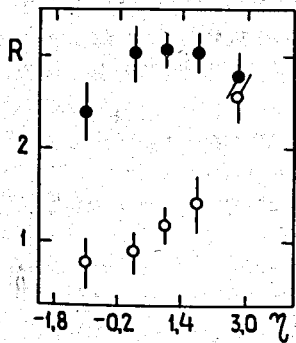


Рис. 1. Отношение  $R(\eta)$ :  $\bullet$  - (Ag, Br),  $\circ$  - (C, O).

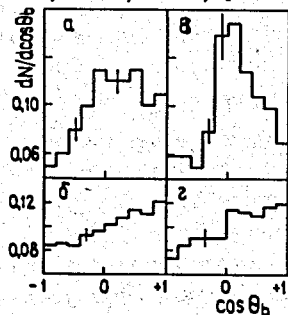


Рис. 2. Распределение по  $\cos \theta_b$  для налетающих протонов (а, б) и  $\alpha$ -частиц (в, г), для легких (а, в) и тяжелых (б, г) ядер-мишеней.

полностью отсутствует мезообразование (Z.Strugalski, EI-80-215, Дубна 1980). Установлено, что:

а) Характеристики  $g$ -частиц в событиях с  $n_g = 0$  отличаются от таких характеристик в событиях, где рождаются  $s$ -частицы (точнее  $n_s > 1$ ) только более широким распределением множественности и небольшим уменьшением асимметрии углового распределения.

б) Оба класса событий хорошо описываются каскадно-испарительной моделью (КИМ).

В рамках КИМ процессы с большими передачами энергии-импульса подавлены и основным источником событий без релятивистских заряженных частиц является реакция перезарядки налетающего протона в нейтрон. Ее вероятность быстро падает с ростом  $E_0$ , но увеличивается с числом перерассеяний протона в ядре, чем и объясняется относительно большое разрушение мишени в событиях с  $n_s = 0$ .

В третьей главе рассмотрены характеристики ядро-ядерных соударений с испусканием быстрых адронов ( $s$ - и  $g$ -частиц) в заднюю полу-сферу (ЗП) в л.с.к.

В  $pE_M$  и  ${}^{12}\text{CE}_M$  взаимодействиях проведено экспериментальное исследование предельной фрагментации ядер<sup>2,5/</sup>:

а) Импульсные спектры  $g$ -протонов, образованных в pA соударениях, описываются в области  $\cos \theta_g < -0,2$  и  $p < 0,65$  ГэВ/с экспоненциальной зависимостью  $\frac{E}{p} \frac{dN}{dp} = C \exp(-Bp^2)$ ,  $B = (12,6 \pm 1,8) (\text{ГэВ}/c)^{-2}$ ; их средняя энергия в ЗП не зависит от угла испускания  $\theta$ ;

б) Угловые распределения  $s$ - и  $g$ -частиц в ЗП в пределах ошибок опыта одинаковы для налетающих протонов и ядер углерода;

в) Коэффициенты  $\alpha$  степенной зависимости  $A_c^\alpha$  инклюзивных сечений выхода этих частиц от массы снаряда  $A_c$  равны  $\alpha(s) = 0,7 \pm 0,1$  и  $\alpha(g) = 0,5 \pm 0,1$ .

Изучение такой же зависимости от массы мишени  $A_M$  проведено для случая соударений протонов и ядер гелия с группами ядер (C, N, O) и (Ag, Br). Для налетающих протонов получено  $\alpha(s) = 0,9 \pm 0,1$  и  $\alpha(g) = 1,3 \pm 0,1$ ; для ядер гелия  $\alpha(s) = 1,3 \pm 0,1$  и  $\alpha(g) = 1,6 \pm 0,1$ . В случае  $g$ -частиц, значения всех вышеприведенных коэффициентов  $\alpha$  совпадают в пределах ошибок с такими же - для кумулятивных протонов (Барков Б.П. и др. препринт ИТЭФ, 1980, № 58, Аникина М.Х. и др. ОИЯИ I-83-616, Дубна 1983). Для ядра  ${}^4\text{He}$  показано, что  $\alpha(s)$  и  $\alpha(g)$  растут с увеличением числа провзаимодействовавших нуклонов ядра-снаряда.

