

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА

4842/82

P1-82-508

АНАЛИЗ КОЛЛЕКТИВНЫХ СВОЙСТВ  
ВТОРИЧНЫХ ЧАСТИЦ  
В СС-ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ  
ПРИ ИМПУЛЬСЕ 4,2 ГэВ/с НА НУКЛОН

Направлено в журнал "Ядерная физика"

1982

Г.Н.Агакишиев<sup>1</sup>, Н.Ахабабян, Ц.Баатар, Е.Балеа<sup>2</sup>, О.Балеа<sup>2</sup>,  
Е.Бартке, Е.Биалковска<sup>3</sup>, Е.Богданович, В.Болдеа<sup>2</sup>, А.П.Гаспарян,  
Н.С.Григалашвили<sup>4</sup>, В.Г.Гришин, К.К.Гудима<sup>5</sup>, Л.А.Диденко<sup>6</sup>,  
И.Н.Ерофеева<sup>6</sup>, И.А.Ивановская, Т.Канарек, Р.А.Кватадзе<sup>6</sup>,  
Ю.П.Келоглу<sup>5</sup>, Е.Н.Кладницкая, М.Ковальски, Э.Кондор, Д.К.Копы-  
лова, В.Б.Любимов, З.В.Метревели<sup>4</sup>, Р.Р.Мехтиев<sup>1</sup>, В.С.Мурзин<sup>6</sup>,  
В.Ф.Никитина, Т.Понта<sup>2</sup>, В.М.Попова<sup>6</sup>, Л.Симич, А.Н.Соломин<sup>6</sup>,  
М.И.Соловьев, М.К.Сулейманов<sup>1</sup>, В.Д.Тонеев, Г.П.Тонеева<sup>6</sup>,  
С.Хакман<sup>2</sup>, А.П.Чеплаков, Л.М.Щеглова<sup>6</sup>.

<sup>1</sup> Институт физики АН АзССР, г. Баку

<sup>2</sup> ЦИФ, г. Бухарест

<sup>3</sup> ИЭФ и Университет, г. Варшава

<sup>4</sup> ИФВЭ ТГУ, г. Тбилиси

<sup>5</sup> Университет и ИПФ АН МССР, г. Кишинев

<sup>6</sup> НИИЯФ МГУ, г. Москва

## §1. ВВЕДЕНИЕ

Коллективными свойствами частиц мы называем такие свойства, которыми обладают не отдельные частицы, а совокупность всех вторичных частиц или совокупность вторичных частиц определенного сорта, образовавшихся в ядро-ядерных взаимодействиях. Изучение коллективных свойств вторичных частиц, рожденных в ядро-ядерных столкновениях, представляет интерес для исследования таких эффектов, как коллективные взаимодействия нуклонов. Различные теоретические модели ядро-ядерных столкновений - коллективные и неколлективные - предсказывают различную конфигурацию событий в фазовом пространстве, которую не удастся проанализировать с помощью одночастичных инклюзивных распределений<sup>1/</sup>.

Примером модели неколлективных взаимодействий может служить модель внутриядерного каскада<sup>2-5/</sup>, в которой ядро-ядерные соударения представляются в виде последовательности нуклон-нуклонных и пион-нуклонных взаимодействий. В моделях каскадного типа ядро-ядерные столкновения характеризуются разлетом вторичных частиц в виде двух струй, коллимированных по направлению движения сталкивающихся ядер<sup>4/</sup>. Другими словами, ожидается, что конфигурация смоделированных событий в фазовом пространстве будет иметь вид цилиндра, ось которого ориентирована в основном по направлению первичного пучка.

Гидродинамическая модель<sup>6-8/</sup>, т.е. модель коллективного взаимодействия нуклонов, в случае столкновения одинаковых ядер предсказывает, что события в фазовом пространстве при малых параметрах удара будут иметь конфигурацию, напоминающую по форме диск, расположенный перпендикулярно направлению движения сталкивающихся ядер. Причем если для таких событий посчитать струйные характеристики в предположении двухструйной структуры разлета вторичных частиц в импульсном пространстве, то ось струй будет ориентирована в основном в направлении, перпендикулярном направлению первичного пучка.

Следовательно, в рамках этих моделей ядро-ядерных взаимодействий коллективные характеристики вторичных частиц должны быть различны.

В данной работе проводится анализ струйного рождения вторичных заряженных частиц и планарности событий во всех СС-взаимодействиях при импульсе 4,2 ГэВ/с на нуклон с множественностью  $p_{\perp} \geq 4$  и в многонуклонных соударениях этих же ядер. Экспериментальные данные сравниваются с предсказаниями модели независимых

нуклон-ядерных взаимодействий и модели внутриядерного каскада, основные положения которой опубликованы в работе<sup>/5/</sup>. Для моделирования СС-столкновений при импульсе 4,2 ГэВ/с на нуклон на основе модели независимых нуклон-ядерных взаимодействий использовались экспериментальные данные по  $p^{12}C$ -взаимодействиям при той же энергии, полученные той же методикой, что и данные по СС-соударениям.

## §2. ОПИСАНИЕ ПЕРЕМЕННЫХ

Анализ струйного поведения вторичных частиц в СС-взаимодействиях проводился с помощью переменных "сферисити" и "траст". Величина сферисити определялась традиционным образом:

$$S = \frac{3}{2} \min \frac{\sum_i P_{\perp i}^2}{\sum_i P_i^2} \quad /1/$$

Здесь  $\vec{P}_i$  - вектора импульсов вторичных частиц в с.ц.и. сталкивающихся ядер;  $P_{\perp i}$  - поперечные импульсы вторичных частиц относительно некоторой оси, которая выбирается таким образом, чтобы сумма  $\sum_i P_{\perp i}^2$  по всем заряженным частицам в событии принимала минимальное значение. Эта ось в предположении двухструйной структуры события является осью струй. Вычисление переменной сферисити производилось путем диагонализации матрицы, составленной из компонентов импульсов вторичных частиц в с.ц.и. СС-столкновений:

$$M_{\alpha\beta} = \sum_{i=1}^{n_{\pm}} P_{i\alpha} P_{i\beta}, \quad \alpha, \beta = x, y, z, \quad /2/$$

