



BECQUEREL
PROJECT

Проект
БЕККЕРЕЛЬ

Beryllium (Boron)
Clustering
Quest in
Relativistic Multifragmentation

<http://becquerel.jinr.ru>

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЛЯТИВИСТСКОЙ ФРАГМЕНТАЦИИ ЛЕГКИХ РАДИОАКТИВНЫХ ЯДЕР МЕТОДОМ ЯДЕРНОЙ ЭМУЛЬСИИ

Проект BECQUEREL-D на 2012 – 14 гг.

П. И. Зарубин



Сотрудничество БЕККЕРЕЛЬ

Д. А. Артеменков, В. Браднова, П. И. Зарубин, И. Г. Зарубина, Н. В. Кондратьева, Н. К. Корнегруца, Д. О. Кривенков, А. И. Малахов, П. А. Рукояткин, В. В. Русакова

Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия

В. Р. Саркисян, А. А. Моисеенко, Г. Т. Торосян

Ереванский физический институт, Ереван, Армения

Р. Станоева

Юго-Западный университет, Благоевград, Болгария.

М. Хайдук, А. Неагу, Е. Штефан

Институт космических исследований, Бухарест, Румыния

С. Г. Герасимов, Л. А. Гончарова, В. А. Дронов, Н. Г. Пересадько, Н. Г.

Полухина, А. С. Русецкий, Н. И. Старков, М. М. Чернявский, В. Н. Фетисов, С. П. Харламов

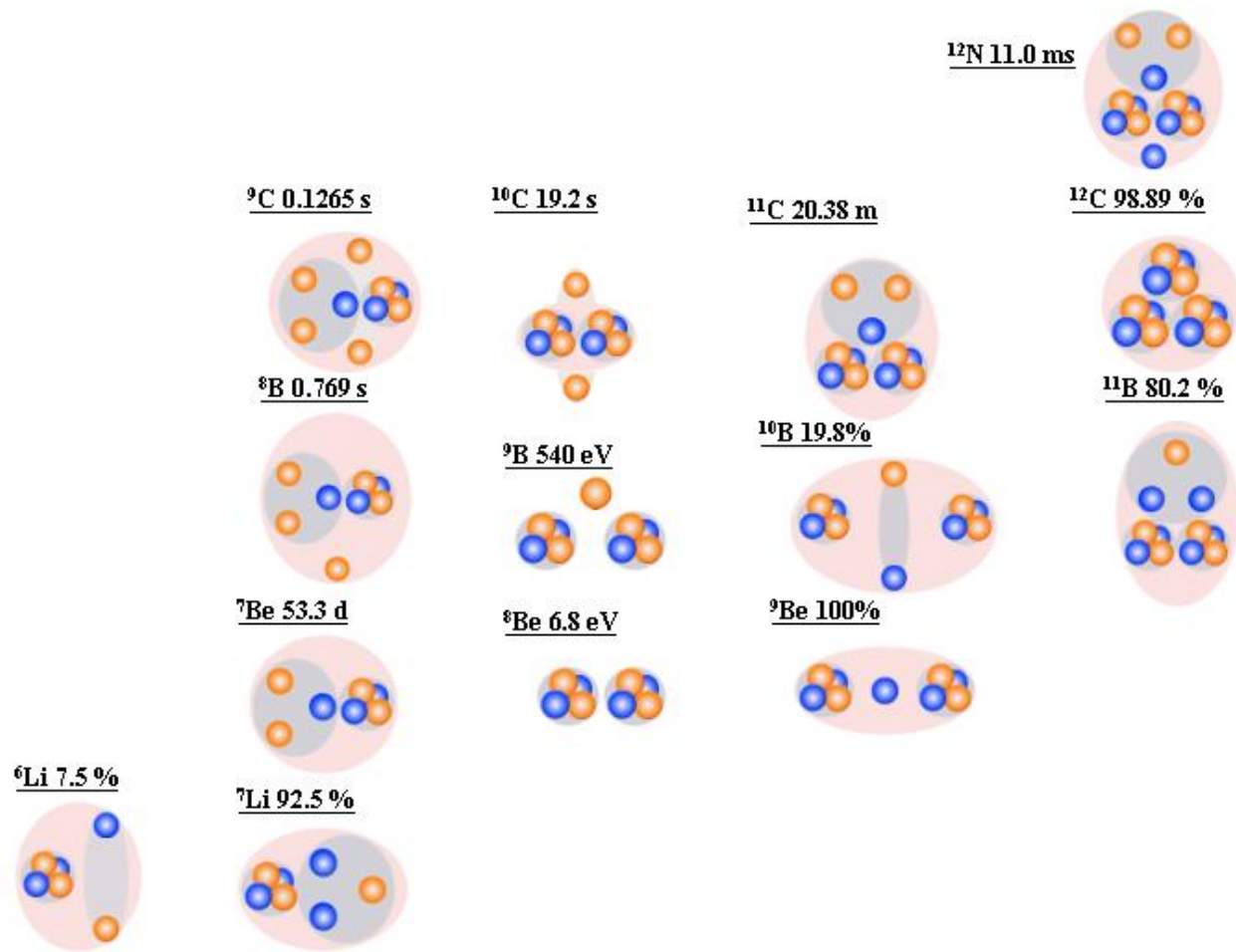
Физический институт имени П. Н. Лебедева РАН, Москва, Россия (ФИАН)

С. С. Аликулов, Р. Бекмирзаев, К. З. Маматкулов,

Джизакский педагогический университет, Джизак, Узбекистан

Р. Р. Каттабеков, К. Олимов

Физико-технический институт, Ташкент, Узбекистан



В диссоциации ${}^9\text{Be} \rightarrow 2\alpha$ доминируют основное и первое возбужденное состояний ядра ${}^8\text{Be}$, присутствующие с равными весами. При диссоциации ядра ${}^{14}\text{N}$ лидирует 3α канал кластерных возбуждений ядра ${}^{12}\text{C}$. В диссоциации изотопов ${}^{10,11}\text{B}$ лидирует топология $2\text{He} + \text{H}$ с d и t кластеризацией. Для ядра ${}^7\text{Be}$ лидируют каналы с ${}^3\text{He}$ кластеризацией. Для ядра ${}^8\text{B}$ определены условия электромагнитной диссоциации по лидирующему каналу ${}^7\text{Be} + p$. Изучена когерентная диссоциация ядра ${}^9\text{C}$, в которой идентифицировано образование кластерного состояния $3{}^3\text{He}$.

Этапы в развитии проекта оказались тесно связанными с возможностями, возникавшими с развитием нуклотрона ОИЯИ в 2000-е годы.

В завершающий период работы синхрофазотрона ОИЯИ (1999 г.) был получен первый опыт анализа облучения во вторичном пучке смеси ядер ${}^6\text{He}$ и ${}^3\text{H}$.

