

Исследование релятивистской фрагментации ядер ^{14}N методом ядерной фотографической эмульсии

*Работа выполнена в Лаборатории физики высоких энергий
им. В.И. Векслера и А.М. Балдина*

Щедрина Татьяна Викторовна

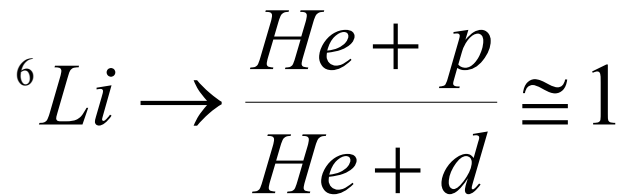
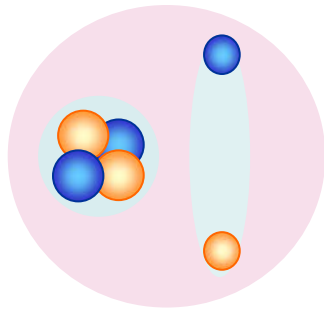
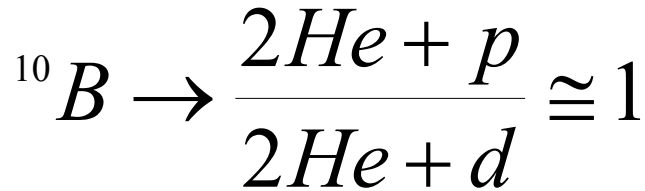
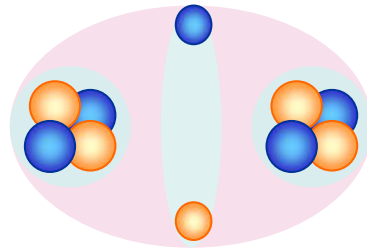
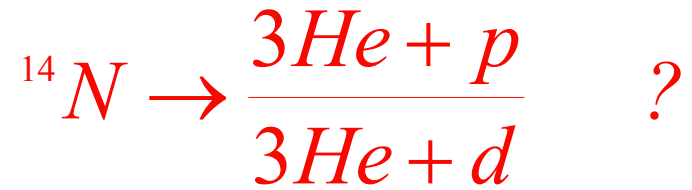
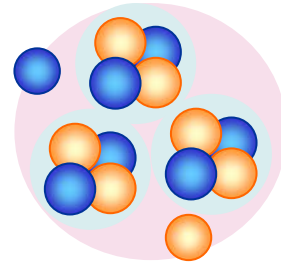
Научный руководитель: кандидат физ.-мат. наук Зарубин П.И.

Дубна 2008

Постановка задачи экспериментального исследования

Альфа - дейтронная
кластеризация ядер

${}^6\text{Li}$, ${}^{10}\text{B}$, ${}^{14}\text{N}$

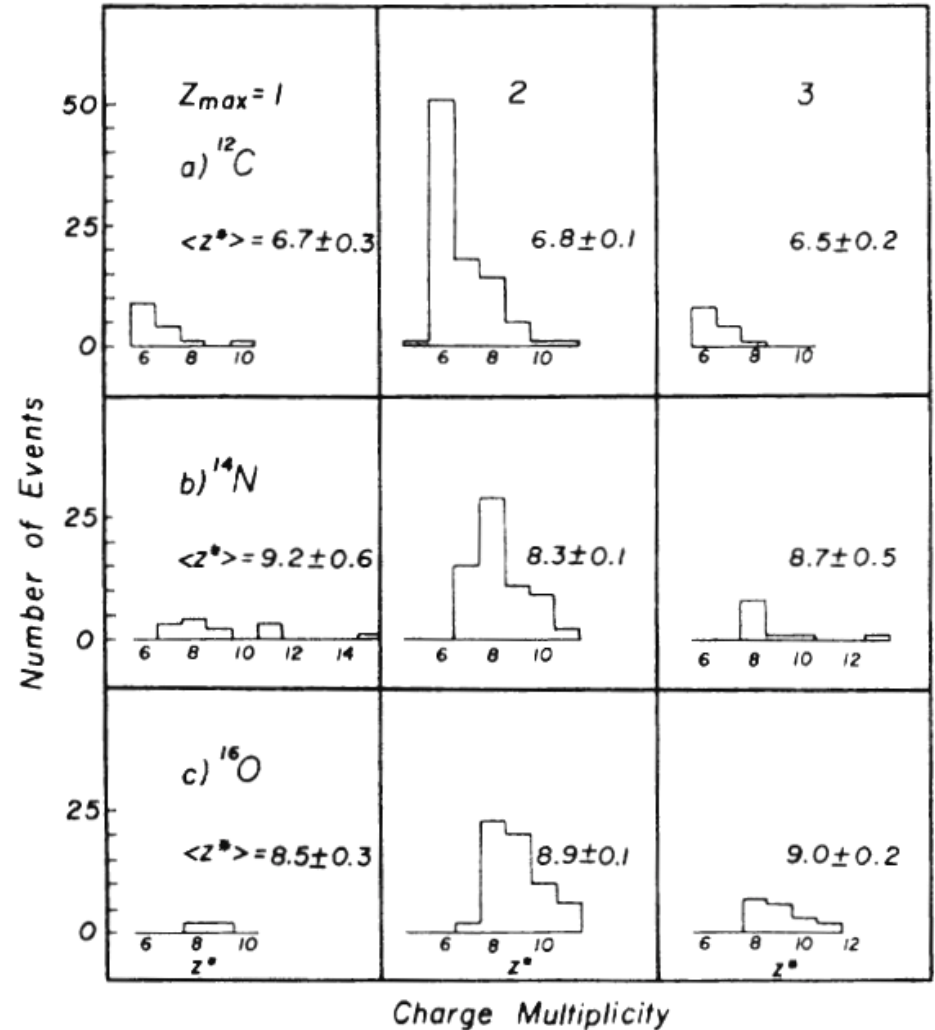
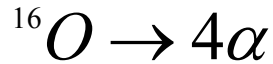
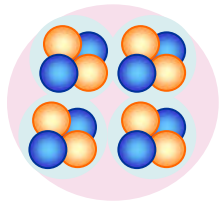
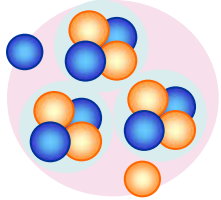
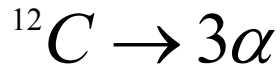
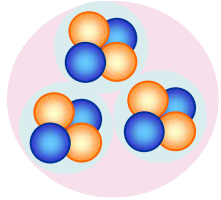


${}^6\text{Li} \rightarrow$ ЯФ 62, №8, с. 1461 - 1471, (1999)

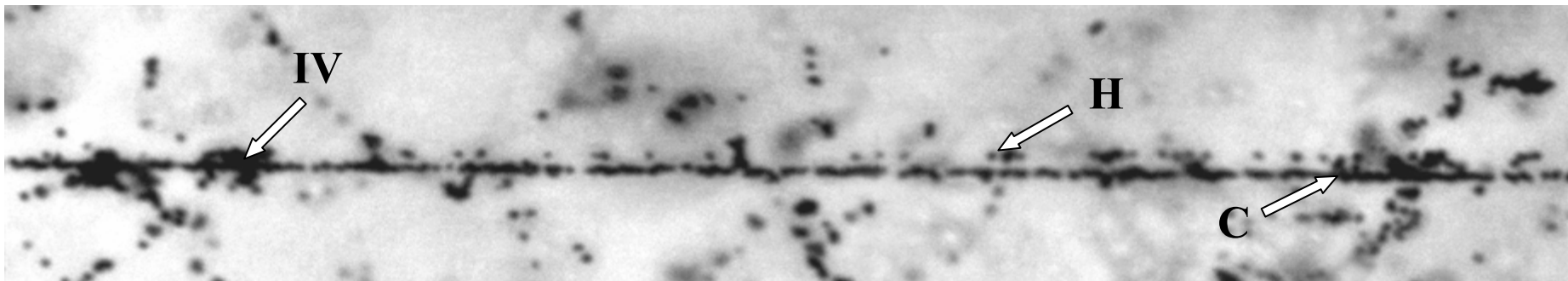
${}^{10}\text{B} \rightarrow$ ЯФ 66, №9, с. 1694 - 1698, (2003)