где  $n_{\pm}$  - число заряженных частиц в данном событии. Если диагональные элементы этой матрицы обозначить  $Q_1, Q_2$  и  $Q_3$  и расположить их в порядке возрастания величин  $Q_1 < Q_2 < Q_3$ , то значение сферисити для данного события можно определить следующим образом:

$$S = \frac{3}{2} \frac{Q_1 + Q_2}{Q_1 + Q_2 + Q_3} \quad /3/$$

Диагональным элементам матрицы /2/ соответствуют единичные вектора  $\vec{n}_1, \vec{n}_2$  и  $\vec{n}_3$ , задающие направления "главных осей" в событии. Вектор  $\vec{n}_3$  определяет направление наибольшей вытянутости события в импульсном пространстве и совпадает с осью струи. Геометрически диагональные элементы матрицы /2/  $Q_1, Q_2$  и  $Q_3$  являются главными осями эллипсоида вращения /рис.1/, а вектора  $\vec{n}_1, \vec{n}_2$  и  $\vec{n}_3$  задают направление этих осей.

Переменная сферисити принимает значения:

$$S = \begin{cases} 0, & \text{если } Q_3 \gg Q_1, Q_2, \text{ т.е. событие коллинеарное,} \\ 1, & \text{если } Q_1 = Q_2 = Q_3, \text{ т.е. событие имеет форму сферы.} \end{cases}$$

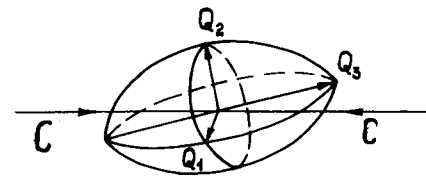


Рис.1. Схематическое изображение "главных" осей в событии.

Для каждого события величина траст определялась согласно формуле

$$T = \max \frac{\sum_i |P_{\parallel i}|}{\sum_i |P_i|}, \quad /4/$$

где  $P_{\parallel i}$  - продольные импульсы вторичных частиц в с.ц.и. сталкивающихся ядер относительно такой оси, для которой сумма  $\sum_i |P_{\parallel i}|$  имеет максималь-

ное значение. Траст принимает значения от 1 для коллинеарных событий до 0,5 - для изотропного распределения векторов импульсов вторичных частиц.

Для изучения планарности СС-соударений использовалась переменная "флэтнес", которая определяется следующим образом:

$$F = \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{Q_2 - Q_1}{Q_1 + Q_2 + Q_3} \quad /5/$$

Величина флэтнес равна 0 для событий, обладающих цилиндрической симметрией относительно направления  $\vec{n}_3$ , а для компланарных событий она принимает значение  $S/\sqrt{3}$ .

В работе, кроме того, рассматривались коллективные поперечные импульсы  $\langle P_{out}^2 \rangle$  и  $\langle P_{in}^2 \rangle$  вторичных частиц в событии, также характеризующие планарность СС-взаимодействий. Они определяются в системе координат "главных осей" по следующим формулам:

$$\langle P_{out}^2 \rangle = \frac{Q_1}{n_{\pm}}, \quad \langle P_{in}^2 \rangle = \frac{Q_2}{n_{\pm}}, \quad /6/$$

где  $n_{\pm}$  обозначает множественность вторичных частиц в событии. Чем меньше величина  $\langle P_{out}^2 \rangle$  и больше  $\langle P_{in}^2 \rangle$ , тем большей компланарностью отличается конфигурация вторичных частиц в фазовом пространстве.

## §3. МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Экспериментальный материал был получен с помощью двухметровой пропановой пузырьковой камеры ЛВЭ ОИЯИ, облученной в пучке протонов и ядер углерода при импульсе 4,2 ГэВ/с на нуклон. Примесь непучковых частиц при облучении ядрами углерода не превышала 3%. Полное число зарегистрированных в камере и измеренных взаимодействий  $p(C_3H_8)$  и  $C(C_3H_8)$  составило соответственно 1587 и 812.

События, найденные при просмотре снимков протонного облучения в соответствии со стандартными критериями отбора для пропановых камер, классифицировались как pp-, p- или pC-взаимодействия.

Событие относилось к типу pp(pn) -столкновений, если суммарный заряд всех вторичных частиц был равен +2 /+1/ и отсутствовал протон, летящий "назад" в лаб.системе. События, в которых сумма зарядов вторичных частиц была больше чем +2 или в которых присутствовал протон, летящий "назад" в лаб.системе, относились к типу pC-взаимодействий.

Взаимодействия, которые классифицировались как pp-столкновения, состояли из соударений первичных протонов с водородом пропана и соударений протонов с квазисвободными протонами ядер углерода. Доля последних,  $\alpha$ , оценивалась из соотношения

$$\frac{8\sigma_{tot}(pp)}{\sigma_{in}(pC_3H_8)} = \frac{N(pp) - \alpha N(pp)}{N(pC_3H_8)}$$

где  $N(pp)$  - полное число событий, отнесенных к типу pp-столкновений;  $N(pC_3H_8)$  - число взаимодействий, зарегистрированных в пропане;  $\sigma_{tot}(pp)$  - полное сечение pp-столкновений;  $\sigma_{in}(pC_3H_8)$  - сечение неупругого взаимодействия протона с пропаном. Значение  $\alpha$  оказалось равным 0,42. Количество взаимодействий протонов с ядрами углерода определялось следующим образом:

$$N(p^{12}C) = N(pC) + N(pn) + \alpha N(pp).$$

В данной работе не вводились специальные критерии для выделения CC-событий из взаимодействий углерода с пропаном. Однако были проведены оценки величины примеси Ср-соударений среди всех C(C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>)-взаимодействий, удовлетворяющих заданным условиям отбора. При вычислении коллективных переменных не исключались многозарядные и однозарядные стриппинговые частицы, т.е. частицы с импульсом в лаб.системе  $P \geq 3,0$  ГэВ/с, летящие под углом  $\theta \leq 4^\circ$  относительно первичного направления, и так называемые испарительные частицы: медленные p и d с импульсом  $P \leq 300$  МэВ/с на нуклон /  $\alpha$  - частицы с таким импульсом в пропановой камере не регистрируются/. Анализировались события, в которых множественность вторичных заряженных частиц, оставшихся после исключения описанных выше невазаимодействующих частиц, составила  $n_{\pm} \geq 4$ . Количество таких C(C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>)-взаимодействий оказалось равным 415. Доля Ср-событий среди них,  $\gamma$ , определялась из соотношения

$$\gamma = \frac{8\sigma(Cp)_{n_{\pm} \geq 4}}{\sigma_{in}(CC_3H_8)} \cdot \frac{N(CC_3H_8)}{N(CC_3H_8)_{n_{\pm} \geq 4}}$$