В 2002 г. сотрудничеством БЕККЕРЕЛЬ была выдвинута программа облучений ядерной эмульсии, целью которой стало систематическое изучение картины периферической фрагментации легких ядер.

Вывод пучка на нуклотроне ОИЯИ (2002 г.) позволил выполнить облучение ядрами ${}^{10}\text{B}$. В диссоциации ${}^{10}\text{B}$ была установлена кластеризация $2\alpha + d$, что мотивировало облучения ядрами ${}^{14}\text{N}$ для изучения кластеризации $3\alpha + d$, а также ядрами ${}^{11}\text{B}$ для изучения кластеризации $2\alpha + t$.

Интерес к ядру ${}^{11}\text{B}$ ускорил анализ кластеризации $\alpha + t$ в предшествующем облучении ядрами ${}^7\text{Li}$ на синхрофазотроне ОИЯИ.

Для развития представлений о кластеризации на основе ${}^3\text{He}$ выполнено облучение во вторичном пучке ядер ${}^7\text{Be}$, сформированном в реакциях перезарядки первичных ядер ${}^7\text{Li}$ (2004-5 гг.).

Ускорение ядер ${}^{10}\text{B}$ позволило создать вторичные пучки изотопов ${}^9\text{Be}$ и ${}^8\text{B}$ в оптимальных условиях для облучения и анализа. Итоги перечисленных облучений дали основания для облучений в пучках изотопов ${}^9,{}^{10}\text{C}$ и ${}^{12}\text{N}$, формируемых во фрагментации или перезарядке первичных ядер ${}^{12}\text{C}$ (2005-6 гг.).

Secondary nuclear fragment beams for investigations of relativistic fragmentation of light radioactive nuclei using nuclear photoemulsion at Nuclotron

P.A. Rukoyatkin^a, L.N. Komolov, R.I. Kukushkina, V.N. Ramzhin, and P.I. Zarubin

ISSN 1063-7788, Physics of Atomic Nuclei, 2008, Vol. 71, No. 9, pp. 1565–1571. © Pleiades Publishing, Ltd., 2008.

ELEMENTARY PARTICLES AND FIELDS Experiment

Fragmentation of Relativistic Nuclei in Peripheral Interactions in Nuclear Track Emulsion*

D. A. Artemenkov^{1)**}, V. Bradnova¹⁾, M. M. Chernyavsky²⁾, L. A. Goncharova²⁾, M. Haiduc³⁾, N. A. Kachalova¹⁾, S. P. Kharlamov²⁾, A. D. Kovalenko¹⁾, A. I. Malakhov¹⁾, A. A. Moiseenko⁴⁾, G. I. Orlova²⁾, N. G. Peresadko²⁾, N. G. Polukhina²⁾, P. A. Rukoyatkin¹⁾, V. V. Rusakova¹⁾, V. R. Sarkisyan⁴⁾, R. Stanoeva⁵⁾, T. V. Shchedrina¹⁾, S. Vokál¹⁾, A. Vokálová¹⁾, P. I. Zarubin^{1)***}, and

Few Body Syst (2008) 44: 273–276
DOI 10.1007/s00601-008-0307-6
Printed in The Netherlands

Few-
Body
Systems

Detailed study of relativistic ${}^9\text{Be} \rightarrow 2\alpha$ fragmentation in peripheral collisions in a nuclear track emulsion*

D. A. Artemenkov^{**}, D. O. Krivenkov, T. V. Shchedrina, R. Stanoeva, P. I. Zarubin

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ДИССОЦИАЦИЯ РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЯДЕР ${}^8\text{В}$ В ЯДЕРНОЙ ЭМУЛЬСИИ

© 2009 г. Р. Станоева^{1),2)}, Д. А. Артеменков¹⁾, В. Браднова¹⁾, С. Вокал^{1),3)}, Л. А. Гончарова⁴⁾, П. И. Зарубин^{1)*}, И. Г. Зарубина¹⁾, Н. А. Качалова¹⁾, А. Д. Коваленко¹⁾, Д. О. Кривенков¹⁾, А. И. Малахов¹⁾, Г. И. Орлова⁴⁾, Н. Г. Пересадько⁴⁾, Н. Г. Полухина⁴⁾, П. А. Рукояткин¹⁾, В. В. Русакова¹⁾, М. Хайдук⁵⁾, С. П. Харламов¹⁾, М. М. Чернявский⁴⁾, Т. В. Щедрина¹⁾

ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА, 2010, том 73, № 12, с. 2159–2165

ЭЛЕМЕНТАРНЫЕ ЧАСТИЦЫ И ПОЛЯ

КОГЕРЕНТНАЯ ДИССОЦИАЦИЯ РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЯДЕР ${}^9\text{С}$

© 2010 г. Д. О. Кривенков¹⁾, Д. А. Артеменков¹⁾, В. Браднова¹⁾, С. Вокал²⁾, П. И. Зарубин^{1)*}, И. Г. Зарубина¹⁾, Н. В. Кондратьева¹⁾, А. И. Малахов¹⁾, А. А. Моисеенко³⁾, Г. И. Орлова⁴⁾, Н. Г. Пересадько⁴⁾, Н. Г. Полухина⁴⁾, П. А. Рукояткин¹⁾, В. В. Русакова¹⁾, В. Р. Саркисян³⁾, Р. Станоева¹⁾, М. Хайдук⁵⁾, С. П. Харламов⁴⁾

ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА, 2010, том 73, № 12, с. 2166–2171

ЭЛЕМЕНТАРНЫЕ ЧАСТИЦЫ И ПОЛЯ

ОБЛУЧЕНИЕ ЯДЕРНОЙ ЭМУЛЬСИИ В СМЕШАННОМ ПУЧКЕ РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЯДЕР ${}^{12}\text{N}$, ${}^{10}\text{C}$ И ${}^7\text{Be}$

© 2010 г. Р. Р. Каттабеков^{1),2)}, К. З. Маматкулов^{1),3)}, Д. А. Артеменков¹⁾, В. Браднова¹⁾, С. Вокал⁴⁾, Д. М. Жомуродов^{1),3)}, П. И. Зарубин^{1)*}, И. Г. Зарубина¹⁾, З. А. Игамкулов^{1),3)}, Н. В. Кондратьева¹⁾, Н. К. Корнегруца¹⁾, Д. О. Кривенков¹⁾, А. И. Малахов¹⁾, Г. И. Орлова²⁾, Н. Г. Пересадько⁵⁾, Н. Г. Полухина⁵⁾, П. А. Рукояткин¹⁾, В. В. Русакова¹⁾, Р. Станоева^{1),6)}, М. Хайдук⁷⁾, С. П. Харламов⁵⁾

2nd Workshop on
"State of the Art in Nuclear Cluster Physics" SOTANCP2

Université Libre de Bruxelles, Belgium
May 25-28, 2010

<http://pntpm4.ulb.ac.be/sotancp2>



ULB

The 21st European Conference on Few-Body Problems in Physics



SALAMANCA (SPAIN)
August 29th – September 3rd 2010

2 International Conference Current Problems in Nuclear Physics and Atomic Energy (NPAE-Kyiv2008) June 9 - 15, 2008 Kyiv, Ukraine



EX 2009
SOCHI ON

International Symposium on
Exotic Nuclei
September 28 - October 2, 2009, Sochi, Russia

Editors:
Yu. E. Penionzhkevich
S. M. Lukyanov

AIP
American Institute
of Physics

AIP CONFERENCE PROCEEDINGS 1224

Артеменков Д. А. «Исследование фрагментации ядер ${}^9\text{Be}$ на альфа-частичные пары в ядерной фотоэмульсии при энергии 1.2 А ГэВ» Кандидатская диссертация (рук. П. И. Зарубин), ФИАН, 4.6.2008 г.