Постановка задачи экспериментального исследования

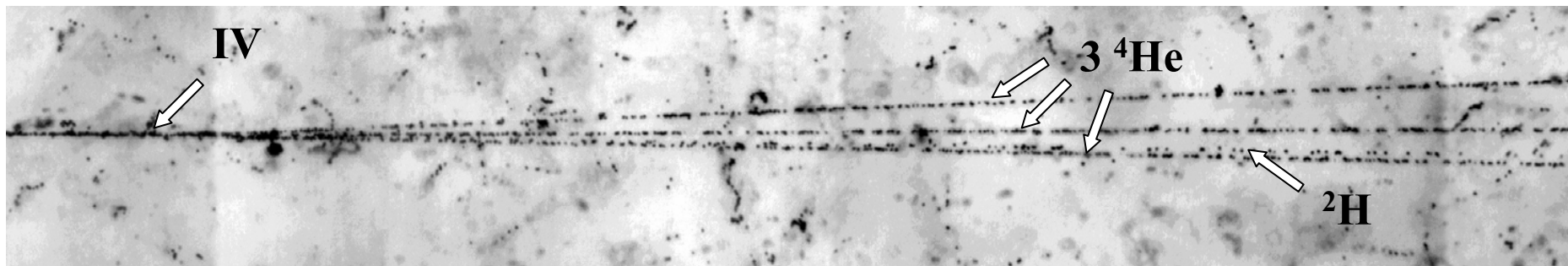
Альфа - кластеризация в
диссоциации релятивистских
ядер ^{12}C , ^{14}N и ^{16}O



Двухчастичные каналы фрагментации $^{14}\text{N} \rightarrow \text{C} + \text{H}$, $^{14}\text{N} \rightarrow \text{B} + \text{He}$

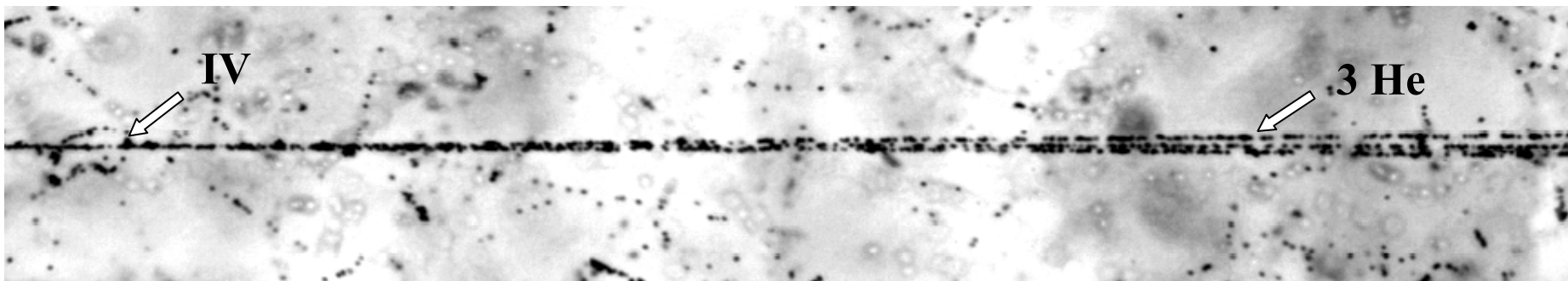


Полностью идентифицированные моды диссоциации $^{14}\text{N} \rightarrow 3\text{He} + \text{H}$



Процессы неупругой перезарядки

$^{14}\text{N} \rightarrow 3\text{He}$, $^{14}\text{N} \rightarrow 2\text{He} + 2\text{H}$, $^{14}\text{N} \rightarrow 3\text{He} + 2\text{H}$



Структура диссертации

ВВЕДЕНИЕ

ГЛАВА I. Анализ периферических взаимодействий ядер ^{14}N при поиске взаимодействий по первичным следам

ГЛАВА II. Исследование событий фрагментации $^{14}\text{N} \rightarrow 3\alpha + X$ при ускоренном поиске

ГЛАВА III. Наблюдение полностью идентифицированных и редких каналов диссоциации ядра ^{14}N

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ

ЛИТЕРАТУРА

ПРИЛОЖЕНИЕ

Облучение эмульсии, первичный поиск и отбор событий, определение среднего пробега

$$P_0 = 2.86 \text{ А ГэВ/с,}$$

$$E = 2.1 \text{ А ГэВ}$$

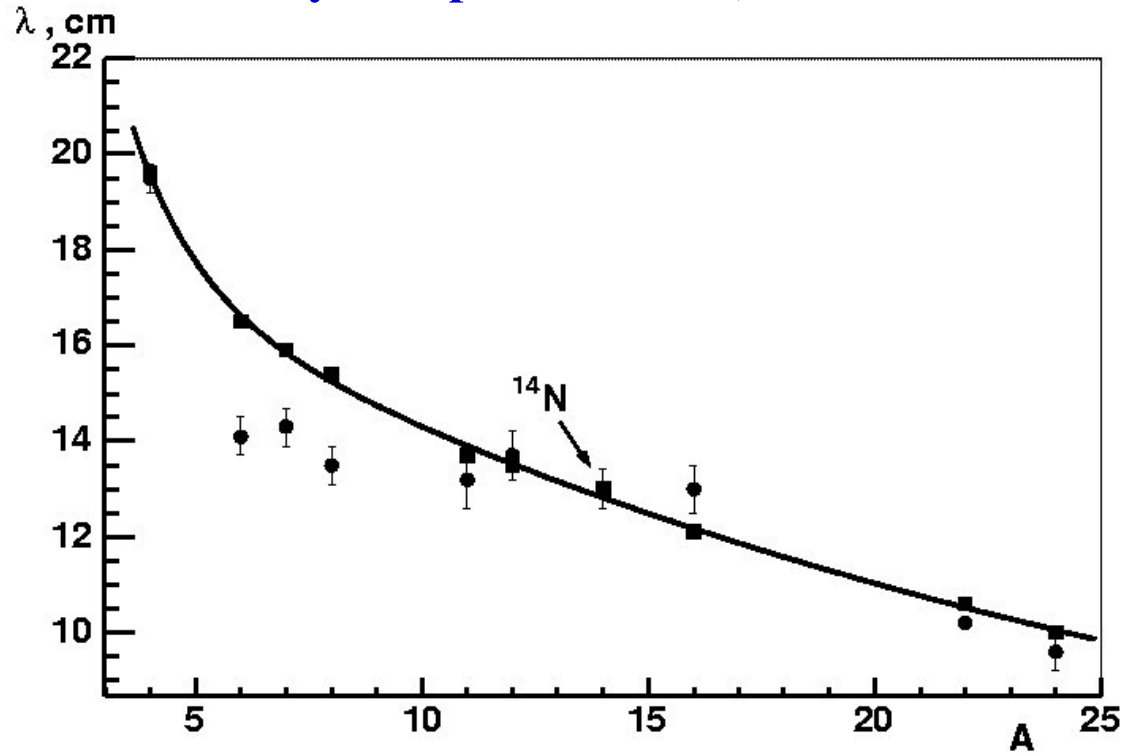
Суммарная длина
при просмотре
по следу 123.71 м

$N_\Sigma = 951$ неупругое
взаимодействие

$$\lambda = 13.0 \pm 0.4 \text{ см}$$

ГЛАВА I ...

Облучение эмульсии в пучке ^{14}N
на Нуклотроне ОИЯИ, 2003 г.