где  $N(CC_3H_8)$  и  $N(CC_3H_8)_{n_{\pm} \geq 4}$  соответствуют полному числу всех взаимодействий углерода с пропаном и количеству отобранных для анализа событий с множественностью  $n_{\pm} \geq 4$ . Величина сечения  $\sigma(Cp)_{n_{\pm} \geq 4}$  Ср-соударений с множественностью заряженных частиц  $n_{\pm} \geq 4$  оценивалась исходя из данных по взаимодействиям протонов с пропаном при той же энергии 4,2 ГэВ/с. Доля Ср-событий  $\gamma$  оказалась равной ~13,6%.

Многонуکلонные CC-взаимодействия отбирались при специальном просмотре по следующим критериям:

а/ в событии отсутствовали многозарядные стриппинговые фрагменты от налетающего ядра углерода;

б/ число однозарядных стриппинговых частиц с импульсом  $P_{лаб.} \geq 3,0$  ГэВ/с, летящих под углом  $\theta \leq 4^\circ$  относительно первичного пучка, не превышало 2; т.е. число взаимодействующих протонов от налетающего ядра углерода составило  $\nu_p \geq 4$ ;

в/ суммарный заряд всех вторичных частиц в событии был больше  $Q > +7$ .

При таком отборе среднее число участвующих во взаимодействии нуклонов оказалось равным  $\langle \nu_N \rangle = 15$ . Доля многонуکلонных CC-взаимодействий, удовлетворяющих описанным выше критериям отбора, составила примерно 13% от всех CC-соударений. После исключения стриппинговых и испарительных частиц количество многонуکلонных CC-столкновений с множественностью  $n_{\pm} \geq 4$  оказалось равным 780.

Зарегистрированные в камере взаимодействия измерялись на полувтоматах САМЕТ и ПУОС и обсчитывались по программе геометрической и кинематической реконструкции событий ГЕОФИТ. Средняя относительная ошибка в измерении импульсов вторичных частиц составила 12%, а наиболее вероятное ее значение - 6%. Средняя ошибка в измерении углов равнялась 0,01 рад. Более подробно методические вопросы, связанные с обработкой событий, образованных релятивистскими ядрами в пропановой камере, рассмотрены в работе<sup>9/</sup>. Средний импульс, начиная с которого регистрировались протоны, составил 150 МэВ/с; дополнительные пионы можно было отличить от протонов по пробегу и ионизации в интервале импульсов  $P_{лаб.} \leq 700$  МэВ/с, в остальных случаях  $\pi^+$ -мезоны относились к протонам. Дейтроны и ядра трития идентифицировались визуально по ионизации в интервале импульсов  $1 \div 2,5$  ГэВ/с.

Для анализа экспериментальных данных по CC-взаимодействиям использовалась модель независимых нуклон-ядерных столкновений. Согласно этой модели каждый нуклон ядра-снаряда независимо от других нуклонов взаимодействует с ядром-мишенью, так что ядро-ядерное взаимодействие можно представить как сумму независимых нуклон-ядерных столкновений. Для моделирования CC-столкновений использовались данные по  $p^{12}C$ -взаимодействиям. Суммирование  $p^{12}C$ -взаимодействий производилось с учетом их топологических сечений таким образом, чтобы распределение по множественности заряженных частиц для смоделированных событий совпадало с распределением по множественности для отобранных экспериментальных CC-взаимодействий.

Средние значения множественности анализируемых заряженных частиц для всех CC-взаимодействий и многонуکلонных столкновений ядер углерода оказались равными соответственно  $7,8 \pm 0,2$  и  $13,4 \pm 0,1$ .

Чтобы обеспечить в среднем симметричную конфигурацию смоделированных CC-соударений в фазовом пространстве в с.ц.и. сталкивающихся ядер, в процессе суммирования  $p^{12}C$ -взаимодействий

в каждом втором событии направление векторов импульсов всех вторичных частиц в той же системе ц.и. заменялось на противоположное.

#### §4. АНАЛИЗ СТРУЙНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

Струйное поведение вторичных заряженных частиц, рожденных во всех  $CC$ -взаимодействиях и в многонуклонных столкновениях этих ядер с множественностью  $n_{\pm} \geq 4$ , исследовалось с помощью переменных сферисити  $S$  и траст  $T$ . Кроме того, отдельно изучались коллективные свойства  $\pi^-$ -мезонов в многонуклонных  $CC$ -соударениях с множественностью  $n_{\pi^-} \geq 4$ . Анализ проводился в с.ц.и.  $CC$ -столкновений, совпадающей с с.ц.и.  $NN$ -столкновений. В табл.1 представлены средние значения переменных  $S$  и  $T$  для всех  $CC$ -взаимодействий и многонуклонных соударений ядер углерода.

Распределения  $CC$ -событий по величине сферисити показаны на рис.2. Здесь же приведены результаты расчетов по модели независимых нуклон-ядерных столкновений и модели внутриядерного каскада для  $CC$ -столкновений при импульсе 4,2 ГэВ/с на нуклон, проведенных с учетом методических особенностей эксперимента.

Как видно из распределений,  $CC$ -взаимодействия не являются сферически-симметричными и характеризуются струйной конфигурацией вторичных частиц в импульсном пространстве. Средняя величина сферисити для всех  $CC$ -столкновений равна  $\langle S \rangle = 0,356 \pm 0,009$ . Модель независимых нуклон-ядерных столкновений и модель внутриядерного каскада хорошо описывают экспериментальные данные для всех  $CC$ -взаимодействий. Совпадение результатов расчета для обеих моделей, по-видимому, обусловлено тем обстоятельством, что  $CC$ -столкновения, смоделированные на основе гипотезы о независимости нуклон-ядерных взаимодействий, учитывают процессы каскадного типа, происходящие при столкновениях нуклонов с ядрами углерода.