Станоева Р. Ж. «Исследование релятивистской фрагментации ядер ${}^8\text{B}$ методом ядерной фотографической эмульсии» Кандидатская диссертация (рук. П. И. Зарубин), ФИАН, 22.9.2008 г.

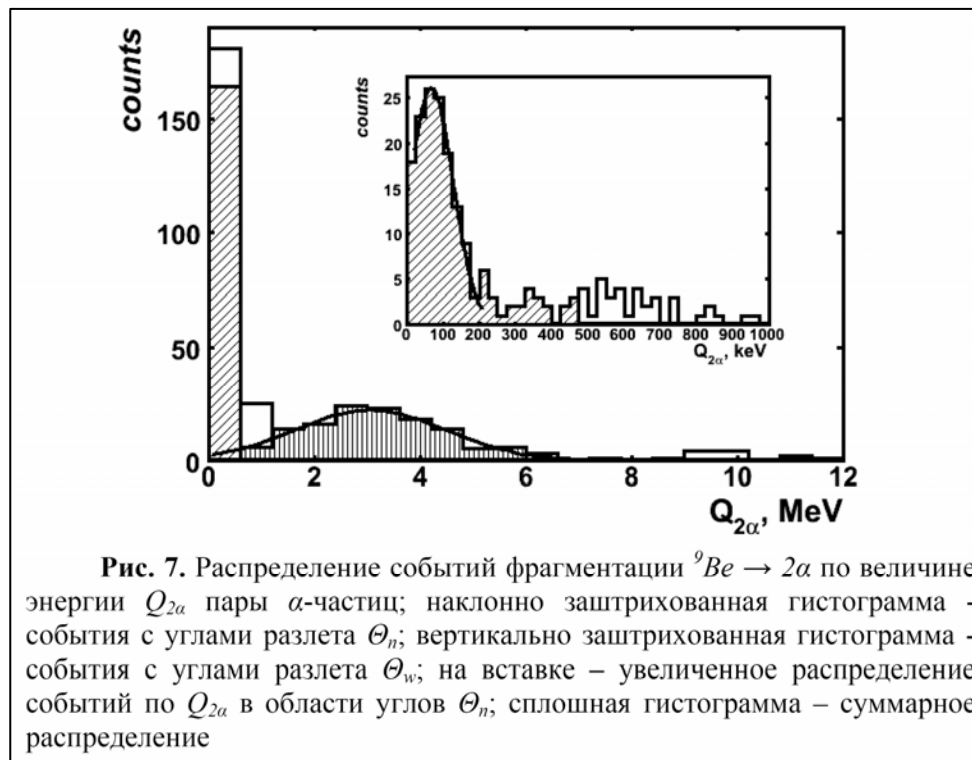
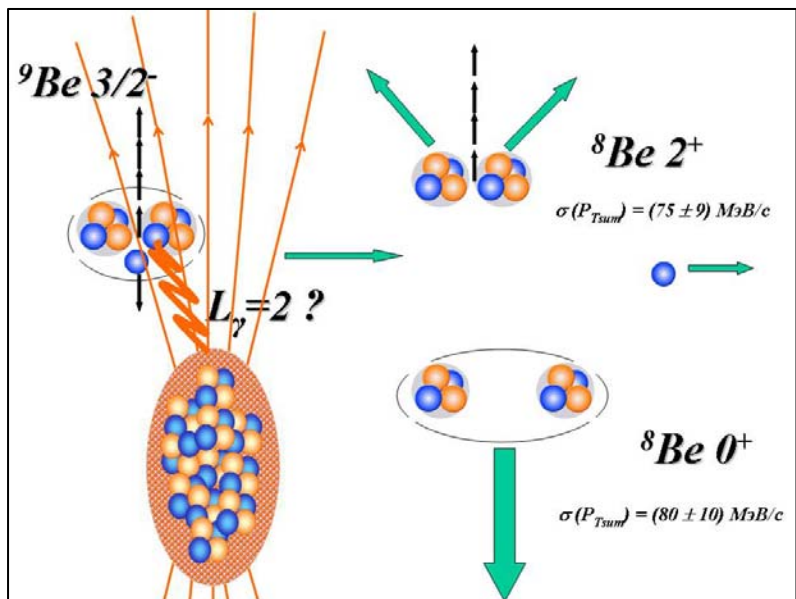
Щедрина Т. В. «Исследование фрагментации релятивистских ядер ${}^{14}\text{N}$ методом ядерной фотографической эмульсии» Кандидатская диссертация (рук. П. И. Зарубин), ФИАН, 17.11.2008 г.

П. И. Зарубин «Кластеризация нуклонов в диссоциации легких релятивистских ядер» Докторская диссертация, ФИАН, 18.10.2010 г