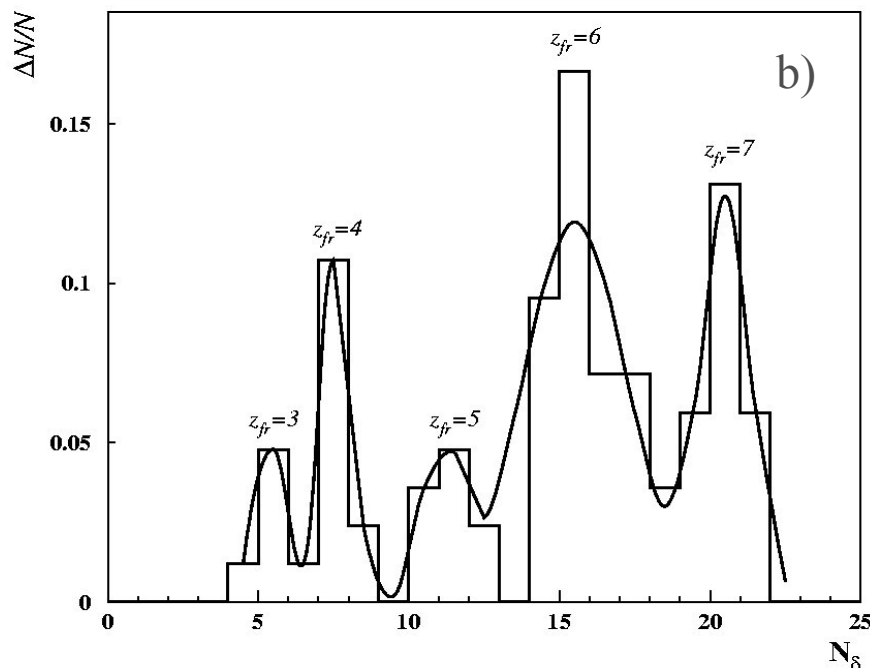
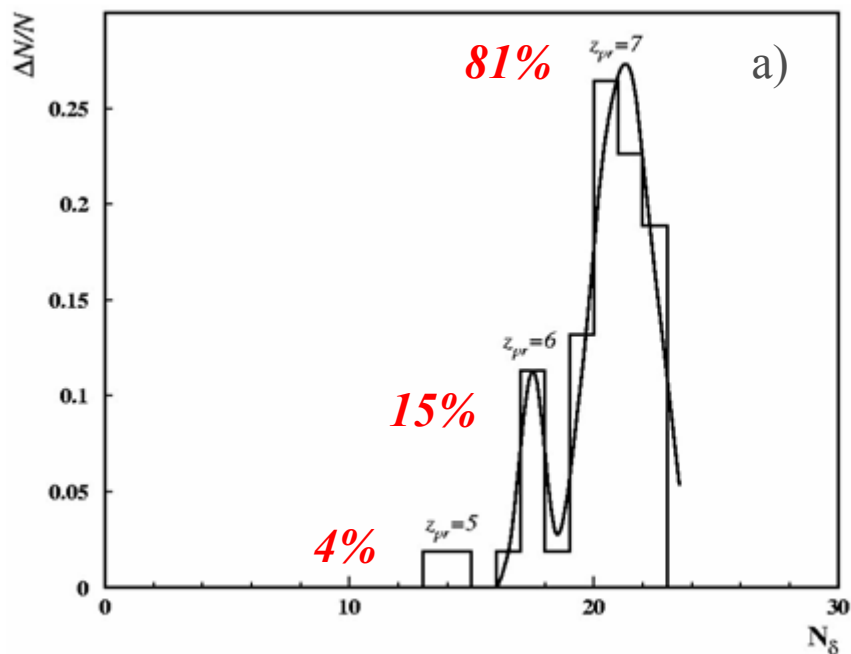
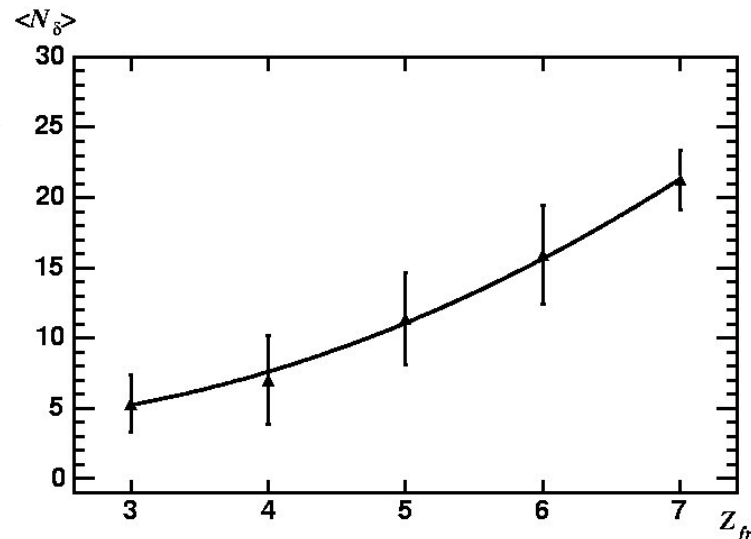


Средняя величина свободного пробега λ для неупругих взаимодействий в ядерной фотоэмульсии в зависимости от массы налетающего ядра A .

Определение зарядов ядер пучка и релятивистских фрагментов

$$N_{\delta} = a Z^2 + b$$

$$a = 0.55, b = 4.82 \text{ и } \chi^2 = 0.05$$



Распределение по числу δ -электронов а) - для следов пучковых частиц, давших изучаемые взаимодействия (53 следа); б) - следов фрагментов ядра ^{14}N с зарядами $Z_{fr} > 2$ (83 следа).

Сплошная линия соответствует аппроксимации суммой функций Гаусса.

Зарядовая топология каналов фрагментации ядра ^{14}N

Z_{fr}	6	5	5	4	3	3	-	-	-
N_{z1}	1	-	2	1	4	2	3	1	5
N_{z2}	-	1	-	1	-	1	2	3	1
N_{ws}									
N_{tf}									
N_{in}									

Распределение периферических взаимодействий ядер ^{14}N с импульсом 2.86 A ГэВ/с (N_{in}) по зарядовым модам с $\Sigma_{Z_{fr}} = 7$ (161 событие), в том числе 61 «белая» звезда (N_{ws}), и 100 событий с фрагментами мишени (N_{tf}) и без заряженных мезонов ($n_s = 0$). N_{z1} , N_{z2} , – число одно- и двухзарядных частиц соответственно. В процентах указаны доли от событий данного типа.

Зарядовая топология каналов фрагментации ядра ^{14}N

Z_{fr}	6	5	5	4	3	3	-	-	-
N_{z1}	1	-	2	1	4	2	3	1	5
N_{z2}	-	1	-	1	-	1	2	3	1
N_{ws}	16	5	5	2	1	-	6	21	5
N_{tf}	24	4	3	5	2	3	21	35	3
N_{in}	40	9	8	7	3	3	27	56	8

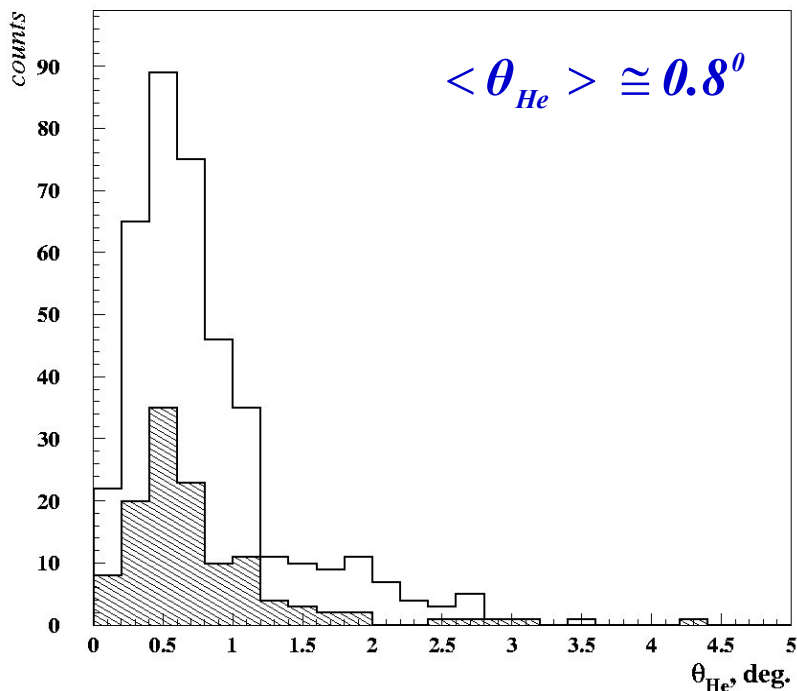
Распределение периферических взаимодействий ядер ^{14}N с импульсом 2.86 A ГэВ/с (N_{in}) по зарядовым модам с $\Sigma_{Z_{fr}} = 7$ (161 событие), в том числе 61 «белая» звезда (N_{ws}), и 100 событий с фрагментами мишени (N_{tf}) и без заряженных мезонов ($n_s = 0$). N_{z1} , N_{z2} , – число одно- и двухзарядных частиц соответственно. В процентах указаны доли от событий данного типа.

