

**Применение метода ядерных
фотоэмульсий для исследования
множественной фрагментации
релятивистских ядер ^{14}N .**

**(Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий Объединенного
института ядерных исследований, г. Дубна)**

Станоева Р. .Ж. (ИЯИЯЭ, София)

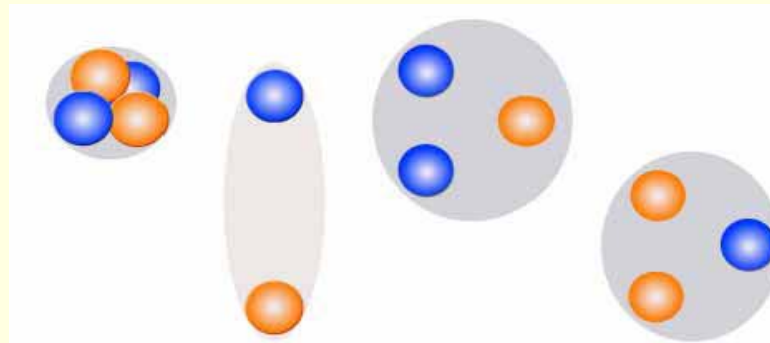
Введение

Цель настоящего исследования состояла в получении экспериментальной данных о проявлении структурных особенностей ядер азота в возбужденных состояниях выше порога распада на фрагменты в ядерной эмульсии. В настоящей работе приводятся данные по каналам диссоциации для легких ядер ^{14}N в событиях типа «белая» звезда. Экспериментальные данные о соотношениях наблюдаемых каналов диссоциации ядер дают представление как об общих закономерностях процесса фрагментации ядер, так и об особенностях фрагментации, связанных со структурой этого ядра.

Актуальные вопросы исследования кластеризации легких ядер при фрагментации в фотоэмульсии.

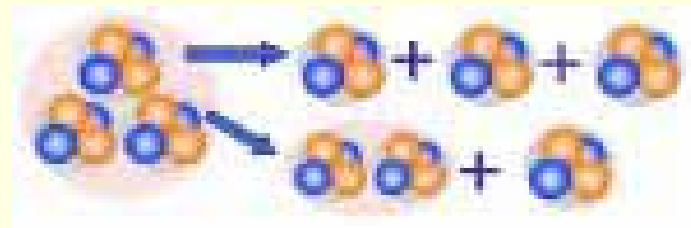
Прогресс в исследованиях на пучках релятивистских ядер открывает новые подходы к решению актуальных проблем структуры ядра. Одной из таких проблем является изучение коллективных степеней свободы в возбужденных ядрах, в которых отдельные группы нуклонов ведут себя как составляющие кластеры. Указанная структурная особенность – кластеризация в возбужденных ядрах – особенно отчетливо проявляется в легких ядрах, где возможное число кластерных конфигураций относительно невелико.

Кластеры. Естественными компонентами такой картины являются малонуклонные системы, не имеющие собственных возбужденных состояний. Прежде всего это α -частицы, а также дейтроны, тритоны, ядра ${}^3\text{He}$ и, кроме того, парные состояния протонов и нейтронов.



Наиболее распространенная эта альфа- частичная кластеризация

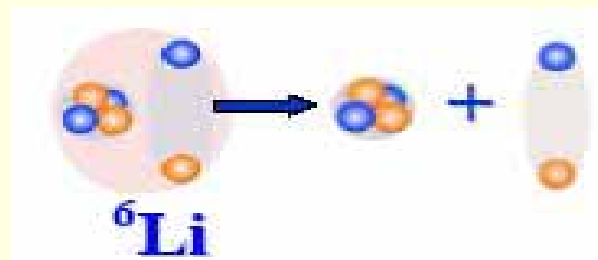
Кластеризация $^{12}\text{C}^* \rightarrow 3\alpha$ и $^{12}\text{C}^* \rightarrow ^8\text{Be} + \alpha$



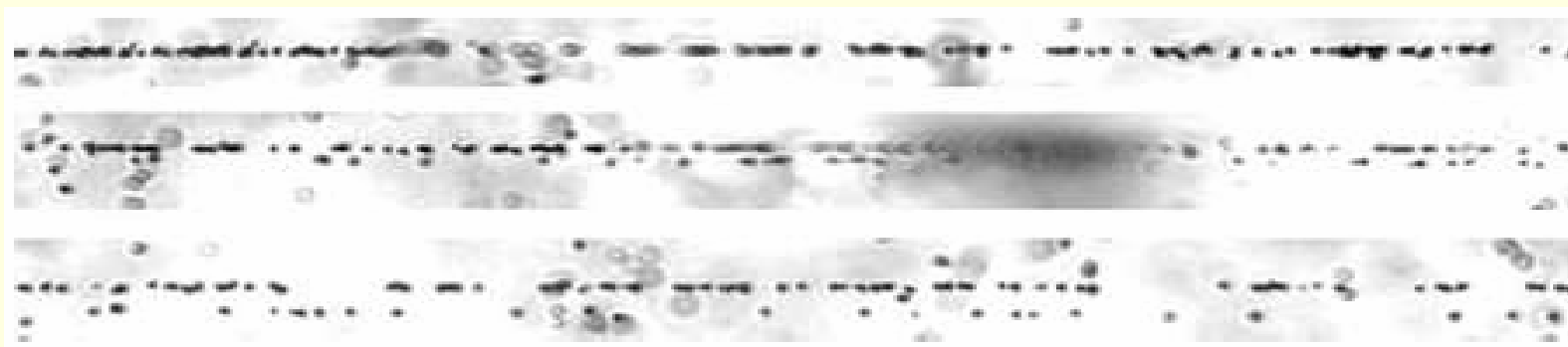
Событие фрагментации ядра ^{12}C с энергией 4.5 А ГэВ в периферическом взаимодействии на ядре эмульсии на три α частицы. На верхней фотографии видна вершина взаимодействия и струя фрагментов в узком угловом конусе. При смещении по направлению струи фрагментов (нижняя фотография) можно различить 3 фрагмента He.