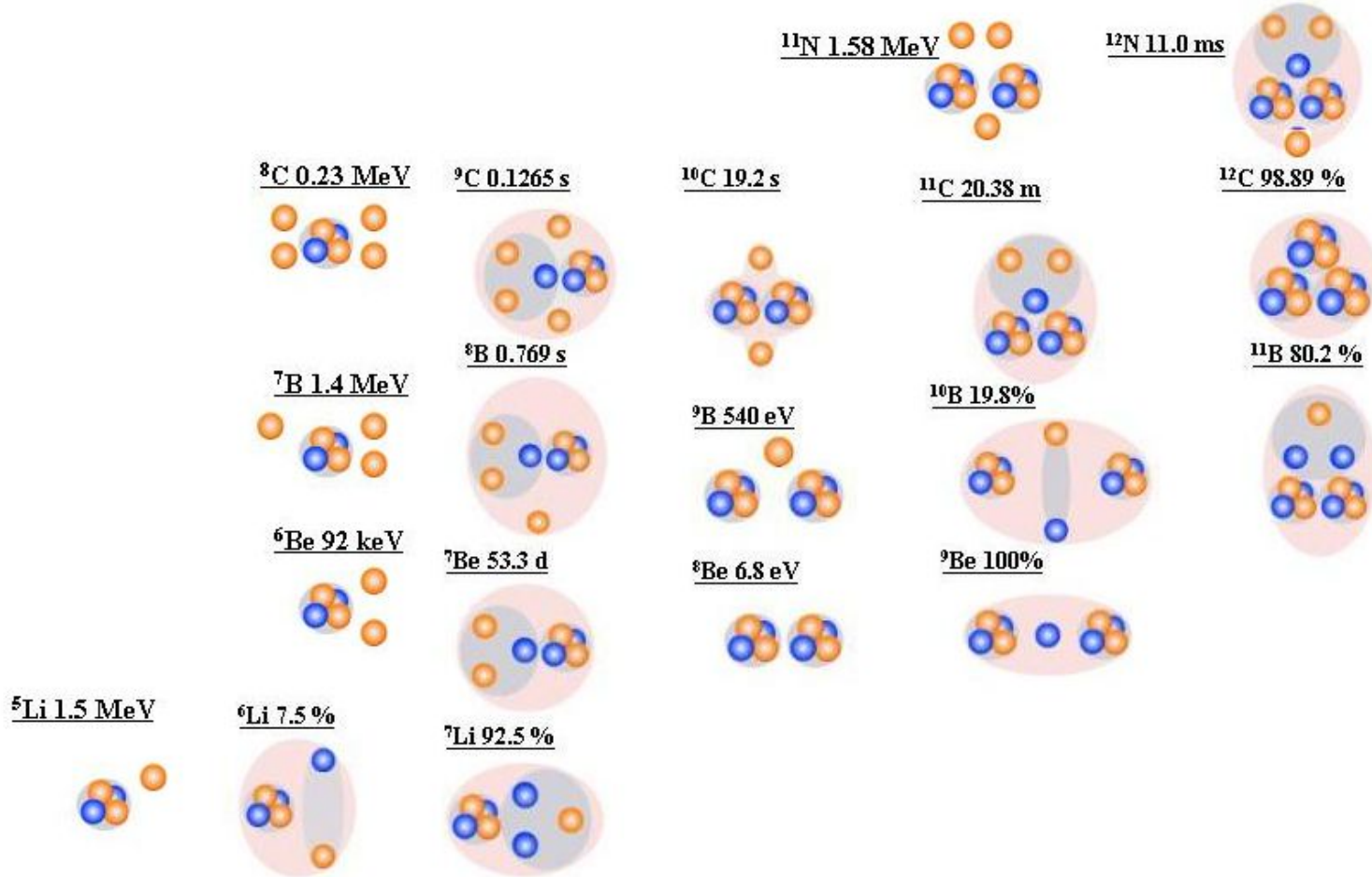
Кривенков Д. О. «Исследование когерентной диссоциации релятивистских ядер ${}^9\text{C}$ » Проект кандидатской диссертация (рук. П. И. Зарубин и Артеменков Д. А.) ОИЯИ, ????.2010 г.



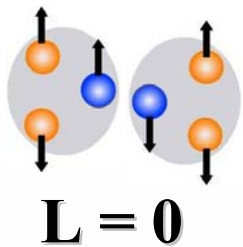
Около 81 % событий по величине угла разлета Θ образуют две примерно равные группы – это «узкие» α -пары в интервале $0 < \Theta_{n(\text{arrow})} < 10.5 \text{ мрад}$ и «широкие» - $15.0 < \Theta_{w(\text{ide})} < 45.0 \text{ мрад}$. Образование «узких» пар Θ_n сопоставляется распадам ядер ${}^8\text{Be}$ из основного состояния 0^+ , а пар Θ_w – из первого возбужденного состояния 2^+ . Доли событий Θ_n и Θ_w составляют 0.56 ± 0.04 и 0.44 ± 0.04 .



Эти данные можно рассматривать как доказательство того, что в структуре ядра ${}^9\text{Be}$ с высокой вероятностью имеется кор в виде двух состояний ядра ${}^8\text{Be}$ и внешнего нейтрона. Полученные результаты согласуются с теоретическими работами по описанию структуры ядра ${}^9\text{Be}$, предполагающими присутствие в его основном состоянии состояния 0^+ и 2^+ ядра ${}^8\text{Be}$ приблизительно с одинаковыми весами.



Продолжение проекта БЕККЕРЕЛЬ-*D(ripline)* на 2012-14 гг. посвящено обзорному исследованию фрагментации в ядерной эмульсии релятивистских ядер ^9C , ^{10}C и ^{12}N , облучение которыми уже выполнено в предшествующей фазе проекта. Уже облученная эмульсия позволит исследовать ядерно-молекулярную структуру несвязанных ядер ^6Be , ^7B , ^8C и ^{11}N , которые образуются в реакциях фрагментации ядер ^7Be , ^8B , ^9C и ^{12}N со срывом нейтронов Будут продолжены исследования кластерных степеней свободы в ядрах ^7Be и $^{8,10,11}\text{B}$ на новом уровне статистики и детальности описания.



${}^3\text{He} (h)$ - гелион
 ${}^2{}^3\text{He} (2h)$ – дигелион?!...