Зарядовая топология каналов фрагментации ядра ^{14}N

Z_{fr}	6	5	5	4	3	3	-	-	-
N_{z1}	1	-	2	1	4	2	3	1	5
N_{z2}	-	1	-	1	-	1	2	3	1
N_{ws}	16 26%	5 8%	5 8%	2 3%	1 2%	- -	6 10%	21 35%	5 8%
N_{tf}	24 24%	4 4%	3 3%	5 5%	2 2%	3 3%	21 21%	35 35%	3 3%
N_{in}	40 25%	9 5%	8 5%	7 4%	3 2%	3 2%	27 17%	56 35%	8 5%

Распределение периферических взаимодействий ядер ^{14}N с импульсом 2.86 A ГэВ/с (N_{in}) по зарядовым модам с $\Sigma_{Z_{fr}} = 7$ (161 событие), в том числе 61 «белая» звезда (N_{ws}), и 100 событий с фрагментами мишени (N_{tf}) и без заряженных мезонов ($n_s = 0$). N_{z1} , N_{z2} , – число одно- и двухзарядных частиц соответственно. В процентах указаны доли от событий данного типа.

Исследование событий фрагментации $^{14}\text{N} \rightarrow 3\alpha + X$ при ускоренном поиске



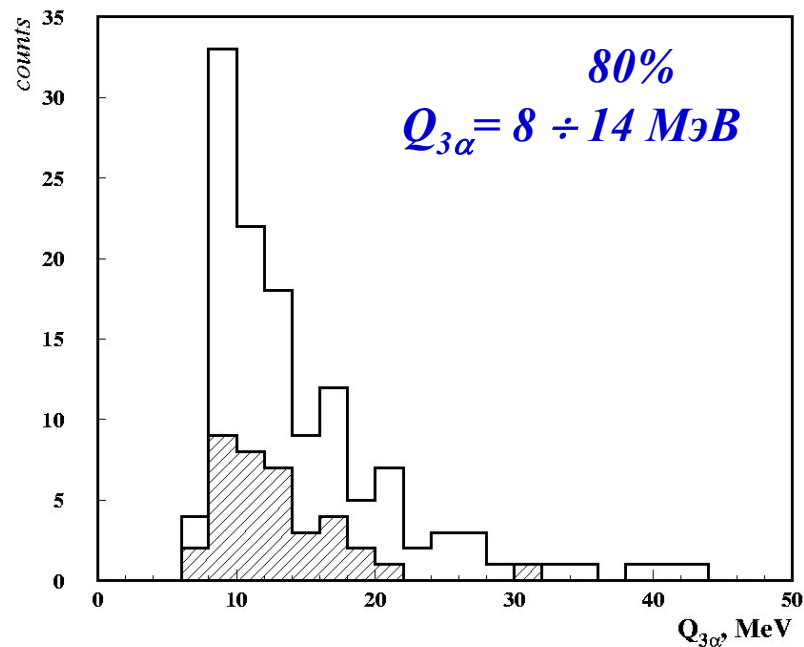
$$N_{\text{in}}(^{14}\text{N} \rightarrow 3\alpha + X) = 132$$

$$N_{\text{ws}}(^{14}\text{N} \rightarrow 3\alpha + X) = 41$$

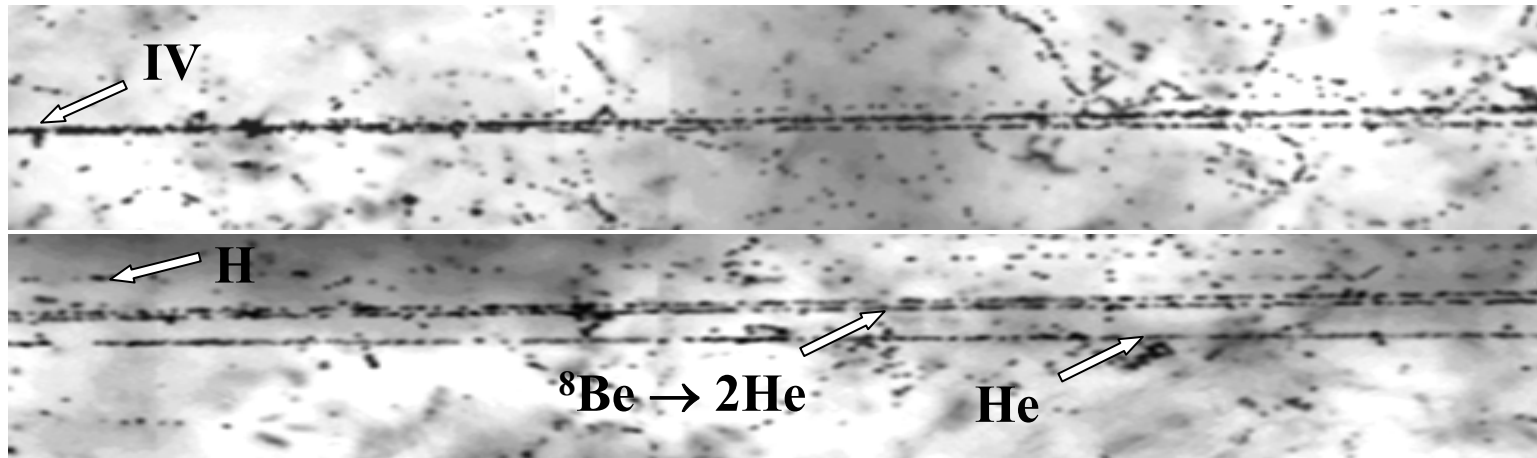
$$\sin\theta_{\text{fr}}(^{14}\text{N}) = \frac{0.2 \text{ ГэВ/с}}{2.86 \text{ ГэВ/с}} = 0.07 \Rightarrow \theta_{\text{fr}} \cong 4^\circ$$

$$Q_{3\alpha} = M_{3\alpha}^* - m_C$$

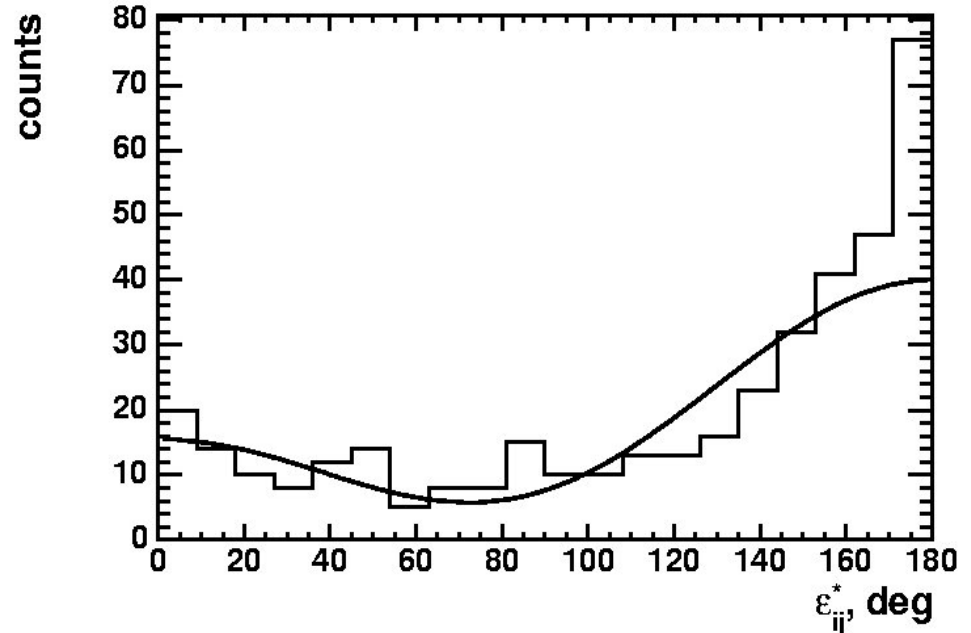
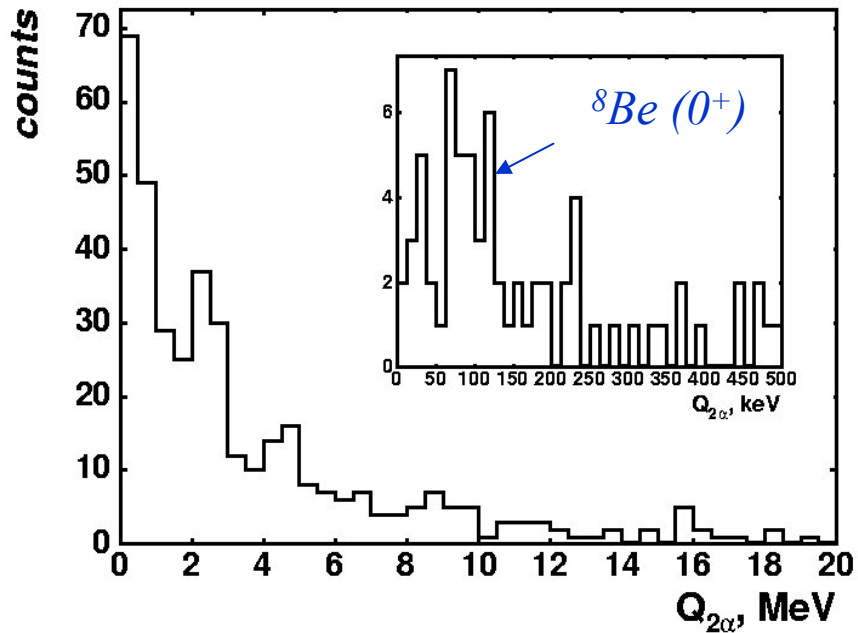
$$M_{3\alpha}^* = \sum_{i,j=1}^3 (P_i P_j)$$