Дейтронная кластеризация

Заряженными фрагментами ядра ${}^6\text{Li}$ могут быть только изотопы водорода и гелия.

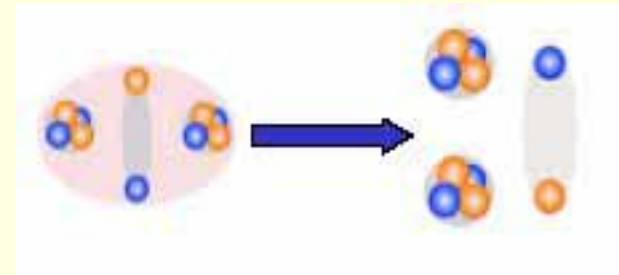


Кластеризация ${}^6\text{Li} \rightarrow \alpha + d$.



Событие фрагментации ядра ${}^6\text{Li}$ с энергией 4.5 А ГэВ в периферическом взаимодействии на ядре эмульсии на фрагменты Н и He. На верхней фотографии видна вершина взаимодействия с очень узкая по углу пара фрагментов. При смещении по направлению струи фрагментов (нижняя фотография) можно различить однозарядной и двухзарядной фрагмент.

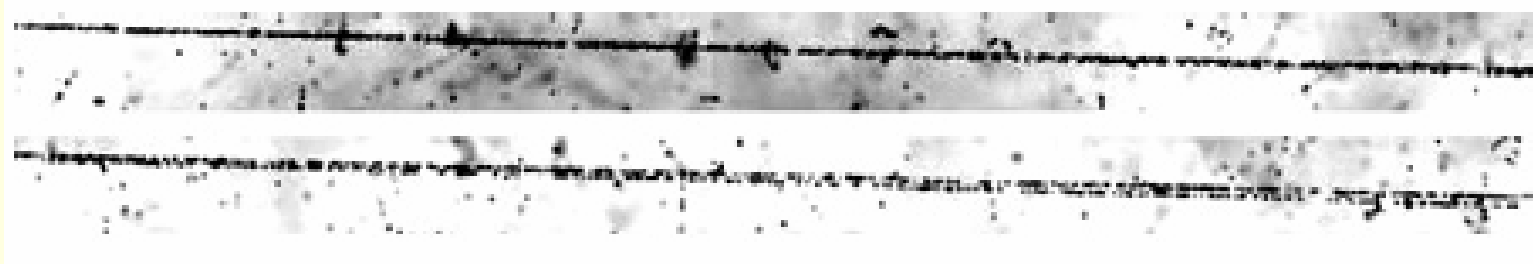
Когерентная диссоциация $^{10}\text{B} \rightarrow 2\alpha + \text{d}$



Продолжением исследований мультифрагментации легких четно-четных ядер с диссоциацией только на α частицы является изучение вклада дейтронов в распады нечетно-нечетных ядер ^{10}B . Топология «белых звезд» была исследована для ядер ^{10}B при энергии 1.0 А ГэВ. Доля распадов $^{10}\text{B}^* \rightarrow \text{d}\alpha\alpha$ среди событий с зарядовой топологией 2+2+1 составила 40%. Соотношение каналов $(2\text{He} + \text{d})/(2\text{He} + \text{p}) \approx 1$ находит аналогию с фрагментацией ядра ^6Li , где $(\text{He} + \text{d})/(\text{He} + \text{p}) \approx 1$.



Событие фрагментации ядра ^{10}B с энергией 1 А ГэВ на 2 фрагмента He и 1 фрагмент H.