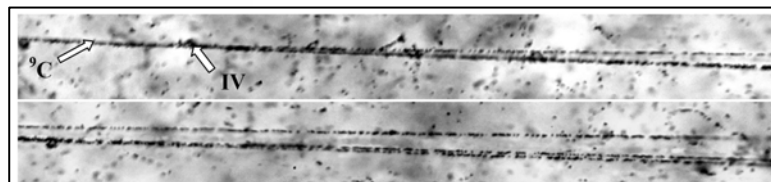
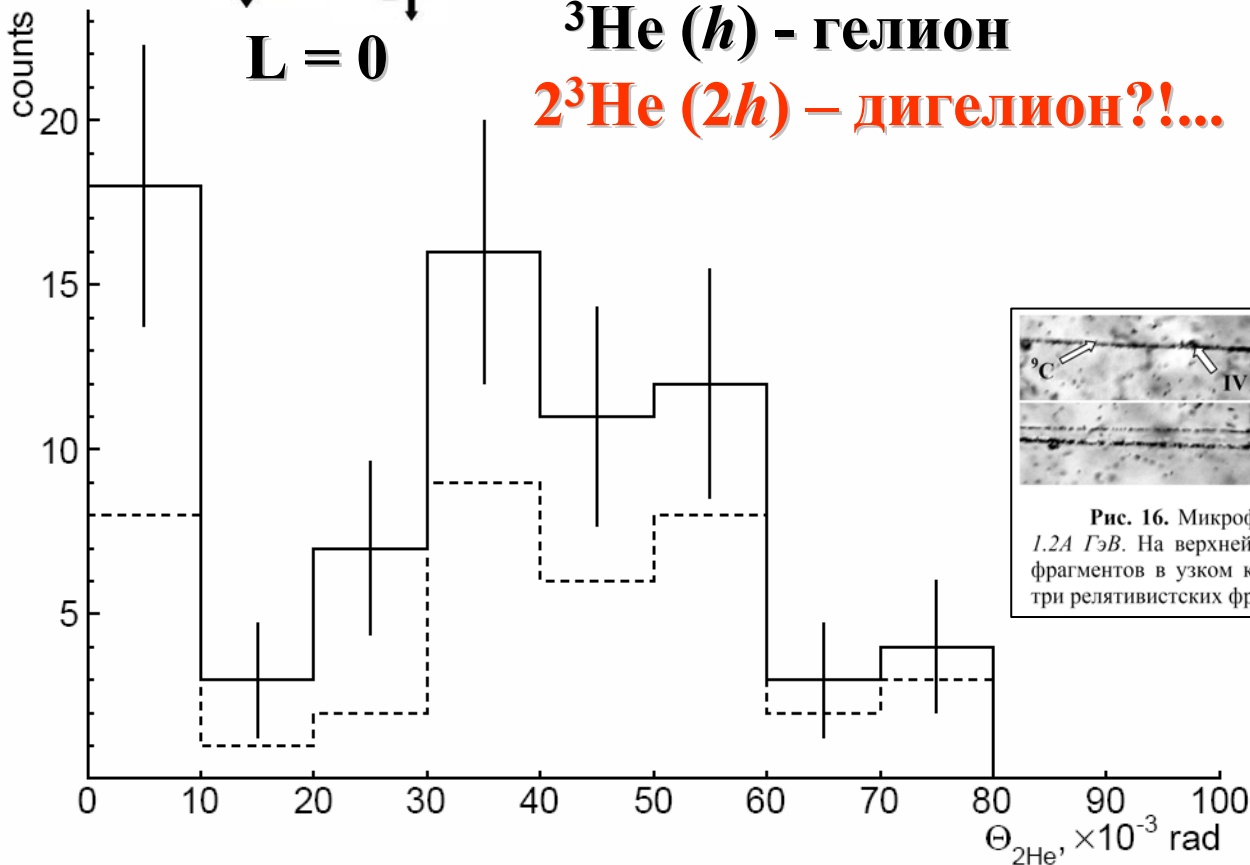
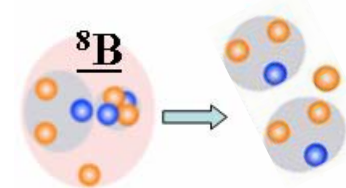
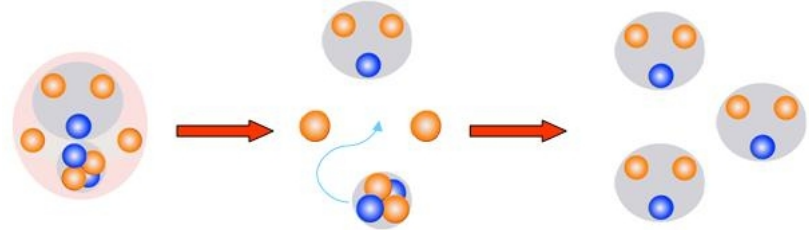
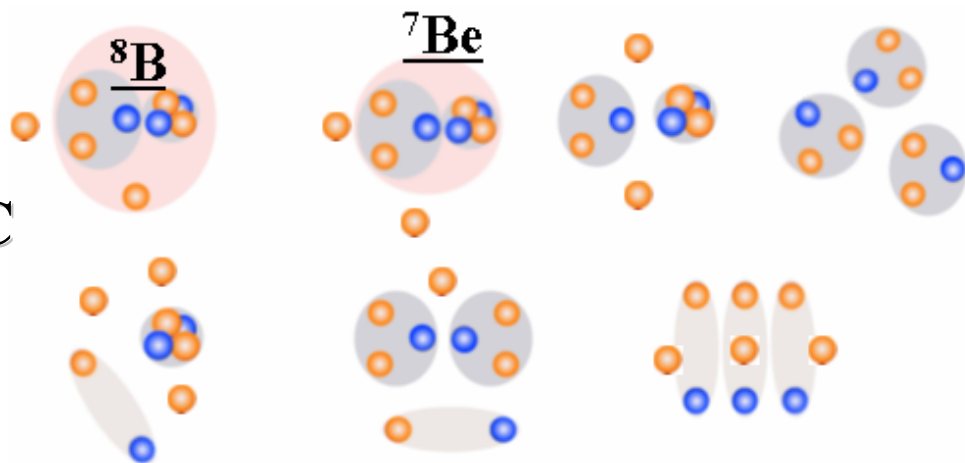


Рис. 16. Микрофотография «белой звезды» ${}^9\text{C} \rightarrow 3{}^3\text{He}$ при энергии 1.2A ГэВ. На верхней фотографии видна вершина диссоциации и струя фрагментов в узком конусе; при продвижении вдоль струи различаются три релятивистских фрагмента He (нижняя фотография)

Суммарное распределение по парному углу $\Theta_{2\text{He}}$, между релятивистскими ядрами фрагментами He в событиях ${}^8\text{B} \rightarrow 2\text{He} + \text{H}$ с образованием фрагментов ядра мишени или мезонов и в белых звездах ${}^9\text{C} \rightarrow 3{}^3\text{He}$; вклад ${}^9\text{C}$ белых звезд указан пунктиром.

Анализ облучения ядрами ${}^9\text{C}$



$\sum Z_{\text{fr}}$	B + H	Be + 2H	3He	Be + He	Li + He + H	Li + 3H	2He + 2H	He + 4H	6H
N_{ws}	15	16	16	4	2	2	24	28	6
N_{tf}	51	47	9	7	11	8	54	80	16

Распределение числа “белых звезд” N_{ws} и событий с образованием фрагментов мишени N_{tf} по каналам с $\sum Z_{\text{fr}} = 6$