Многонуклонные  $CC$ -столкновения характеризуются большей сферичностью распределения заряженных частиц в фазовом пространстве /рис.2б/, чем все  $CC$ -взаимодействия в среднем. Средняя величина сферисити для них, как видно из табл.1, увеличивается до  $0,477 \pm 0,006$ . Смоделированные многонуклонные  $CC$ -события в обоих подходах отличаются более струйной конфигурацией всех вторичных заряженных частиц в фазовом пространстве / $\langle S \rangle = 0,41$ / и не описывают экспериментальное распределение по переменной  $S$  для многонуклонных  $CC$ -взаимодействий.

Однако струйное поведение  $\pi^-$ -мезонов из многонуклонных  $CC$ -соударений с множественностью  $n_{\pi^-} \geq 4$  /рис.2в/ хорошо согласуется с гипотезой об образовании отрицательных пионов в процессах каскадного типа в нуклон-ядерных и ядро-ядерных взаимодействиях. Таким образом, расхождение экспериментальных данных для многонуклонных  $CC$ -взаимодействий с расчетами по моделям неколлективного типа, представленными в этой работе, обусловлено осо-

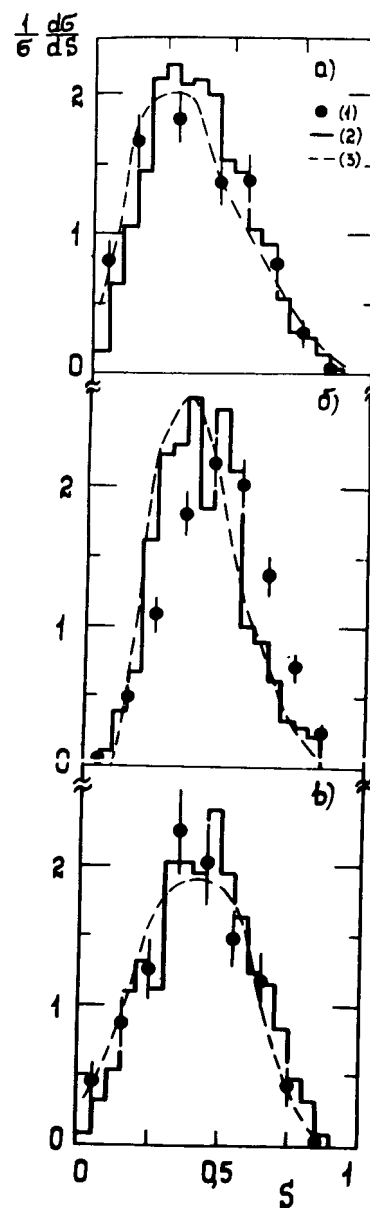


Рис.2. Распределение по переменной сферисити  $CC$ -взаимодействий с множественностью заряженных частиц  $n_{\pm} \geq 4$ : а/ всех, б/ многонуклонных, в/  $\pi^-$ -мезонов из многонуклонных  $CC$ -соударений. Распределения получены: /1/ - в эксперименте, /2/ - в модели внутриядерного каскада, /3/ - в модели независимых нуклон-ядерных столкновений.

бенностями в поведении вторичных протонов и сложных частиц  $d, t, He$ , которые приводят к увеличению сферичности событий.

На рис.3 распределения  $CC$ -соударений по переменной траст сравниваются с аналогичными распределениями, полученными для модели внутриядерного каскада. Так же, как и величина сферисити, поведение переменной траст для всех  $CC$ -взаимодействий и для  $\pi^-$ -мезонов из многонуклонных столкновений хорошо согласуется с данными для каскадной модели. Распределение многонуклонных соударений по величине  $T$  с учетом всех вторичных частиц отличается от аналогичного распределения смоделированных событий.

Как отмечалось во введении, коллективные и неколлективные механизмы ядро-ядерных столкновений характеризуются различной ориентацией оси струй относительно первичного направления. Поэтому анализ угловых распределений осей струй  $CC$ -взаимодействий относительно направления движения сталкивающихся ядер может дать дополнительную информацию о характере этих взаимодействий.

На рис.4 представлены распределения всех  $CC$ -взаимодействий и многонуклонных соударений этих ядер по величине  $|\cos\theta|$ , где  $\theta$  - угол, образуемый осью струй с первичным направлением. Как видно из рисунка, угловое распределение осей струй для всех  $CC$ -

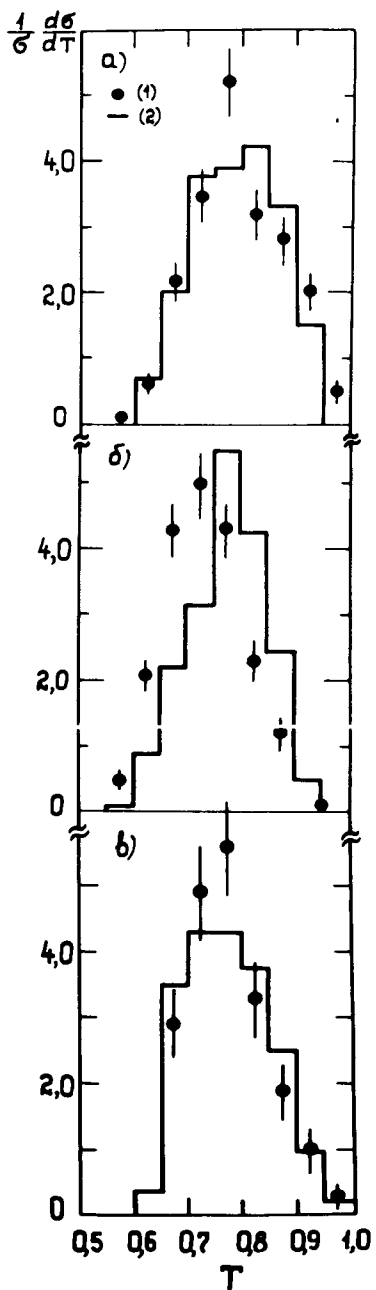


Рис.3. Распределение по переменной тракт СС-взаимодействий с множественностью заряженных частиц  $n_{\pm} \geq 4$ : а/ всех, б/ многонуклонных, в/  $\pi^-$ -мезонов из многонуклонных СС-соударений. Распределения получены: /1/ - в эксперименте, /2/ - в модели внутриядерного каскада.