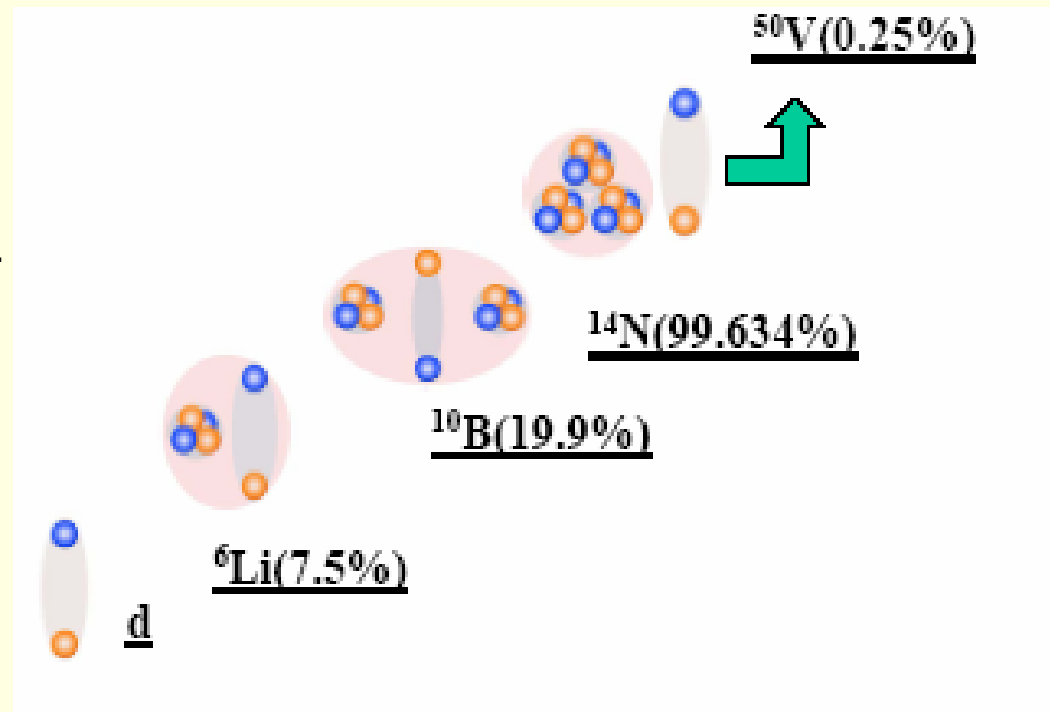


Событие фрагментации ядра ^{10}B с энергией 1 А ГэВ на фрагменты Li (наверху) и He (внизу).

Актуальность исследования кластерных степеней свободы ^{14}N как продолжение исследования соседних ядер.

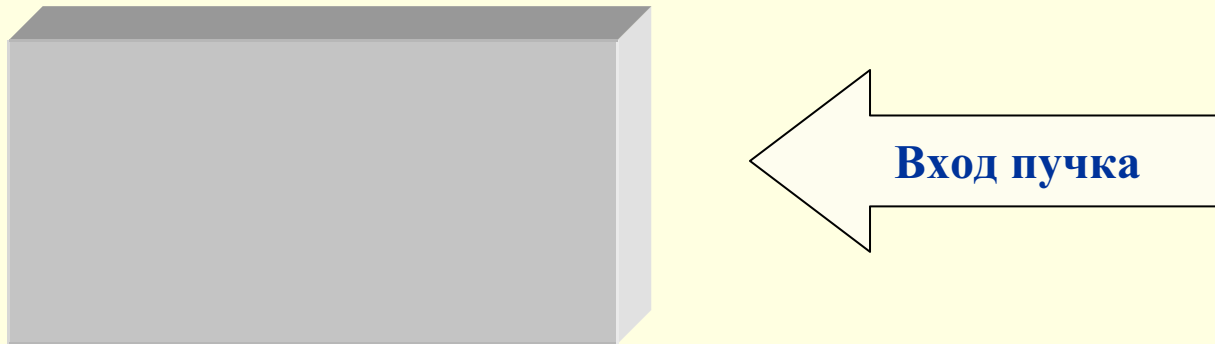
Представляет интерес выявить роль 3-частичных распадов, установленную для $^{10}\text{B}^* \rightarrow d\alpha\alpha$, $^{12}\text{C}^* \rightarrow 3\alpha$ и $^{16}\text{O}^* \rightarrow 4\alpha$ и расширить представления о кластеризации в ядрах с участием дейтронов. Отметим, что дейтрон, ядра ^6Li , ^{10}B и ^{14}N , принадлежат к редкому классу нечетно – нечетных стабильных ядер. Поэтому представляет интерес установить наличие дейтронной кластеризации при фрагментации релятивистского ядра ^{14}N . Для этого было выполнено облучение эмульсии ядрами ^{14}N с энергией 2.1 А ГэВ.

Дейтрон – альфа кластеризация для легких ядер.



Первичные данные об облучении

- Стопка слоев ядерной фотоэмульсии была облучена пучком ядер ^{14}N с импульсом 2.9 А ГэВ/с на нуклотроне ЛВЭ ОИЯИ. Слои имеют размер 10x20 см². При облучении пучок был направлен параллельно плоскости эмульсии вдоль ее длинной стороны.

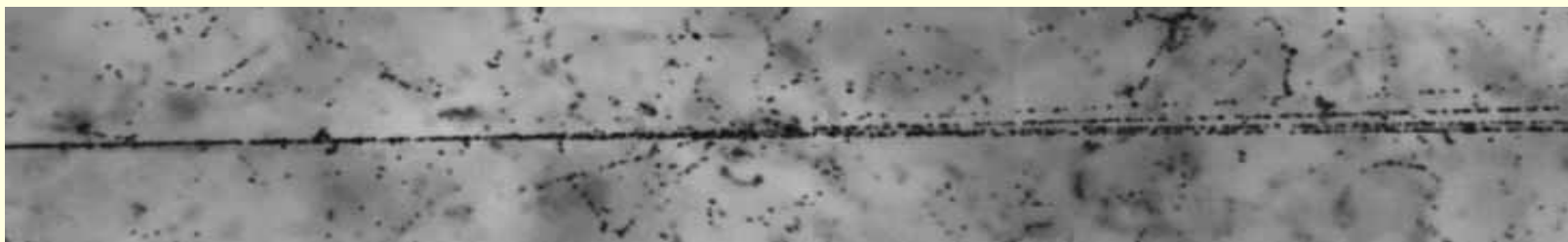


Положение кассеты во время облучения (вид сверху) . Расположение слоев: нумерация в данном положении сверху вниз по ходу пучка, т.е. переходы треков идущих к поверхности в пластинке X, надо искать у стекла пластины X-1 и треки выходящие у стекла искать на поверхности в пластине X+1.

Просмотр и отбор событий

- Просмотр слоев с целью поиска ядерных взаимодействий велся путем прослеживания вдоль следа на микроскопах типа МБИ-9 при увеличении 60x15.
- К настоящему времени набрана статистика из 540 взаимодействий ядер ^{14}N с ядрами эмульсии на длине 70410,37мм. Таким образом, средний методический пробег на этих пластинках составляет 130,39 мм./событие. Из этих событий 25-«белые» звезды. Их распределение по зарядовой топологии представлено в таблице 1 .
- Заряд определялся с помощью счёта δ -электронов (100 μ).
- Класс событий «белые» звезды.