Роль ${}^8\text{Be}$ в диссоциации ${}^{14}\text{N} \rightarrow 3\text{He} + X$



25% ${}^{14}\text{N} \rightarrow {}^8\text{Be} + \text{He} + X$



Идентификация одно- и двухзарядных фрагментов

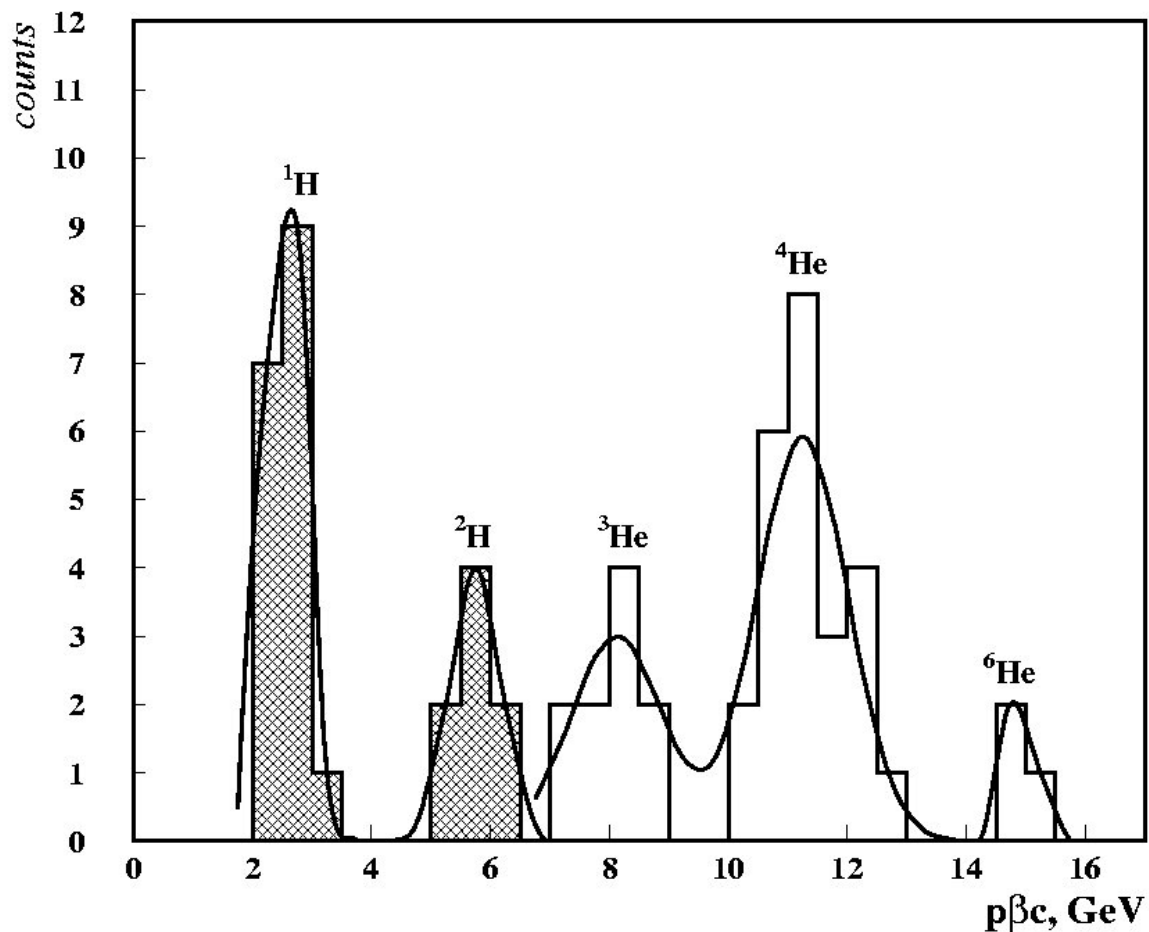
$^{14}\text{N}_{ws} \rightarrow 3\text{He} + \text{H}$ методом многократного кулоновского рассеяния

$${}^3\text{He} : {}^4\text{He} : {}^6\text{He} = 3 : 8 : 1$$

$${}^6\text{Li} \rightarrow \frac{\text{He} + p}{\text{He} + d} \cong 1$$

$${}^{10}\text{B} \rightarrow \frac{2\text{He} + p}{2\text{He} + d} \cong 1$$

$${}^{14}\text{N} \rightarrow \frac{3\text{He} + p}{3\text{He} + d} \cong 2$$



${}^6\text{Li} \rightarrow$ ЯФ 62, №8, с. 1461-1471, (1999).