столкновений, а также для многонуклонных соударений отличается от изотропного и указывает на то, что образование струй вторичных частиц происходит в основном в направлении, близком к направлению пучка. Причем в многонуклонных СС-соударениях в эксперименте ориентация оси струй всех вторичных заряженных частиц относительно первичного направления такая же, как и для всех СС-столкновений в среднем. Угловое распределение осей струй  $\pi^-$ -мезонов, рожденных в многонуклонных СС-соударениях /рис.4в/, отличается большей изотропией по сравнению с аналогичным распределением для струй вторичных частиц с участием положительных пионов, протонов и сложных барионов. Это видно также из табл.1, где представлены средние значения  $|\cos\theta|$  для всех СС-взаимодействий и многонуклонных столкновений ядер углерода. Такое поведение осей струй вторичных заряженных частиц из всех СС-столкновений и струй  $\pi^-$ -мезонов из многонуклонных соударений ядер углерода хорошо согласуется с гипотезой о независимости нуклон-ядерных взаимодействий и с предсказаниями модели внутриядерного каскада.

Однако предсказания обеих моделей для углового распределения осей струй всех вторичных заряженных частиц из многонуклонных СС-

соударений отличаются от экспериментальных данных. Как видно из рис.4б, в смоделированных многонуклонных СС-столкновениях ось струй вторичных заряженных частиц сильнее коллимирована относительно первичного направления, чем наблюдается в эксперименте. Средняя величина  $|\cos\theta|$  в обеих моделях составляет  $0,94 \pm 0,01$ , в то время как ее экспериментальное значение равно  $0,860 \pm 0,007$ .

Таким образом, в многонуклонных СС-столкновениях при импульсе 4,2 ГэВ/с на нуклон в эксперименте образование струй вторичных заряженных частиц происходит под большими углами к направлению пучка, чем это следует ожидать из моделей ядро-ядерных взаимодействий неколлективного типа. Причем расхождение экспериментальных данных с модельными расчетами обусловлено особенностями в поведении протонов и сложных барионов.

## §5. ПЛАНАРНОСТЬ

Планарность - одно из коллективных свойств вторичных частиц, образующихся в различных процессах множественного рождения, которое зависит от особенностей механизма взаимодействия /например, процессы с испусканием глюонов в  $e^+e^-$ -столкновениях и процессы с жестким кварк-кварковым рассеянием в адрон-адронных взаимодействиях характеризуются большой планарностью/.

В ядро-ядерных столкновениях, как отмечалось во введении, модели коллективного и неколлективного типа также различаются планарностью событий в фазовом пространстве.

Хотя существует несколько переменных, с помощью которых можно изучать планарность конфигурации вторичных частиц, в данной работе рассматривались следующие величины:  $\langle P_{out}^2 \rangle$ ,  $\langle P_{in}^2 \rangle$  и флэтнес F, значение которой в каждом событии пропорционально разности  $\langle P_{in}^2 \rangle - \langle P_{out}^2 \rangle$ . В табл.2 приведены средние значения этих переменных для всех СС-взаимодействий и многонуклонных столкновений этих ядер с множественностью заряженных частиц  $n_{\pm} \geq 4$ .

Распределения СС-соударений по переменной F показаны на рис.5. Здесь же приведены результаты расчета этой величины по модели внутриядерного каскада. Из рисунка видно, что распределения всех СС-столкновений и многонуклонных взаимодействий этих же ядер по переменной F, вычисленной с учетом всех вторичных заряженных частиц, в событии приблизительно одинаковы. Средние значения F для обоих процессов малы и, как видно из таблицы 2, составляют  $\sim 0,11$ . Отрицательные пионы, образующиеся в многонуклонных СС-соударениях, характеризуются большим средним значением F и более изотропным распределением по этой переменной. Экспериментальные данные для всех СС-взаимодействий и для  $\pi^-$ -

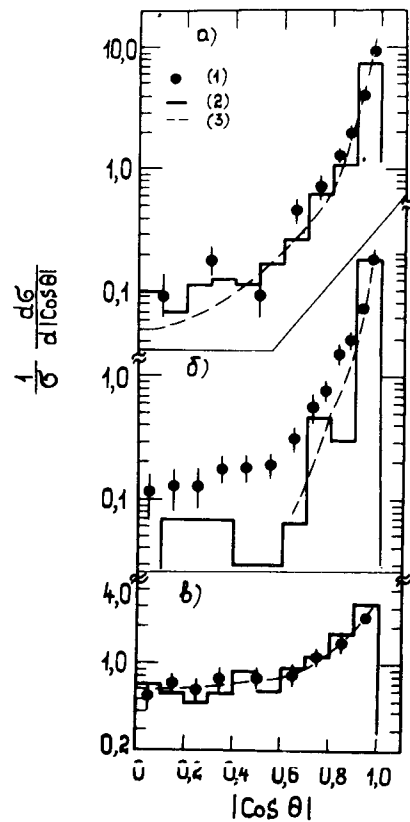


Рис.5. Распределение по переменной флэтнес  $F$   $CC$ -взаимодействий: а/ всех, б/ много-нуклонных, в/  $\pi^-$ -мезонов из много-нуклонных  $CC$ -соударений. Распределения получены: /1/ в эксперименте, /2/ - в модели внутриядерного каскада.

Рис.4. Распределение оси струй вторичных заряженных частиц в  $CC$ -взаимодействии по величине  $|\cos\theta|$ , где  $\theta$  - угол относительно направления пучка /ось находилась с помощью переменной сферисити/: а/ во всех, б/ в много-нуклонных взаимодействиях, в/ распределение осей струй вторичных  $\pi^-$ -мезонов из много-нуклонных  $CC$ -соударений. Распределения получены: /1/ - в эксперименте, /2/ - в модели внутриядерного каскада, /3/ - в модели независимых нуклон-ядерных столкновений.