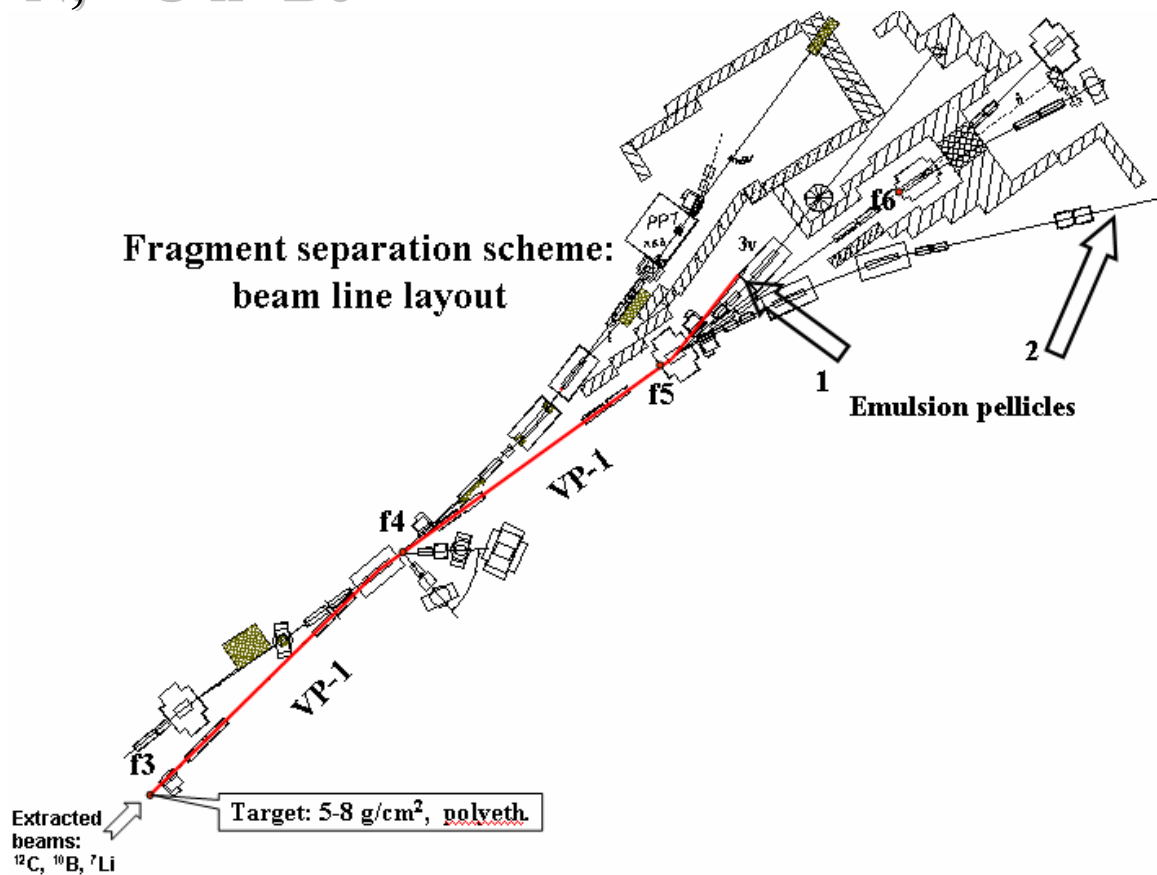
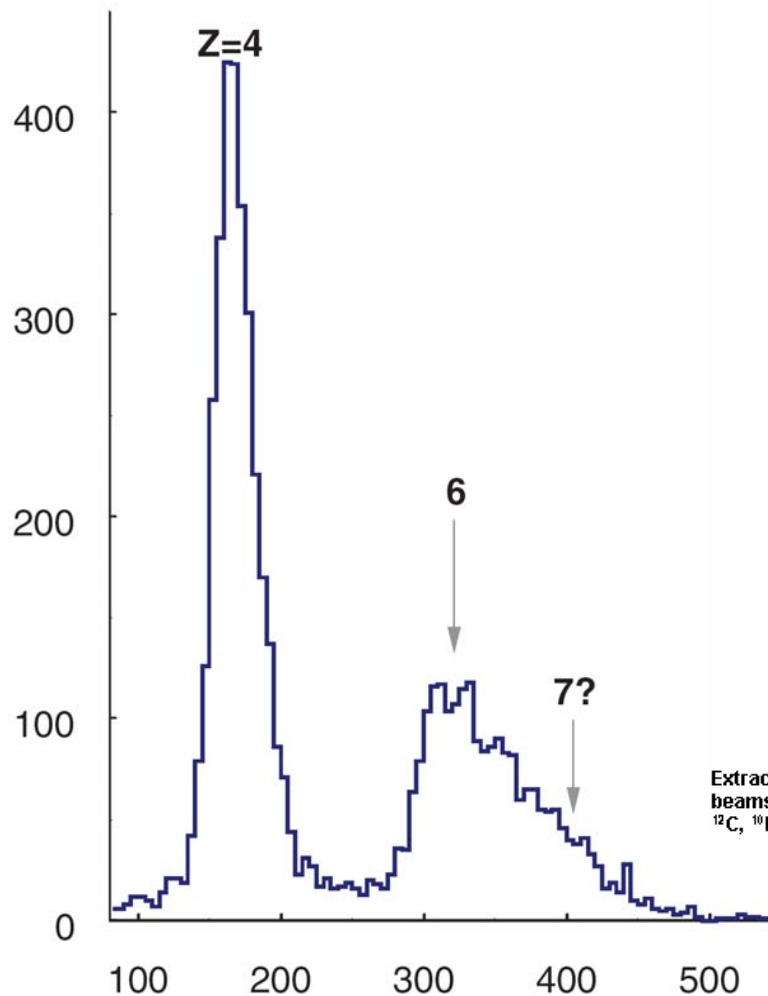
При исследовании взаимодействий ядер ${}^9\text{C}$ с импульсом 2A ГэВ/с обнаружено, что вероятность канала когерентной диссоциации с высоким порогом $3{}^3\text{He}$, составляет 14% , что приблизительно совпадает со значениями для каналов с отделением одного или пары нуклонов, имеющими низкие пороги. Благодаря значительной вероятности канала ${}^9\text{C} \rightarrow 3{}^3\text{He}$, обнаружена выделенная группа коррелированных пар, состоящих из ядер $2{}^3\text{He}$ с углами разлета до 10^{-2} рад.

Это наблюдение указывает на возможность существования резонансного состояния в системе $2{}^3\text{He}$ (аналога ядра ${}^8\text{Be}$) вблизи порога образования, что выдвигает проблему его поиска при энергии распада (142 ± 35) кэВ. Это наблюдение подтверждается и при анализе взаимодействий ядер ${}^8\text{B}$ со срывом нейтронов.

Таким образом, ядерная эмульсия, облученная релятивистскими ядрами ${}^9\text{C}$, проявляет себя как источник поиска резонансов в системе $2{}^3\text{He}$, позволяющего сориентировать исследования в области, характерной для одного из ключевых процессов ядерной астрофизики. Эта важная находка заслуживает проверки и изучения на значительно большей статистике.

Одним из ее технически более простых вариантов может оказаться события релятивистской диссоциации ${}^7\text{Be} \rightarrow 2{}^3\text{He}$ с выбиванием нейтрона и образованием фрагментов ядра мишени или мезонов. Родственная проблема - это поиск аналога несвязанного ядра ${}^9\text{B}$ в канале фрагментации ${}^8\text{B} \rightarrow 2{}^3\text{He} + p$.