Для взаимодействий, вызванных протонами и ядрами гелия, установлено<sup>8/</sup>:

а) Распределение множественности частиц  $n^B$  в ЗП как на легких, так и на тяжелых ядрах фотоэмульсии, как для  $s$ - , так и для  $g$ -

частиц,  $n_s^B$ ,  $n_g^B$  согласуется с геометрическим распределением  $P(n^B) = [1 - P(n^B > 0)] [P(n^B > 0)]^{n^B}$ .

Эта закономерность имеет более общий характер, чем формула  $P(n^B) = P(n^B = 1) P(n^B)$ , которая не противоречит опыту только в случае легких ядер-мишеней. Предложенное нами геометрическое распределение описывает также данные других экспериментов, напр., множественности протонов в ЗП из  $(p, d, {}^4\text{He}, {}^{12}\text{C}) + {}^{181}\text{Ta}$  взаимодействий при  $p_0 = 4,2 \text{ ГэВ/с}$  на нуклон (Ангелов Н. и др. ЯФ 1980, 32, с. 1582);

За исключением данных по  $\alpha$ -частицам из  $p(\text{Ag}, \text{Br})$  соударений, не наблюдается существенной зависимости вероятности испускания частиц данного типа в ЗП  $P(n^B > 0)$  ни от  $p_0$ , ни при переходе от налетающих протонов к ядрам гелия;

в) События, не сопровождающиеся вылетом быстрых адронов в ЗП, имеют сильно периферический характер. Их устранение при помощи критериев  $n_s^B > 0$  и  $n_g^B > 0$  позволяет выделять события полного разрушения ядер  $(\text{C}, \text{N}, \text{O})$ .

г) Для легких ядер наблюдается слабая корреляция между процессами испускания  $\alpha$ - и  $g$ -частиц назад, но для ядер  $(\text{Ag}, \text{Br})$  они уже практически независимы: угловые характеристики частиц в событиях с вылетом частицы такого же типа в ЗП не зависят от того, имеется или нет частица другого типа в ЗП.

В четвертой главе изложены результаты анализа характеристик центральных соударений ядер гелия и углерода с тяжелыми ядрами.

Показано, что  ${}^4\text{He}(\text{Ag}, \text{Br})$  соударения, удовлетворяющие часто используемому критерию центральности  $Q=0$ , содержат заметную периферическую компоненту<sup>8/</sup>. Характерным свойством последней является не только малое разрушение ядра-мишени, но и отсутствие  $g$ -частиц в ЗП. В соответствии с этим предложен дополнительный к условию  $Q=0$  критерий центральности<sup>7/</sup>: ограничение снизу на количество фрагментов ядра-мишени. При его применении к исследованию центральных соударений ядер гелия и углерода с ядрами брома и серебра получено<sup>7/</sup>:

а) Среднее число релятивистских частиц в этих соударениях пропорционально массе снаряда, что означает пропорциональность числу неупруго рассеянных нуклонов, налетающего ядра (учитывая факт, что в этих событиях неопределенность в числе провзаимодействовавших нейтронов ядра-снаряда была уже сведена практически к нулю);

б) Распределение по числу  $g$ -частиц, испущенных назад, не описывается, в отличие от усредненных по прицельному параметру взаимодействий, геометрическим распределением, а скорее, близким к пуассоновскому;

в) В анализируемых событиях наблюдается, с вероятностью близкой к единице, испускание  $g$ -частиц назад. Таким образом, установлено, что центральные соударения являются (для случая  $A_C \ll A_M$ ) подклассом взаимодействий с образованием адрона в ЗП.

Последнее утверждение послужило в дальнейшем основой для совместного обсуждения экспериментальных результатов, полученных в настоящей и предыдущих главах. Данные по непериферическим взаимодействиям (т.е. таким, где происходит вылет быстрого адрона назад) были подвергнуты систематическому анализу, основанному на сравнении с КИМ<sup>2-8/</sup>. Неучет образования резонансов, малонуклонных корреляций и (или) многокварковых конфигураций приводит к разной степени несогласованности КИМ с экспериментальными данными по большому числу характеристик. Здесь лишь отметим завышение в КИМ развития каскадной лавины, приводящее, в первую очередь, к заметной переоценке самой вероятности непериферических событий. Заключение о заметной роли коллективных эффектов в рассматриваемых соударениях оказывается, однако, в рамках проведенного анализа невозможным.