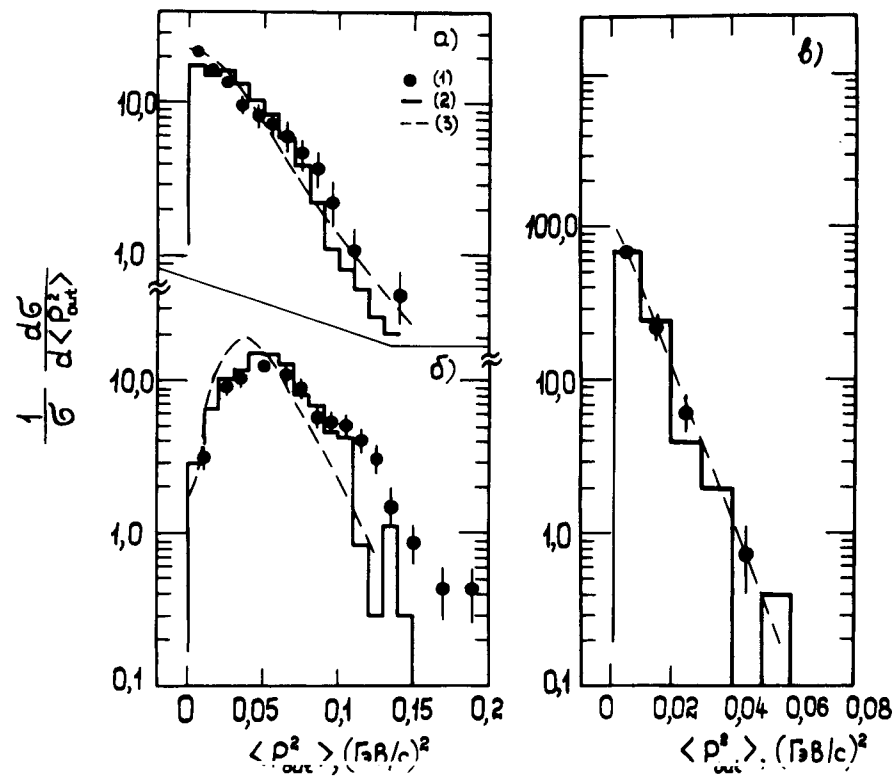
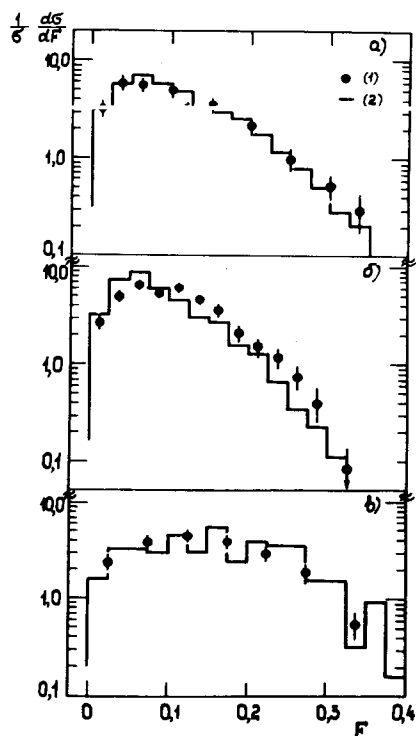


Рис.6. Распределение по поперечному импульсу  $\langle p_{out}^2 \rangle$  вторичных заряженных частиц, образующихся в  $CC$ -взаимодействии: а/ во всех, б/ в много-нуклонных, в/ - распределение  $\pi^-$ -мезонов из много-нуклонных  $CC$ -столкновений. Распределения получены: /1/ - в эксперименте, /2/ - в модели внутриядерного каскада, /3/ - в модели независимых нуклон-ядерных взаимодействий.

мезонов из много-нуклонных столкновений ядер углерода хорошо описываются моделью внутриядерного каскада. В распределении много-нуклонных  $CC$ -соударений в эксперименте наблюдаются лишь небольшие расхождения с расчетами по каскадной модели.

Полученные результаты указывают на то, что вторичные заряженные частицы, образующиеся во всех, и много-нуклонных,  $CC$ -взаимодействиях, имеют конфигурацию в фазовом пространстве, близкую к цилиндрически - симметричной относительно оси струй. Отличие величины  $F$  от 0 может быть обусловлено влиянием флуктуаций в распределении вторичных частиц в фазовом пространстве, проявляющихся при выборе осей.