Анализ облучения в смешанном пучке релятивистских ядер ^{12}N , ^{10}C и ^7Be



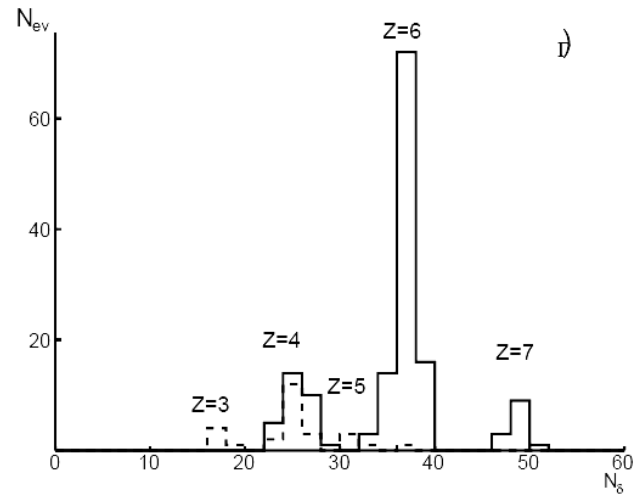
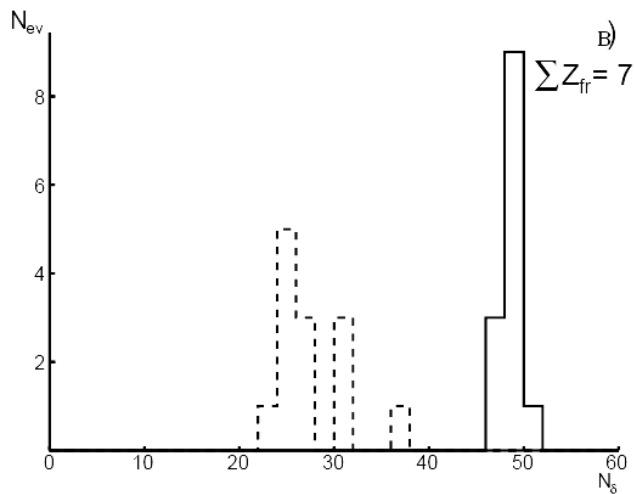
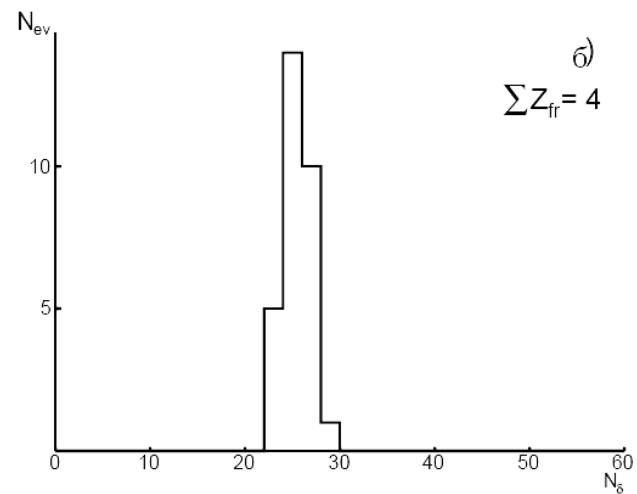
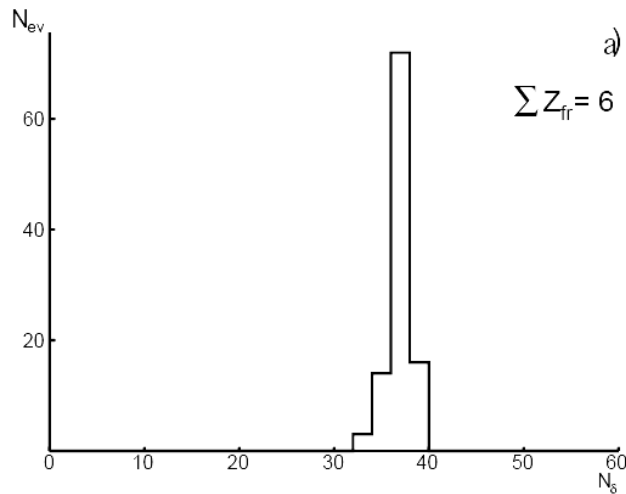
Амплитудный спектр со сцинтиляционного счетчика, установленного на месте облучения эмульсионной стопки при настройке канала транспортировки пучка на сепарацию ядер ^{12}N ; указаны положения пиков для ядер с зарядами $Z_{pr} = 4, 6$ и 7

Генерация ядер ^{12}N и ^{10}C возможна в реакциях перезарядки и фрагментации ускоренных ядер ^{12}C .

Для ядер ^{10}C и ^{12}N отношений зарядов к весам $Z_{\text{pr}}/A_{\text{pr}}$ отличаются всего на 3%, а импульсный аксептанс сепарирующего канала нуклотрона 2 - 3 %. В этой связи сепарация этих ядер невозможна, и ядра ^{10}C и ^{12}N присутствуют в пучке, образуя так называемый пучковый коктейль. В составе пучка присутствуют и ядра ^7Be , у которых отличие по $Z_{\text{pr}}/A_{\text{pr}}$ от ^{12}N только 2%. Для соседних ядер ^8B , ^9C и ^{11}C отличие по $Z_{\text{pr}}/A_{\text{pr}}$ от ^{12}N оказывается около 10%, что обуславливает их подавление при облучении эмульсии.

Идентификация ядер ^{12}N и ^7Be в облученной эмульсии возможна по зарядам пучковых ядер Z_{pr} , определяемых методом счета δ -электронов на пучковых следах. В случае ^{10}C необходимо убедиться в малом вкладе соседних изотопов C на основе зарядовой топологии «белых» звезд $\sum Z_{\text{fr}}$.

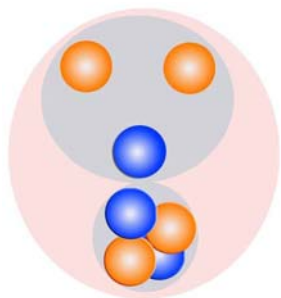
Звёзды	"Белые" звёзды	длина
6144	516	924.7 м



Распределения числа N_{tr} следов пучковых частиц и вторичных фрагментов (пунктирная линия) по среднему числу δ -электронов на 1 мм длины N_δ в “белых” звездах $2He + 2H$ (а), $2He$ и $He + 2H$ (б) и в событиях с фрагментами $Z_{fr} > 2$ (в); распределение N_{tr} по N_δ для всех измеренных событий (г)