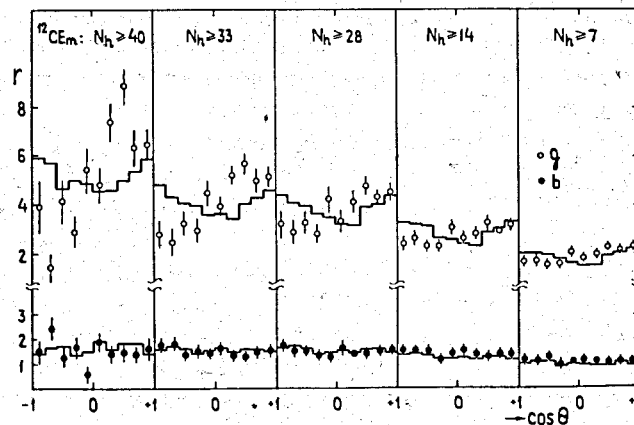


Рис. 3

Поиску таких (гидродинамических) эффектов посвящен последний раздел четвертой главы диссертации. На рис. 3 приведены инклюзивные угловые спектры  $g$  и  $b$ -частиц из  ${}^{12}\text{C}(\text{Ag}, \text{Br})$  взаимодействий с разной степенью разрушения ядра-мишени, отнесенные к такому же спектру из  $p(\text{Ag}, \text{Br})$ -соударений, имеющих  $N_h > 7/6$ . Обращает на себя внимание максимум в диапазоне  $50^\circ - 80^\circ$  в спектрах  $g$ -частиц, образо-

ванных в предельных расщеплениях ядер серебра. Его трактовка как проявление боковой эмиссии  $g$ -протонов кажется неубедительной: относительный спад в области малых углов можно объяснить ужесточением энергетических характеристик нуклонов, испущенных из ядра-мишени. В этом случае их заметная часть переходит из  $g$  в  $s$ -частицы.

Не менее интересными, однако, кажутся еще два обстоятельства: полное разногласие с КИМ (гистограмма) в случае  $g$ -частиц и "консервативность" спектров  $b$ -частиц по отношению к степени разрушения мишени (как в эксперименте, так и в КИМ).

В заключении сформулированы основные результаты диссертационной работы:

1. Разработана новая процедура выделения неупругих взаимодействий налетающих ядер с группами легких ( $C, N, O$ ) и тяжелых ( $Ag, Br$ ) ядер фотоэмульсии, являющейся синтезом разностного метода и статистического разделения.

2. На основе нового метода проведено систематическое исследование взаимодействий протонов и альфа-частиц с группами ядер ( $C, N, O$ ) и ( $Ag, Br$ ), сопровождающихся вылетом быстрой частицы в заднюю полусферу в л.с.к. Установлен ряд эмпирических свойств этих процессов, в том числе:

а) распределение по числу релятивистских, а также  $g$ -частиц, испущенных в заднюю полусферу, подчиняется как для легких, так и для тяжелых ядер-мишеней единому вероятностному закону - геометрическому;

б) вероятности соударений с вылетом быстрых частиц назад практически не зависят от энергий (в диапазоне  $E_0 = 4,6 + 400$  ГэВ) и масс ( $A_C = I + 4$ ) налетающих ядер и являются собственными характеристиками ядра-мишени, по которым можно восстановить распределения множественностей этих частиц;

в) распределение множественностей продуктов фрагментации легких ядер-мишеней не зависит от типа ( $s$  или  $g$ ) триггерной частицы, испущенной назад, и такие взаимодействия можно с большей вероятностью отнести к событиям полного развала этих ядер.

3. Разработаны критерии отбора центральных взаимодействий легких ядер - снарядов с тяжелыми ядрами, основой которых является совместное рассмотрение процессов фрагментации ядра-снаряда и ядра-мишени. Показано, что эти взаимодействия являются подклассом периферических соударений, характеризующихся вылетом быстрых частиц назад.