При наборе статистики для изучения мультифрагментации ядер отбираются события без вновь рожденных частиц, что визуально проявляется в отсутствии однозарядных треков в широком угловом конусе. Как правило, в таких событиях происходит полная передача заряда первичного ядра в узкий угловой конус фрагментации. Наиболее ясная интерпретация обеспечивается для событий, которые не содержат следов и от фрагментов ядер мишени. Они образуются в случае минимальной передачи энергии фрагментирующему ядру. События такого типа из-за их вида называются «белыми» звездами. Их доля от общего числа неупругих событий составляет несколько процентов.



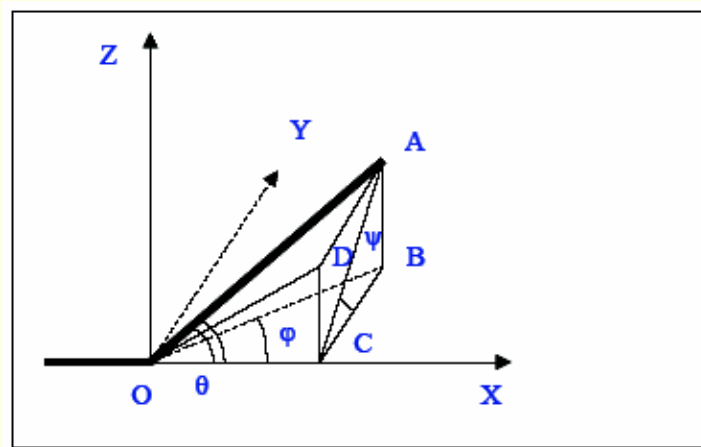
Событие фрагментации ядра ^{14}N с энергией 2,1 А ГэВ в периферическом взаимодействии на ядре эмульсии. При смещении по направлению струи фрагментов можно различить 1 фрагмент Н и 3 фрагментов He.

**Распределе
ние по
зарядовой
топологии
«белых»
звезд при
диссоциаци
и ядер ^{14}N с
энергией
2.1А ГэВ**

«Белых» звезд							
Суммарный заряд, Q	Заряд фрагмента, Z						Суммарные, (%)
	6	5	4	3	2	1	
7	-	-	-	-	3	1	10 (40%)
7	-	-	-	-	2	3	1 (4%)
7	-	-	-	1	-	4	1 (4%)
7	-	-	-	1	1	2	1 (4%)
7	-	-	1	-	1	1	1 (4%)
7	-	1	-	-	-	2	2 (8%)
7	-	1	-	-	1	-	3 (12%)
7	1	-	-	-	-	1	6 (24%)
							25 (100%)

Измерение углов треков вторичных частиц

В зависимости от величины угла φ применялись координатный, либо угловой методы.



Определение углов вторичных частиц:

OX — направление движения первичной частицы;

OA — направление движения вторичной (измеряемой) частицы;

$\angle AOC$ — полярный угол (θ);

$\angle ACB$ — азимутальный угол (ψ);

$\angle BOC$ — угол в плоскости эмульсии (φ);

$\angle DOC$ — глубинный угол (α).

Все измерения углов производились на микроскопе КСМ-1.

Результаты измерений

В своем большинстве, фрагменты ядра-снаряда вылетают в переднем узком угловом конусе, угол раствора которого определяется по формуле:

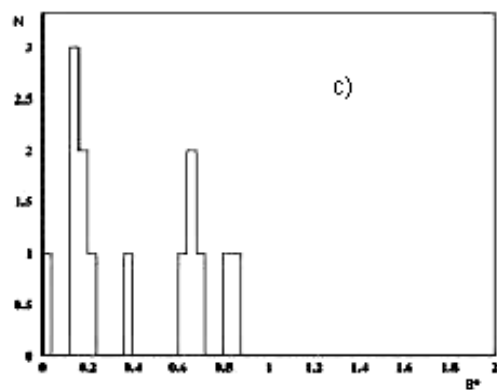
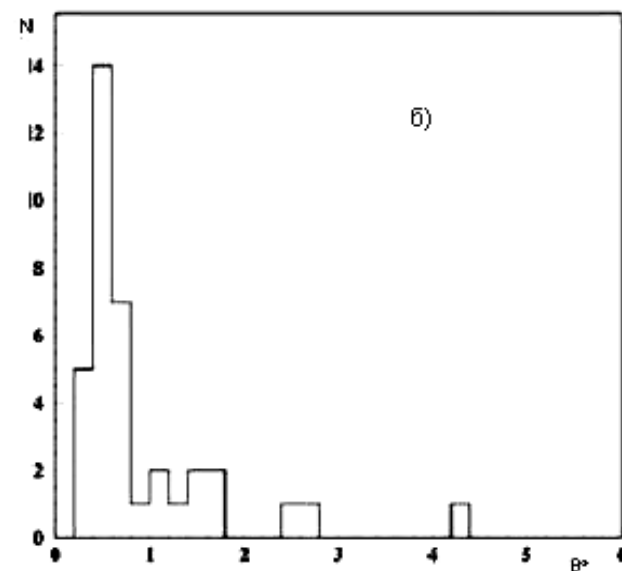
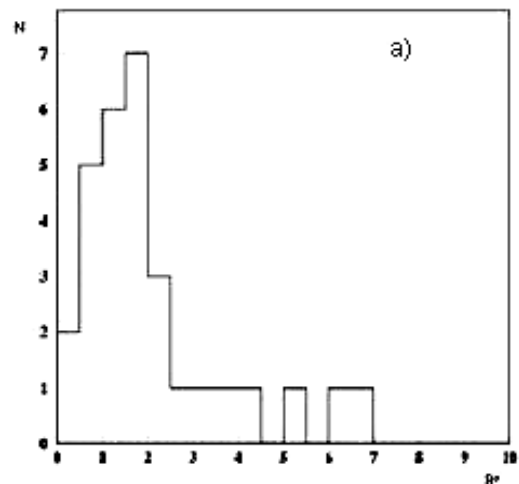
$$\langle \theta_{\text{фр.}} \rangle \approx \langle \sin \theta_{\text{фр.}} \rangle = p/p_0,$$