Таблица 1

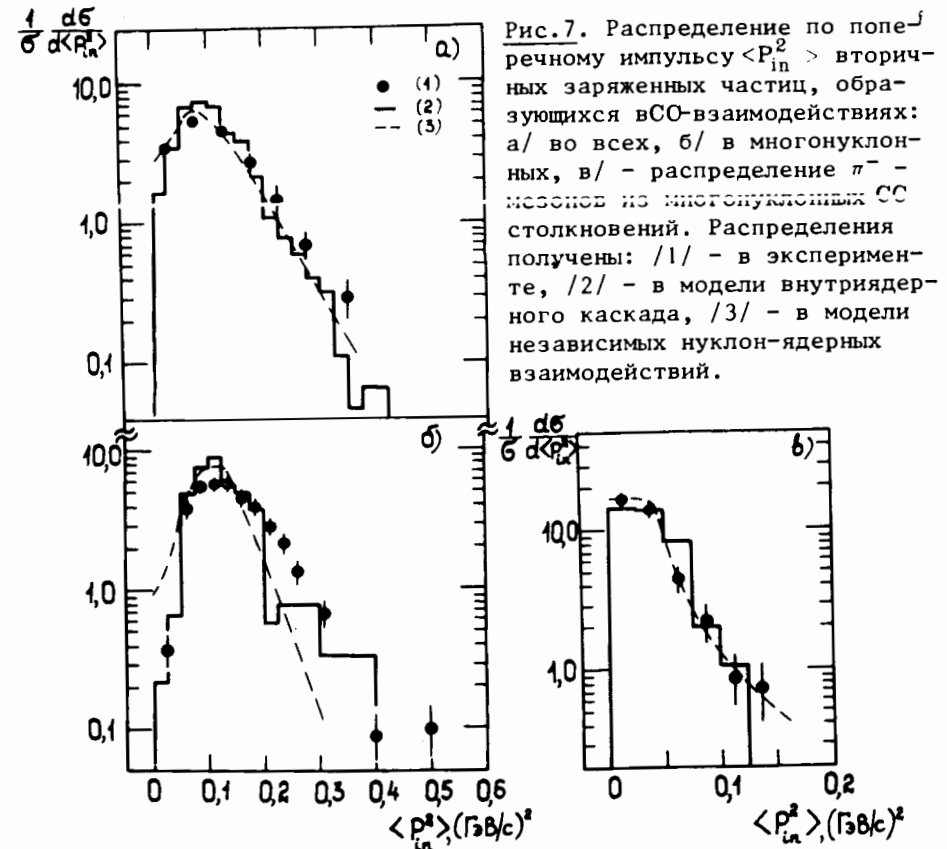
Переменные			$\langle S \rangle$	$\langle T \rangle$	$\langle  \cos\theta  \rangle$
Тип взаимодействия					
СС все	экспер.		$0,356 \pm 0,009$	$0,791 \pm 0,004$	$0,868 \pm 0,009$
	модель*		$0,35 \pm 0,01$		$0,90 \pm 0,01$
СС многонуклонные	все заряженные частицы	экспер.	$0,477 \pm 0,006$	$0,735 \pm 0,003$	$0,860 \pm 0,007$
		модель*	$0,40 \pm 0,01$		$0,94 \pm 0,001$
	$\pi^-$ -мезон	экспер.	$0,41 \pm 0,01$	$0,776 \pm 0,005$	$0,63 \pm 0,02$
		модель*	$0,41 \pm 0,02$		$0,65 \pm 0,03$

Таблица 2

Переменные			$\langle F \rangle$	$\langle \langle P_{out}^2 \rangle \rangle$ , (ГэВ/с) <sup>2</sup>	$\langle \langle P_{in}^2 \rangle \rangle$ , (ГэВ/с) <sup>2</sup>
Тип взаимодействия					
СС все	экспер.		$0,111 \pm 0,004$	$0,037 \pm 0,002$	$0,123 \pm 0,004$
	модель*		$0,111 \pm 0,004$	$0,033 \pm 0,002$	$0,112 \pm 0,004$
СС многонуклонные	все заряженные частицы	экспер.	$0,108 \pm 0,002$	$0,066 \pm 0,001$	$0,157 \pm 0,003$
		модель*	$0,100 \pm 0,004$	$0,046 \pm 0,002$	$0,118 \pm 0,004$
	$\pi^-$ -мезоны	экспер.	$0,158 \pm 0,006$	$0,0081 \pm 0,0005$	$0,040 \pm 0,002$
		модель*	$0,153 \pm 0,007$	$0,009 \pm 0,001$	$0,035 \pm 0,003$

\* Данные приводятся для модели независимых нуклон-ядерных столкновений. Средние значения рассматриваемых переменных в модели внутриядерного каскада в пределах ошибок совпадают с представленными величинами.

На рис.6 и 7 показаны распределения СС-взаимодействий, экспериментальных и смоделированных по величинам  $\langle P_{out}^2 \rangle$  и  $\langle P_{in}^2 \rangle$ . Видно, что многонуклонные СС-соударения в эксперименте характеризуются большими значениями поперечных импульсов  $\langle P_{out}^2 \rangle$  и  $\langle P_{in}^2 \rangle$  всех вторичных заряженных частиц /табл.2/ и более широким их распределением по этим переменным, чем все СС-взаимодействия в среднем. Однако для отрицательных пионов, рожденных в многонуклонных соударениях ядер углерода, средние значения поперечных импульсов  $\langle P_{out}^2 \rangle$  и  $\langle P_{in}^2 \rangle$  в несколько раз меньше, чем для всех заряженных частиц /табл.2/, и распределения по этим величинам сильно отличаются от соответствующих распределений с участием протонов и сложных барионов. Модель внутриядерного каскада и модель независимых нуклон-ядерных соударений хорошо описывают распределения всех СС-столкновений и  $\pi^-$ -мезонов из многонуклонных взаимодействий ядер углерода по поперечным импульсам  $\langle P_{out}^2 \rangle$  и  $\langle P_{in}^2 \rangle$ . В распределении всех вторичных заряженных частиц из многонуклонных СС-соударений





по величине  $\langle P_{out}^2 \rangle$  наблюдается плечо в области относительно больших значений  $\langle P_{out}^2 \rangle > 0,07 / \text{ГэВ}/\text{с}/^2$ , которое нельзя описать с помощью каскадного механизма ядро-ядерных столкновений. Смоделированные многонуклонные СС-взаимодействия характеризуются меньшими значениями коллективного поперечного импульса  $\langle\langle P_{out}^2 \rangle\rangle$  в среднем по событиям /табл.2/, чем экспериментальные взаимодействия. Возможно, что наблюдающиеся особенности в распределении многонуклонных СС-соударений по величине  $\langle P_{out}^2 \rangle$  указывают на существование двух механизмов ядро-ядерных взаимодействий, различающихся средними по событиям величинами  $\langle P_{out}^2 \rangle$ .

Распределение многонуклонных СС-столкновений по переменной  $\langle P_{in}^2 \rangle$  также не удастся описать с помощью рассматриваемых здесь моделей неколлективных взаимодействий.

Полученные результаты указывают на то, что в многонуклонных СС-соударениях при импульсе 4,2 ГэВ/с на нуклон наблюдаются процессы, в которых протоны и сложные барионы рождаются с большими значениями коллективных поперечных импульсов  $\langle P_{out}^2 \rangle$  и  $\langle P_{in}^2 \rangle$ . Свойства этих протонов и сложных частиц нельзя объяснить в рамках рассматриваемых в данной работе моделей СС-взаимодействий неколлективного типа.

## §6. ВЫВОДЫ

Анализ коллективных свойств вторичных частиц в СС-взаимодействиях при импульсе 4,2 ГэВ/с на нуклон позволяет сделать следующие основные выводы:

1. В СС-столкновениях при импульсе 4,2 ГэВ/с на нуклон наблюдается струйное рождение вторичных заряженных частиц, коллективированных в основном по направлению движения сталкивающихся ядер.