4. Показано, что протон-ядерные взаимодействия, в которых отсутствуют релятивистские заряженные частицы, не являются примером глубоководноупругого процесса, при котором налетающая частица останавливает-

ся в ядре-мишени. Установлено, что при  $E_0 > 20$  ГэВ вероятность этих взаимодействий пренебрежимо мала и при  $E_0 = 4,6$  ГэВ они хорошо описываются каскадно-испарительной моделью.

5. Изучены некоторые характеристики (множественности, угловые спектры) продуктов фрагментации легких и тяжелых ядер фотоэмульсии во взаимодействиях, вызванных легкими ядрами с энергией  $E_0 = 4,6$  ГэВ на нуклон. При этом обнаружено, что:

а) в угловых распределениях медленных фрагментов ( $b$ -частиц), испущенных из легких ядер-мишеней, имеется широкий максимум в области углов  $60^\circ + 90^\circ$ ;

б) с ростом степени расщепления ядер брома и серебра первичными ядрами углерода заметно увеличивается выход  $g$ -частиц в диапазоне углов  $50^\circ + 80^\circ$  в сравнении с  $p(Ag, Br)$  - взаимодействиями.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. B.P.Bannik, ..., M.Sumbera, ..., V.I.Ostroumov. Inelastic Interactions of Protons with Photoemulsion Nuclei at 4.5 GeV/c; Препринт ОИЯИ, PI-I3055, Дубна 1980. Czech. J.Phys.1981, B31, p.491.
2. V.I.Bubnov, ..., M.Sumbera, ..., B.Chadraa. Nuclear Interactions of 4.5 GeV/c Protons in Emulsion and the Cascade-Evaporation Model, Z. Phys. A - Atoms and Nuclei 1981, 302, p. 133.
3. M.Sumbera, S.Vokál. Inelastic Interactions of 4.5 GeV/c protons with Emulsion Nuclei not accompanied by Relativistic Charged Particles. Preprint JINR E1-81-436, Dubna 1981. Acta Phys. Slov. 1982, 32, p. 265.
4. M.Sumbera, S.Vokál. On some characteristics of the multiplicity distribution of shower particles originating from proton-emulsion interactions below 20 GeV. Proc. of the Int. Conf on Nucleus-Nucleus Coll., East Lansing, Michigan 1982, vol. 1. Abstracts, p.29. Сообщение ОИЯИ I-82-388, Дубна, 1982.
5. A.Abdelbalam, M.Sumbera, S.Vokál. Backward Particle Production by Protons on  $^{12}C$  Nuclei in Emulsion at Momenta of 4.5 GeV/c/A. Proc. of the Int. Conf. on Nucleus-Nucleus Coll., East Lansing, Michigan 1982, vol. 1, Abstract, p. 8. Preprint JINR E1-82-509, Dubna 1982.
6. С.Вокал, М.Шумбера. Угловые спектры вторичных частиц во взаимодействиях протонов и ядер углерода с ядрами фотоэмульсии при  $p_0 = 4,5$  А ГэВ/с. Препринт ОИЯИ I-83-389, Дубна, 1983. Ядерная физика, 1984, т. 39, № 6.

7. А.Абдельсалам, ..., М.Шумбера, ..., Р.Тогоо. Центральные столкновения ядер гелия и углерода с ядрами серебра и брома при импульсе 4,5 А ГэВ/с. Сообщение ОИЯИ Р1-83-577, Дубна, 1983.
8. С.Вокал, Р.Тогоо, ..., Г.С.Шабратова, М.Шумбера. Неупругие взаимодействия протонов и альфа-частиц с ядрами при импульсе 4,5 ГэВ/с на нуклон с испусканием быстрых адронов назад. Препринт ОИЯИ I-83-652, Дубна 1983.
9. В.Г.Богданов, С.Вокал, ..., Г.С.Шабратова, М.Шумбера. Сравнительный анализ взаимодействий протонов и  $\alpha$ -частиц при импульсе 4,5 ГэВ/с/нуклон с ядрами (C,O) и (Ag, Br). Сообщение ОИЯИ I-83-908, Дубна, 1983.

Рукопись поступила в издательский отдел  
13 марта 1984 года.