где p — Ферми-импульс, а p_0 — импульс на нуклон ядра-снаряда. Из приведенной формулы видно, что чем больше энергия снаряда, тем меньше углы вылета фрагментов ядра-снаряда. Например, при импульсе ядра-снаряда 2.9 А ГэВ/с и при Ферми-импульсе 200 МэВ/с получаем $\langle \theta_{\text{фр.}} \rangle \approx 0.2/2.9 \approx 0.069 = 3.95^\circ$.

Результаты угловых измерений приведены для события типа «белая» звезда для ядер ^{14}N с импульсом 2.9 А ГэВ/с.

Распределение по полярному углу (θ) в «белых» $^{14}\text{N}+\text{Em}$ взаимодействиях:

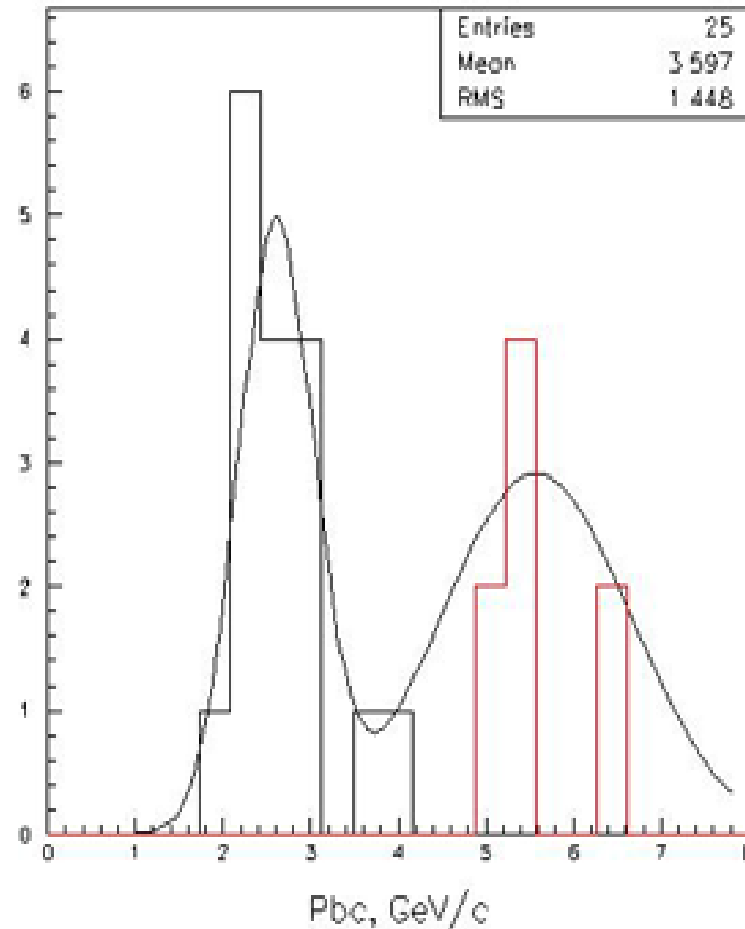
- а) фрагментов ядра-снаряда с $Z=1$;
- б) фрагментов ядра-снаряда с $Z=2$;
- в) фрагментов ядра-снаряда с $Z>2$.