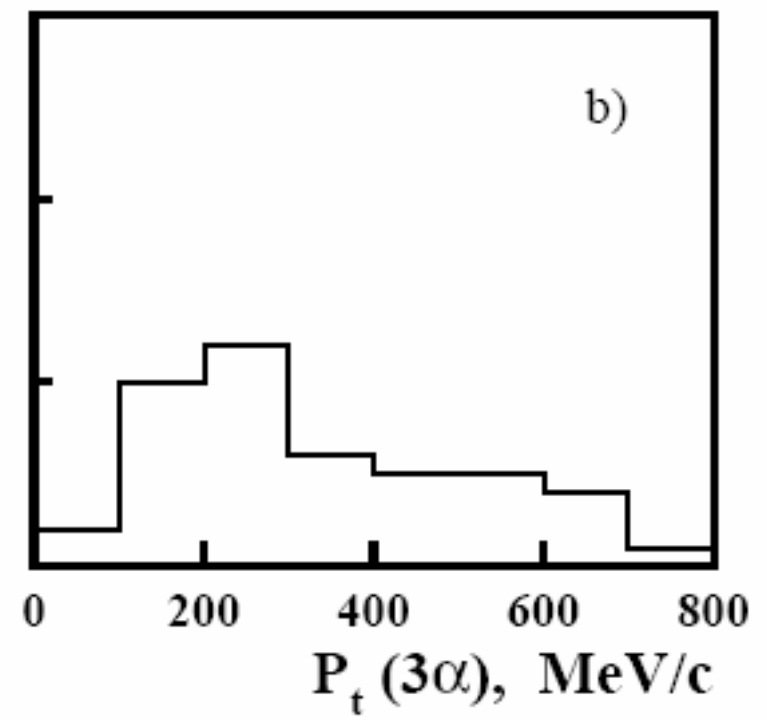
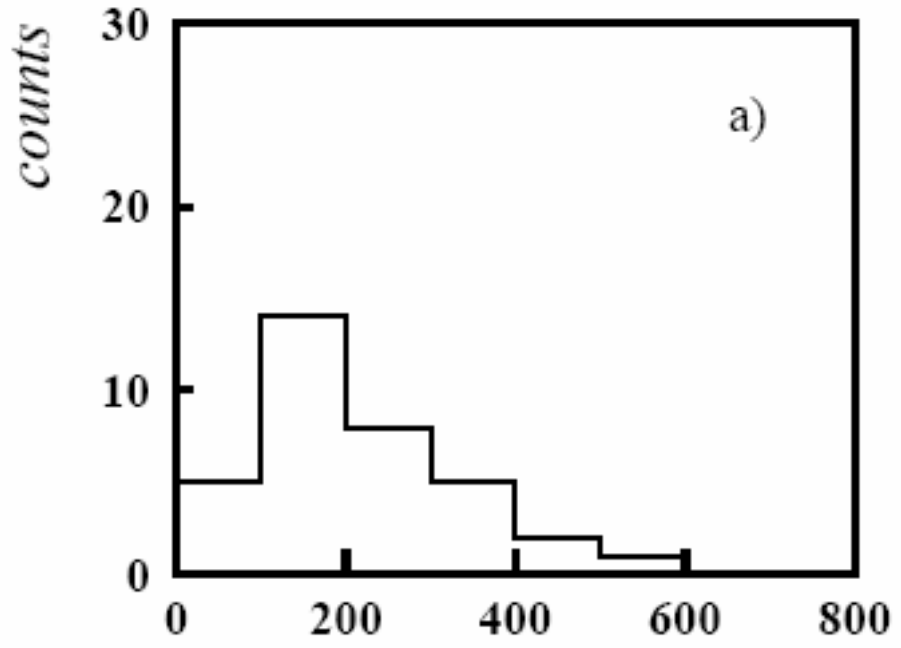
${}^{10}\text{B} \rightarrow$ ЯФ 66, №9, с. 1694-1698, (2003).

${}^{14}\text{N} \rightarrow$ ЯФ 70, №7, с. 1271-1275, (2007).

Суммарный поперечный импульс системы 3α -частиц для “белых” звезд и событий с образованием фрагментов мишени

$$\langle p_t(3\alpha) \rangle_{ws} = 216 \pm 21 \text{ МэВ/с}$$

$$\langle p_t(3\alpha) \rangle_{tf} = 334 \pm 27 \text{ МэВ/с}$$



Распределение событий фрагментации $^{14}\text{N} \rightarrow 3\text{He} + X$ по суммарному поперечному импульсу системы из 3α -частиц $P_t(3\alpha)$ для
а) – “белых” звезд $^{14}\text{N} \rightarrow 3\text{He} + \text{H}$, $\langle P_t(3\alpha) \rangle = 216 \pm 21 \text{ МэВ/с}$;
б) – полупериферических взаимодействий с образованием фрагментов ядер мишени $\langle P_t(3\alpha) \rangle = 334 \pm 27 \text{ МэВ/с}$.

Двухчастичные каналы фрагментации

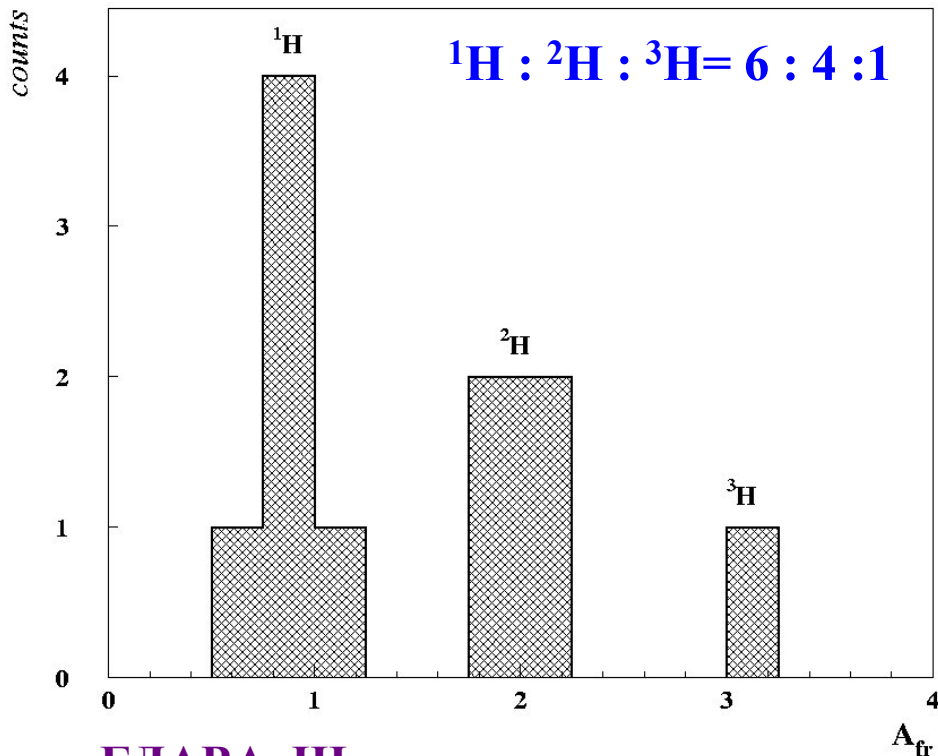
$^{14}\text{N}_{ws} \rightarrow \text{C} + \text{H}$ (11 событий)

$W(^{14}\text{N} \rightarrow ^{13}\text{C} + ^1\text{H}) \approx 55\%$, $Q_{Cp} = 8 \text{ МэВ}$

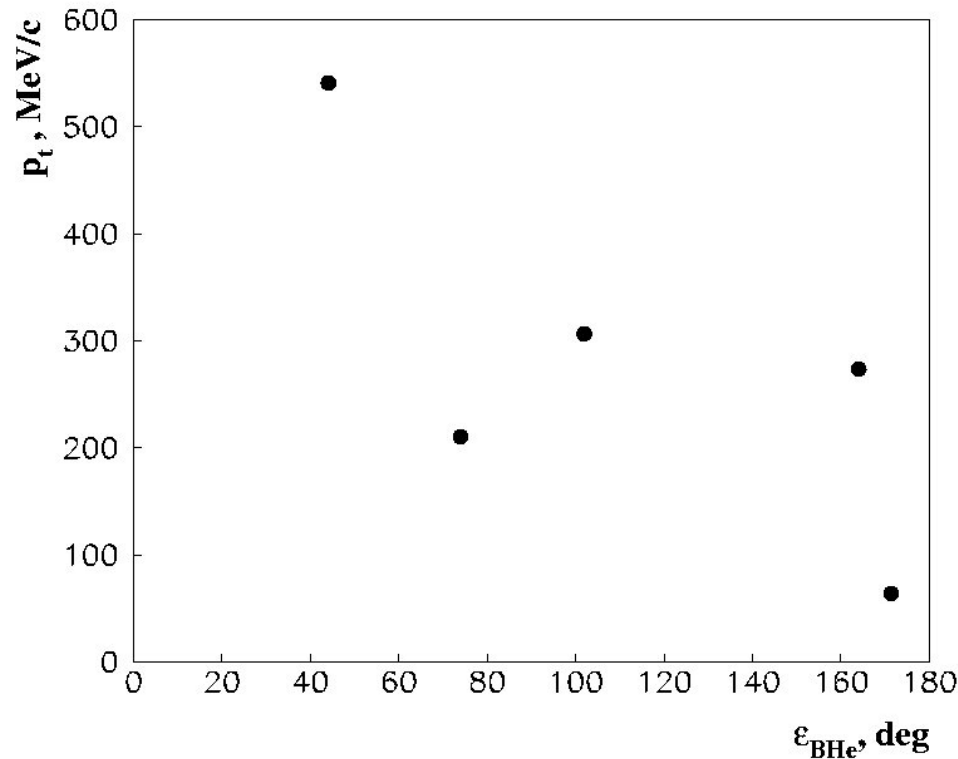
$W(^{14}\text{N} \rightarrow ^{12}\text{C} + ^2\text{H}) \approx 35\%$, $Q_{Cp} = 11 \text{ МэВ}$