В многонуклонных СС-взаимодействиях, характеризующихся малыми параметрами удара, события становятся более сферичными.

2. Коллективные свойства вторичных заряженных частиц, образующихся в СС-соударениях при импульсе 4,2 ГэВ/с на нуклон, в среднем можно описать с помощью модели внутриядерного каскада и в предположении независимости нуклон-ядерных взаимодействий.

3. В многонуклонных СС-столкновениях при импульсе 4,2 ГэВ/с на нуклон наблюдается рождение протонов и сложных барионов, коллективные свойства которых, выраженные в переменных сферисити, траст,  $\langle P_{out}^2 \rangle$  и  $\langle P_{in}^2 \rangle$ , нельзя объяснить в рамках рассматриваемых в данной работе моделей СС-взаимодействий неколлективного типа.

Полученные результаты указывают на возможное проявление природы коллективных взаимодействий нуклонов в многонуклонных СС-столкновениях при импульсе 4,2 ГэВ/с на нуклон.

В заключение авторы выражают благодарность лаборантам и измерителям за помощь в обработке экспериментального материала.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Nix J.R. et al. Phys.Rev., 1982, C25, p. 2491.
2. Cugnon J. Phys.Rev., 1981, C22, p. 2094.
3. Yariv Y., Fraenkel Z. Phys.Rev., 1979, C20, p. 2227; 1981, C22, p. 488.
4. Cugnon J. et al. Preprint GSI-81-45, December, 1981 (Darmstadt).
5. Гудима К.К., Тонеев В.Д. ЯФ, 1978, 27, с. 658.
6. Stocker H. et al. Phys.Rev.Lett., 1980, 44, p. 725; LBL preprint 11774, 1981.
7. Kapusta J., Strottman D. Phys.Rev., 1981, C23, p. 1282.
8. Stock R. LBL preprint 12884, 1981.
9. Ангелов Н., Ахабабян Н. и др. ОИЯИ, 1-12424, Дубна, 1979.

Рукопись поступила в издательский отдел  
1 июля 1982 года.

## НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

Вы можете получить по почте перечисленные ниже книги,  
если они не были заказаны ранее.

Д13-11182	Труды IX Международного симпозиума по ядерной электронике. Варна, 1977.	5 р. 00 к.
Д17-11490	Труды Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1977.	6 р. 00 к.
Д6-11574	Сборник аннотаций XV совещания по ядерной спектроскопии и теории ядра. Дубна, 1978.	2 р. 50 к.
Д3-11787	Труды III Международной школы по нейтронной физике. Алушта, 1978.	3 р. 00 к.
Д13-11807	Труды III Международного совещания по пропорциональным и дрейфовым камерам. Дубна, 1978.	6 р. 00 к.
	Труды VI Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1978 /2 тома/	7 р. 40 к.
Д1,2-12036	Труды V Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1978	5 р. 00 к.
Д1,2-12450	Труды XII Международной школы молодых ученых по физике высоких энергий. Приморско, НРБ, 1978.	3 р. 00 к.
	Труды VII Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц, Дубна, 1980 /2 тома/	8 р. 00 к.
Д11-80-13	Труды рабочего совещания по системам и методам аналитических вычислений на ЭВМ и их применению в теоретической физике, Дубна, 1979	3 р. 50 к.
Д4-80-271	Труды Международной конференции по проблемам нескольких тел в ядерной физике. Дубна, 1979.	3 р. 00 к.
Д4-80-385	Труды Международной школы по структуре ядра. Алушта, 1980.	5 р. 00 к.
Д2-81-543	Труды VI Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1981	2 р. 50 к.
Д10,11-81-622	Труды Международного совещания по проблемам математического моделирования в ядерно-физических исследованиях. Дубна, 1980	2 р. 50 к.
Д1,2-81-728	Труды VI Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1981.	3 р. 60 к.
Д17-81-758	Труды II Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1981.	5 р. 40 к.
Д1,2-82-27	Труды Международного симпозиума по поляризационным явлениям в физике высоких энергий. Дубна, 1981.	3 р. 20 к.
Р18-82-117	Труды IV совещания по использованию новых ядерно-физических методов для решения научно-технических и народнохозяйственных задач. Дубна, 1981.	3 р. 30 к.

Заказы на упомянутые книги могут быть направлены по адресу:  
101000 Москва, Главпочтзтм, п/я 79

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований

Агакишиев Г.Н. и др. P1-82-508  
Анализ коллективных свойств вторичных частиц в CC-взаимодействиях при импульсе 4,2 ГэВ/с на нуклон

Анализируются коллективные свойства вторичных заряженных частиц, образующихся в CC-взаимодействиях при импульсе 4,2 ГэВ/с на нуклон, а также в многонуклонных соударениях этих же ядер, выраженные в переменных "сферисити", "траст", "флэтнес",  $\langle P_{out}^2 \rangle$  и  $\langle P_{in}^2 \rangle$ . Экспериментальные данные сравниваются с предсказаниями модели внутриядерного каскада и модели независимых нуклон-ядерных столкновений. Показано, что в многонуклонных CC-соударениях наблюдается рождение протонов и сложных барионов, коллективные свойства которых нельзя описать с помощью рассмотренных в работе моделей CC-столкновений неколлективного типа.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1982

Agakishiev G.N. et al. P1-82-508  
Analysis of Collective Properties of Secondary Particles in CC-Interactions at 4.2 GeV/c per Nucleon

Collective properties of charged secondary particles produced in all and in multinucleon CC-collisions at 4.2 GeV/c per nucleon are analysed. These are expressed in terms of sphericity, thrust, flatness,  $\langle P_{out}^2 \rangle$  and  $\langle P_{in}^2 \rangle$ . The experimental data are compared with the intranuclear cascade model predictions and with the calculations by the model assuming independent nucleon-nuclear interactions. It is shown that collective properties of protons and compound particles (d,t,He) produced in multinucleon CC-collisions cannot be described by these models of noncollective type nucleus-nucleus interactions.

The investigation has been performed at the Laboratory of High Energies, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1982

Перевод О.С.Виноградовой.