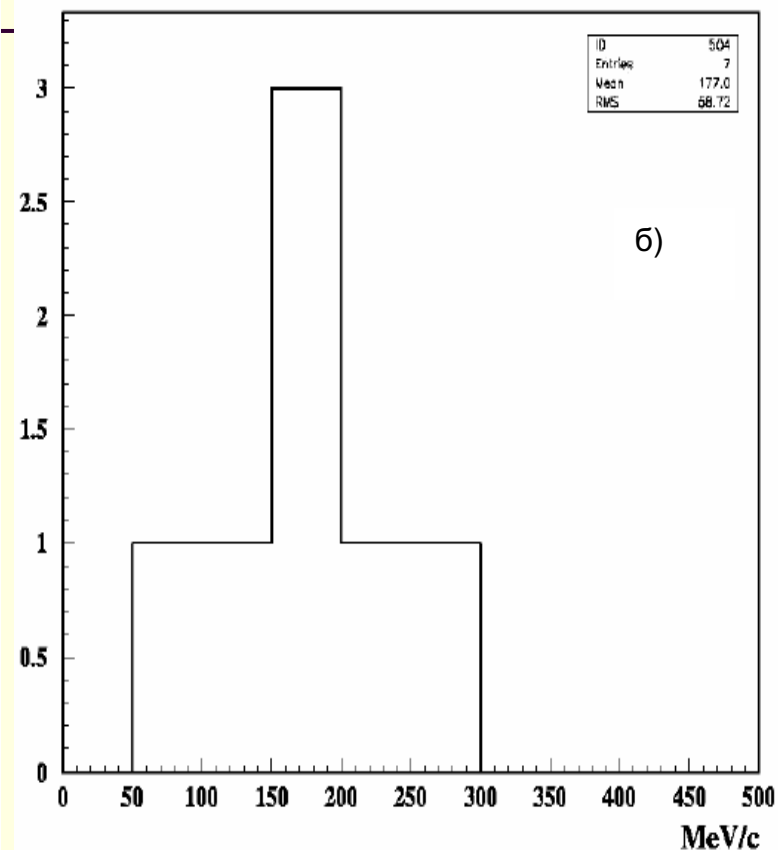
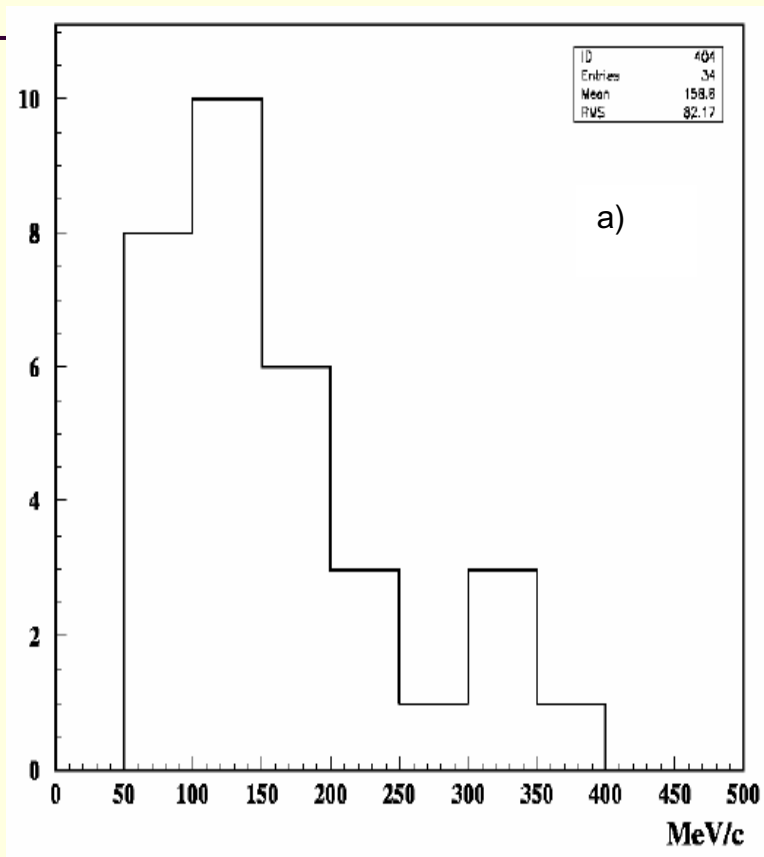
- все углы в системе координат, связанной с первичной частицей

Разделение однозарядных фрагментов по измерениям $p\beta c$.

Экспериментальные значения в области от 1.5 ГэВ/с $\langle p\beta c \rangle < 8$ ГэВ/с удовлетворительно аппроксимируются суммой двух гауссианов. Максимумы аппроксимирующих распределений расположены при значениях $p\beta c$, равных 2.6 ГэВ/с и 5.6 ГэВ/с и соответствуют изотопам ^1H и ^2H .



Распределения по поперечным импульсам для ^4He и системы из 3^4He



Полученные средние значения поперечных импульсов соответственно равны $(p_t)^\alpha = 158.8 \pm 27.4$ МэВ/с, $(p_t)^{3\alpha} = 177.0 \pm 68.1$ МэВ/с. Хотя их средние значения, примерно, одинаковы, их распределения существенно отличаются: если распределение для α -частиц быстро падает при увеличении p_t , то распределение по p_t для системы из 3α симметрично относительно среднего значения.

А.М.Балдин:

$$I + II \rightarrow 1 + 2 + 3 + \dots$$

Безразмерные положительные релятивистски -инвариантные величины:

$$b_{ik} = - (p_i/m_i - p_k/m_k)^2 = 2[(p_i p_k)/m_i m_k - 1] = 2(u_i u_k - 1)$$

$$i, k = I, II, 1, 2, 3, \dots$$

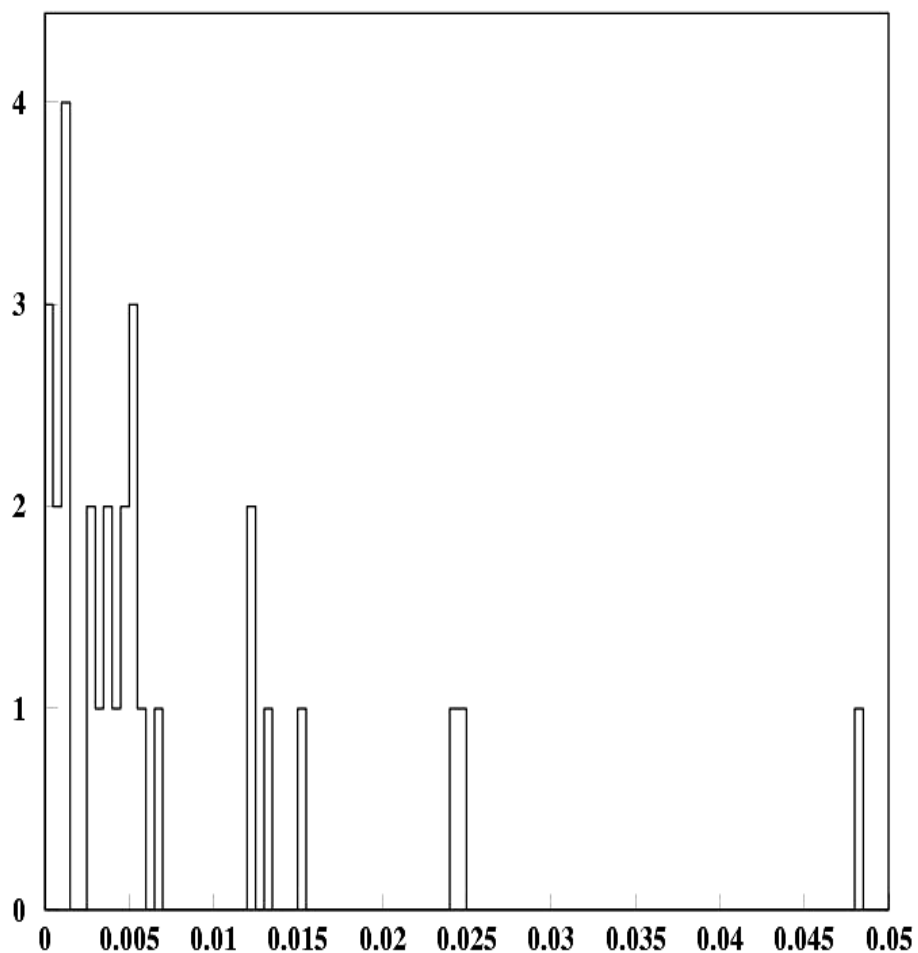
Физический смысл b_{ik} – расстояние между частицами в пространстве 4-мерных скоростей

Классификация взаимодействий

- $b_{ik} \approx 10^{-2}$ область классической ядерной физики
соответствует взаимодействию ядер как слабосвязанных систем, состоящих из нуклонов.
- $0,1 < b_{ik} < 1$ промежуточная (переходная) область Кварковые степени свободы начинают играть существенную роль
- $b_{ik} \gg 1$ адроны утрачивают значение квазичастиц ядерной материи и ядра следует рассматривать как кварк - глюонные системы.

Распределение по переменной b_{ik} в 3α системе для канала фрагментации $^{14}\text{N} \rightarrow 3\alpha$ при энергии 2.1 А ГэВ.

Лидирующая роль канала $2+2+2+1$ при фрагментации ядер ^{14}N указывает на перспективность исследования систем из 3 α частиц в диапазоне $b_{ik} < 10^{-2}$. (события 21)



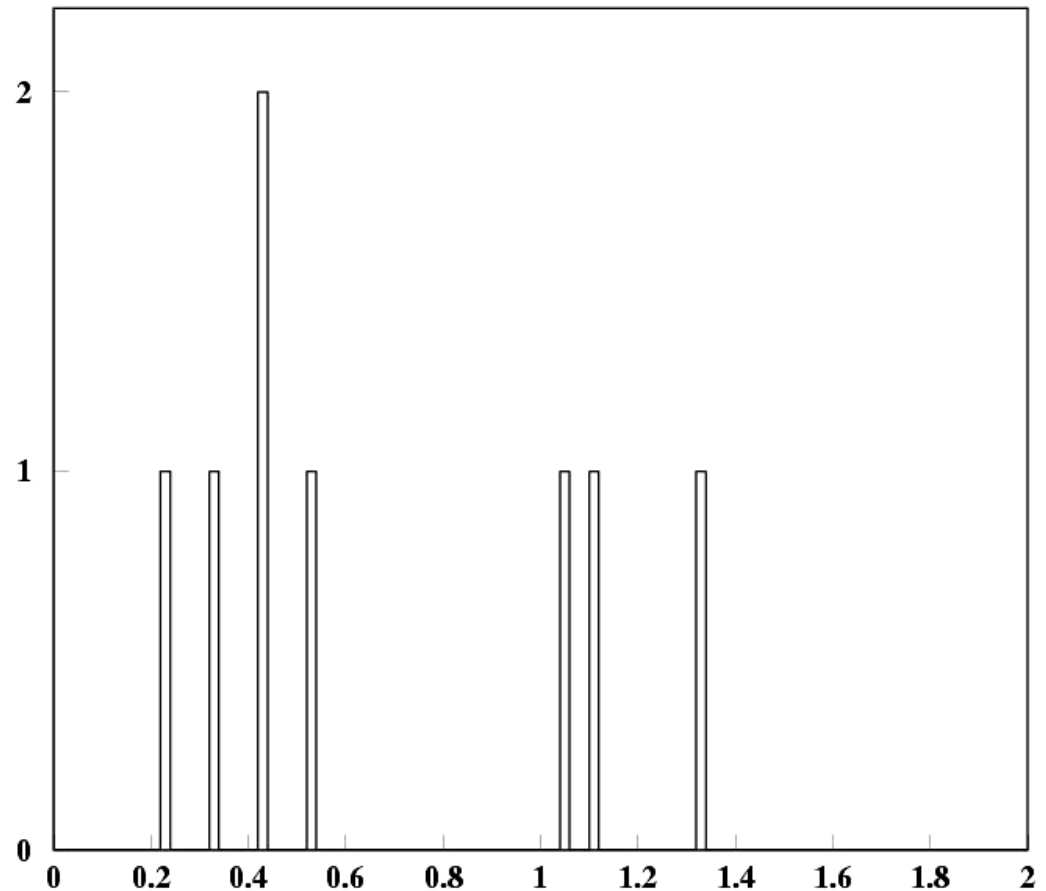
Инвариантная масса

Тесно связанными с переменными b_{ik} являются инвариантная масса системы фрагментов