$W(^{14}\text{N} \rightarrow ^{11}\text{C} + ^3\text{H}) \approx 10\%$, $Q_{Cp} = 23 \text{ МэВ}$

$\langle p_t(\text{C} + \text{H}) \rangle_{ws} = 160 \pm 20 \text{ МэВ/с}$

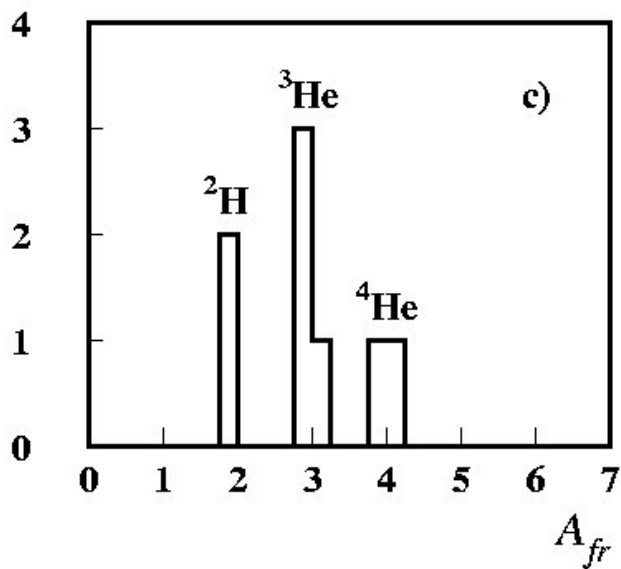
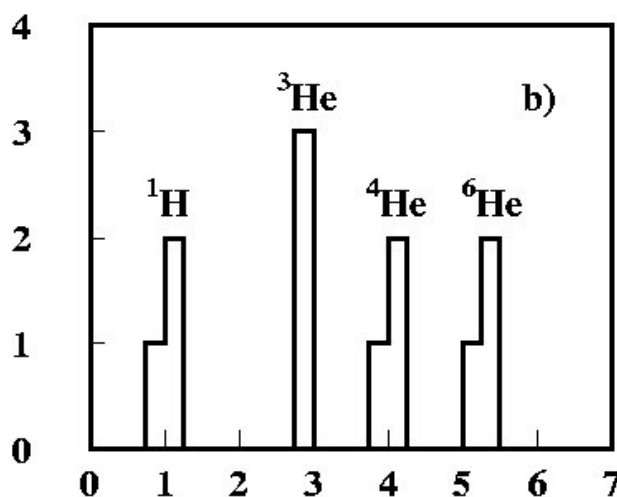
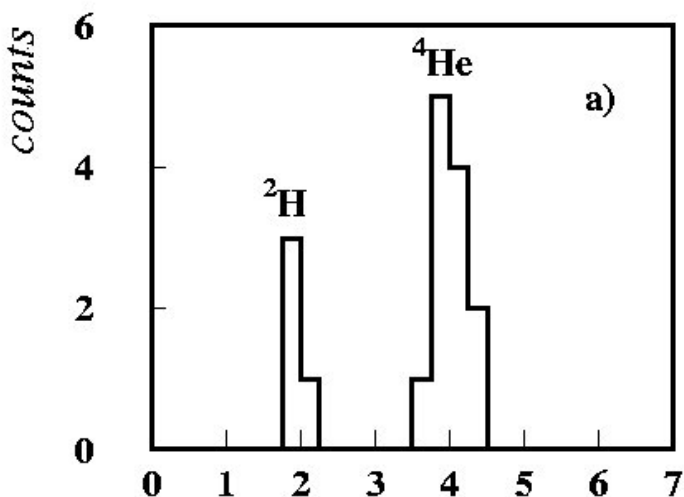


$^{14}\text{N}_{ws} \rightarrow ^{10}\text{B} + ^4\text{He}$ (5 событий)



Согласно имеющейся статистике
зарегистрировано только
ОДНО СОБЫТИЕ $^{14}\text{N}_{ws} \rightarrow \text{Li} + \text{Be}$

Полностью идентифицированные моды диссоциации



a) - 4 события $^{14}\text{N} \rightarrow 3\ ^4\text{He} + d$, $Q = 18\ \text{МэВ}$

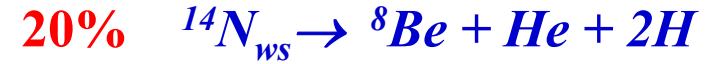
b) - 3 события $^{14}\text{N} \rightarrow\ ^6\text{He} +\ ^4\text{He} +\ ^3\text{He} +\ p$, $Q = 39\ \text{МэВ}$

c) - 2 события $^{14}\text{N} \rightarrow\ ^4\text{He} +\ 2\ ^3\text{He} +\ d$, $Q = 59\ \text{МэВ}$

$$\langle p_t(^6\text{He} + ^4\text{He} + ^3\text{He} + p) \rangle = 431 \pm 43\ \text{МэВ/с}$$

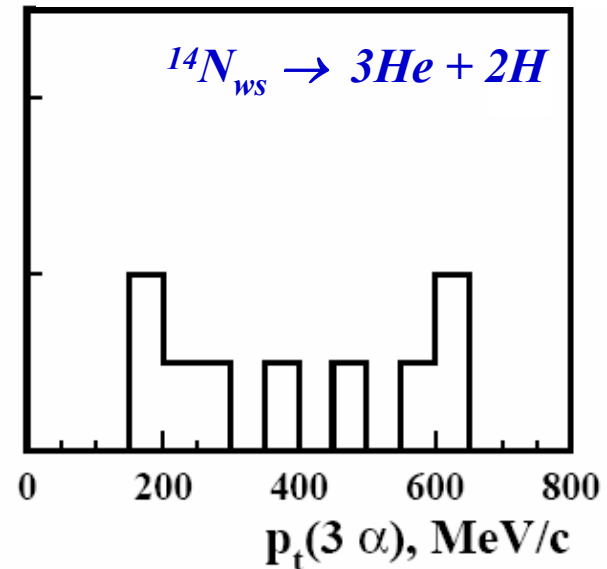
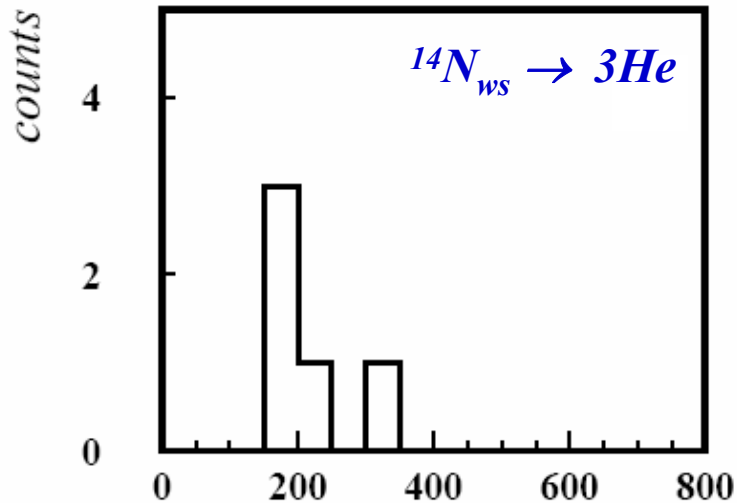
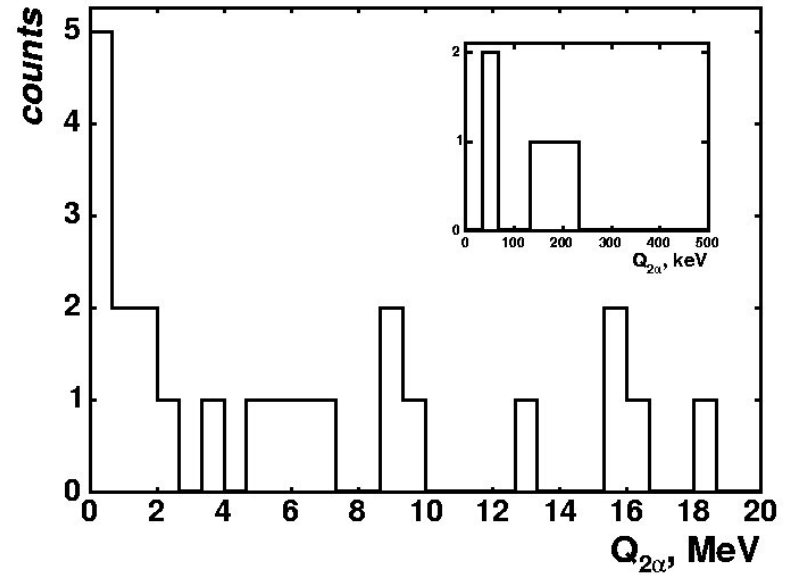
$$\langle p_t(3\ ^4\text{He} + d) \rangle = 182 \pm 90\ \text{МэВ/с}$$

Наблюдение процессов неупругой перезарядки



	$\Sigma Z_{fr} = 6$	$\Sigma Z_{fr} = 6$	$\Sigma Z_{fr} = 8$
N_{z1}	2	-	2
N_{z2}	2	3	3
N_{ws}	3	5	9
N_{tf}	2	7	1
N_{in}	5	12	10

} 3%



Основные выводы выполненного исследования состоят в следующем:

- 1. Установлено, что множественный канал диссоциации $^{14}\text{N} \rightarrow 3\text{He} + \text{H}$ лидирует в распределении по зарядовой топологии. Он дает вклад примерно 50%, как для “белых” звезд, так и для событий с образованием фрагментов мишени и мезонов. Значение среднего свободного пробега для этого канала в фотоэмульсии равно 2.5 м, в то время как для ядра ^{12}C равно 10.3 м. Такое возрастание сечения объясняется эффективным взаимодействием внешних слабосвязанных нуклонов ядра ^{14}N с ядрами мишени. Таким образом, ядро ^{14}N оказывается наиболее эффективным источником образования 3α -частичных систем.**
- 2. Получена значительная статистика для канала диссоциации $^{14}\text{N} \rightarrow 3\text{He} + \text{H}$, позволившая оценить по угловым измерениям энергетический масштаб образующихся в периферической фрагментации 3α -частичных систем. Установлено, что 80% взаимодействий соответствуют кластерным возбуждениям ядра ^{12}C с энергиями от порога диссоциации до 14 МэВ.**
- 3. Идентификация методом многократного кулоновского рассеяния релятивистских ядер H в канале $^{14}\text{N} \rightarrow 3\text{He} + \text{H}$ указывает на заметное снижение доли дейтронов по отношению к протонам по сравнению с ранее изученными случаями релятивистской фрагментации ^6Li и ^{10}B .**

4. Впервые изучены спектры по суммарному поперечному импульсу α -фрагментов в событиях $^{14}\text{N} \rightarrow 3\text{He} + X$. Среднее значение величины суммарного переданного системе из 3α -частиц поперечного импульса для “белых” звезд существенно меньше, чем для полупериферических взаимодействий, сопровождающихся образованием одного или нескольких фрагментов ядра-мишени.

5. Впервые для ядра ^{14}N были идентифицированы процессы релятивистской диссоциации $^{11}\text{C} + ^3\text{H}$, $^6\text{He} + ^4\text{He} + ^3\text{He} + p$, $^4\text{He} + 2\ ^3\text{He} + d$, для которых характерны глубокая перегруппировка α -частичной структуры этого ядра и преодоление высоких энергетических порогов. Кроме того, обнаружены процессы неупругой перезарядки $^{14}\text{N} \rightarrow 3\text{He} + 2\text{H}$, $^{14}\text{N} \rightarrow 3\text{He}$, $^{14}\text{N} \rightarrow 2\text{He} + 2\text{H}$.

6. Для канала фрагментации $^{14}\text{N} \rightarrow 3\text{He} + \text{H}$ выполнена оценка образования ядра ^8Be и проведено сравнение с фрагментацией ранее изученных ядер $^{12}\text{C} \rightarrow 3\text{He}$, $^{16}\text{O} \rightarrow 4\text{He}$. Из анализа угловых корреляций следует, что ядра ^{12}C , ^{14}N , ^{16}O с вероятностью не менее 20 % фрагментируют через образование промежуточного состояния $^8\text{Be} \rightarrow 2\alpha$.

Апробация работы

1. *8-th International Workshop «Relativistic nuclear physics from hundreds of MeV to TeV», Dubna, Russia, May 23-28, 2005.*
2. *Рабочее совещание, Сотрудничество БЕККЕРЕЛЬ, 4–5 октября, 2005.*
3. *Юбилейная научная сессия-конференция секции ЯФ ОФН РАН «Физика фундаментальных взаимодействий», ИТЭФ, Москва, 5-9 декабря 2005.*
4. *Совместный семинар ЛВЭ и ЛФЧ «Периферические взаимодействия релятивистских ядер ^{14}N с ядрами фотоэмульсии», Дубна, 20 января, 2006.*
5. *International A.M. Baldin Seminar of High Energy Physics Problems «Relativistic Nuclear Physics & Quantum Chromodynamics», Dubna, Russia, September 25-30, 2006.*
6. *Fourth European Summer School on Experimental Nuclear Astrophysics, Santa Tecla, Sicily, Italy, 26 September – 3 October, 2007.*
7. *Сессия-конференция Секции ядерной физики ОФН РАН «Физика фундаментальных взаимодействий», ИТЭФ, Москва, 26-30 ноября, 2007.*
8. *Специализированный научный семинар по релятивистской ядерной физике, ОИЯИ, Дубна, 14 мая 2008.*
9. *The 2-nd International Conference Current Problems in Nuclear Physics and Atomic Energy, NPAE, Kyiv, UKRAINE, June 9-15, 2008.*

Публикации

1. D.A. Artemenkov, ... T.V.Shchedrina... et al., «*Invariant analysis of the fragmentation of relativistic nuclei in emulsion*», In: Proceedings of the 26th International A.M. Baldin seminar on high energy physics problems, 339-346, Dubna, September 27 – October 2, (2004) 339-346.
2. N.P. Andreeva, ... T.V.Shchedrina et al., «*Light nuclei clustering in fragmentation above 1 A GeV*», In: Proceedings of the 8th International workshop «Relativistic nuclear physics from hundreds of MeV to TeV», 203-213, Dubna, May 23-28, (2005) 203-213.
3. D.A. Artemenkov ... T.V.Shchedrina et al., «*Clustering features of ^{11}B , ^7Be , ^8B , ^9Be , and ^{14}N nuclei in relativistic fragmentation*», In: Proceedings of the 9th International workshop «Relativistic nuclear physics from hundreds of MeV to TeV», 48-65, Modra-Harmonia, Slovakia, May 22-27, (2006) 48-65.
4. D.A. Artemenkov ... T.V.Shchedrina et al., «*Experimental studies of clustering features of some light nuclei in peripheral fragmentation above 1 A GeV*», In: Proceedings of 25th International workshop «Nuclear theory/25», Rila Mountains, Bulgaria, June 26 – July 1, (2006) 139-147.
5. N.P. Andreeva, ... T.V.Shchedrina et al., «*Clustering in light nuclei in fragmentation above 1 A GeV*», *Eur.Phys.J. A* 27S1 (2006) 295-300.
6. D.A. Artemenkov, T.V. Shchedrina, R. Stanoeva and P.I. Zarubin, «*Clustering features of ^9Be , ^{14}N , ^7Be , and ^8B nuclei in relativistic fragmentation*», In Proceedings of the International Symposium on Exotic Nuclei «EXON06», Khanty-Mansiysk, Russia, July 17-22, (2006), AIP conference proceedings vol. 912 (2007) 78-87.
7. Т.В. Щедрина и др., «*Периферические взаимодействия релятивистских ядер ^{14}N с ядрами фотоэмульсии*», *ЯФ* 70 (2007) 1271-1275.
8. T.V. Shchedrina and P.I. Zarubin, «*Clustering features of ^{14}N in relativistic multifragmentation process*», In Proceedings of the 2nd International Conference Current Problems in Nuclear Physics and Atomic Energy «NPAE08», Kyiv, Ukraine, June 9-15, (2008).