$$M^{*2} = (\sum P_j)^2 = \sum (P_i \cdot P_k)$$

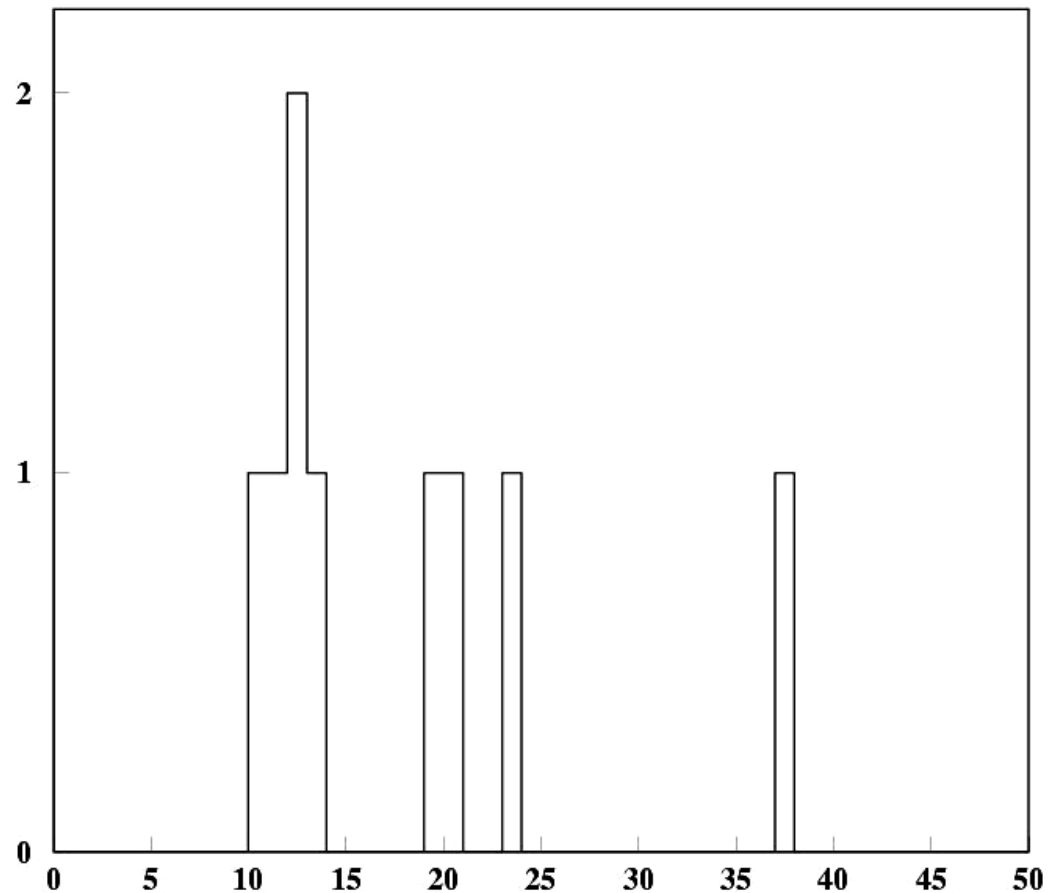
и энергия возбуждения $Q = M^* - M$, где M – масса основного состояния ядра.

Распределение по инвариантной энергии возбуждения для канала $^{14}\text{N} \rightarrow 3\alpha$ при энергии 2.1 А ГэВ, нормированной на число нуклонов $(M^*_{3\alpha} - 3m_\alpha)/4n_\alpha$. Имеется указание на концентрацию событий в области весьма малых энергий.



Распределение по инвариантной энергии возбуждения
для канала $^{14}\text{N} \rightarrow 3\alpha$ при энергии 2.1 А ГэВ относительно
основного состояния ядра ^{12}C .

Вариант
распределения, в
котором отсчет
энергии ведется от
массы ядра ^{12}C , т.
е. $M_{3\alpha}^* - m_{\text{C}}$.
Интересно, что
события
концентрируются в
районе группы
уровней ядра ^{12}C
10-14 МэВ.



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе практически применен метод ядерных эмульсии для исследования множественной фрагментации релятивистских ядер ^{14}N .

В процессе исследования были освоены ключевые возможности этого метода в применении к релятивистской фрагментации:

- определение зарядов первичных и вторичных треков;
- определение угловых характеристик треков;
- измерение импульсов методом многократного рассеяния;
- идентификация вторичных следов от релятивистских ядер водорода и гелия.

В процессах мультифрагментации ядер ^{14}N определены особенности образования систем из легчайших ядер α , p и d . Были отобраны события типа «белая» звезда. Для этих событий рассмотрена топология мультифрагментации. Имеется указание на лидирующую роль зарядовой конфигураций $3\alpha + p$ и $3\alpha + d$.

Применение метода к изучению изотопного состава фрагментов ядра-снаряда ^{14}N в событиях типа «белая» звезда показало, что отношение протонов к дейтронам примерно 2:1.

Показано, что угловые распределения фрагментов имеют ярко выраженный пик в области малых значений с последующим спадом при увеличении углов.

Полученные средние значения поперечных импульсов для ^4He и система из 3 ^4He , примерно, одинаковы - $p_t^\alpha = 158.8 \pm 27.4$ МэВ/с и $p_t^{3\alpha} = 177.0 \pm 68.1$ МэВ/с.

Выполнен анализ событий с 3 альфа частицами в инвариантных переменных b_{ik} и m_{ik} . Это позволяет в едином виде связать данные по множественной фрагментации ядер мишени и релятивистского ядра-снаряда.