Анализ облучения ядрами ${}^7\text{Be}$

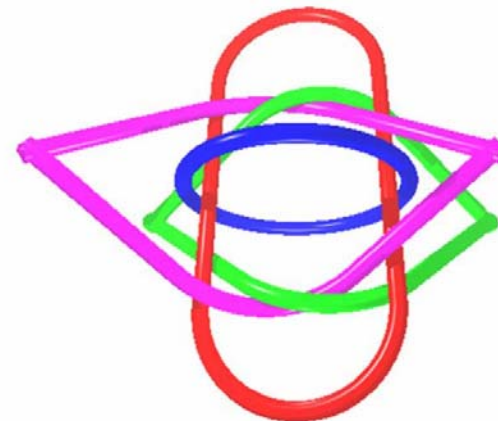
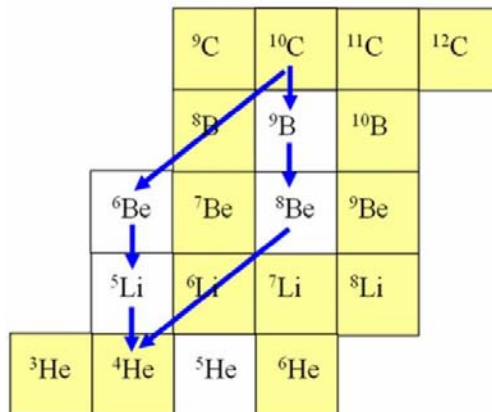
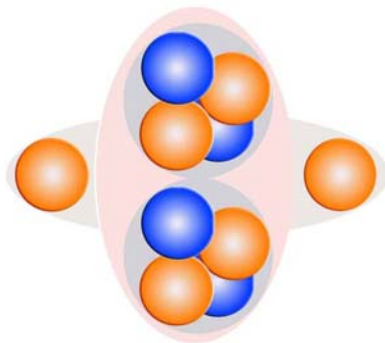
Попутно в этом облучении для ядра ${}^7\text{Be}$ набрана большая статистика по каналам диссоциации числа «белых» звезд N_{ws} и событий с фрагментами мишени или рожденными мезонами N_{tf} , для которых выполняется условие $\sum Z_{fr} = 4$. Эта статистика составляет основу для исследования резонанса в системе $2{}^3\text{He}$. Будут выполнены угловые измерения и идентификация релятивистских фрагментов этих событиях.



Канал	2He	He + 2H	4H
N_{ws}	95	116	14
N_{tf}	371	554	16

Распределение по каналам диссоциации числа «белых» звезд N_{ws} и событий с фрагментами мишени или рожденными мезонами N_{tf} , для которых выполняется условие $\sum Z_{fr} = 4$

Анализ облучения ядрами ^{10}C

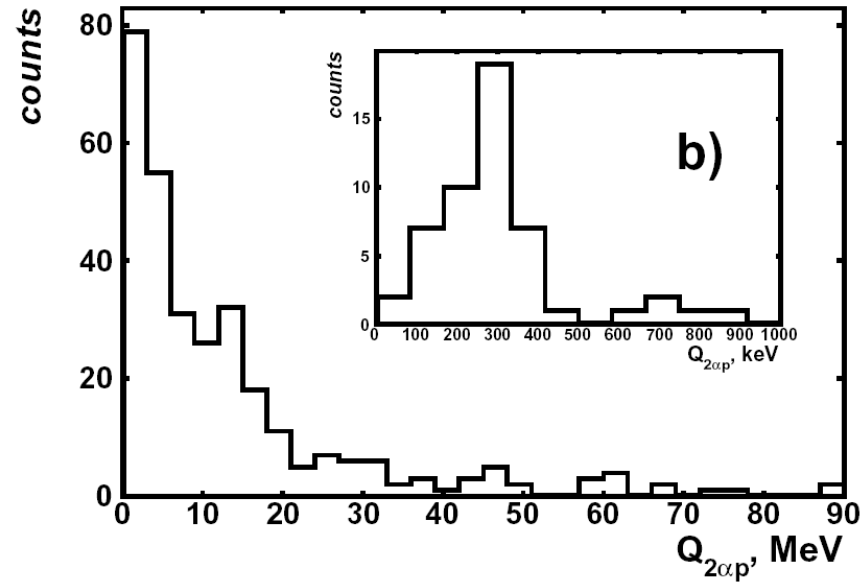
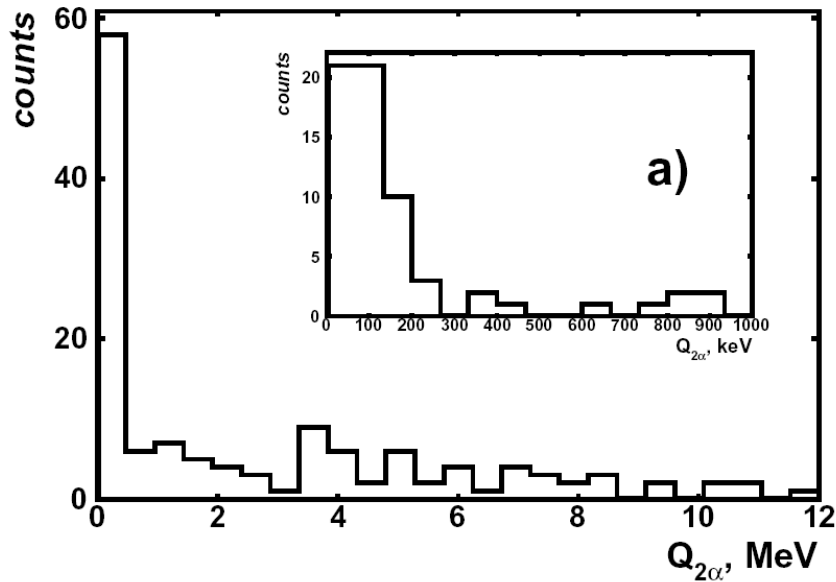


Ядро ^{10}C является обладает супербороминовскими свойствами, поскольку удаление из него одного из четырех кластеров в структуре $2\alpha + 2p$ (порог 3.8 МэВ) ведет к несвязанному состоянию

$\sum Z_{fr}$	$2\text{He} + 2\text{H}$	$\text{He} + 4\text{H}$	6H
N_{ws}	159	16	8
N_{tf}	211	76	16

Распределение по каналам диссоциации числа «белых» звезд N_{ws} и событий с фрагментами мишени или рожденными мезонами N_{tf} , для которых выполняется условие $\sum Z_{fr} = 6$

Распады несвязанных ядер ^8Be и ^9B

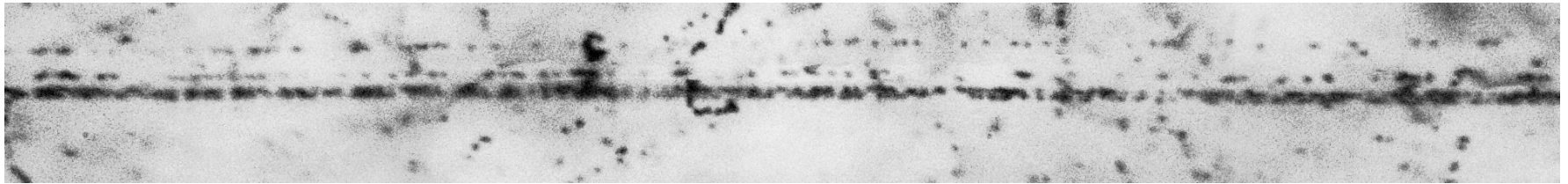
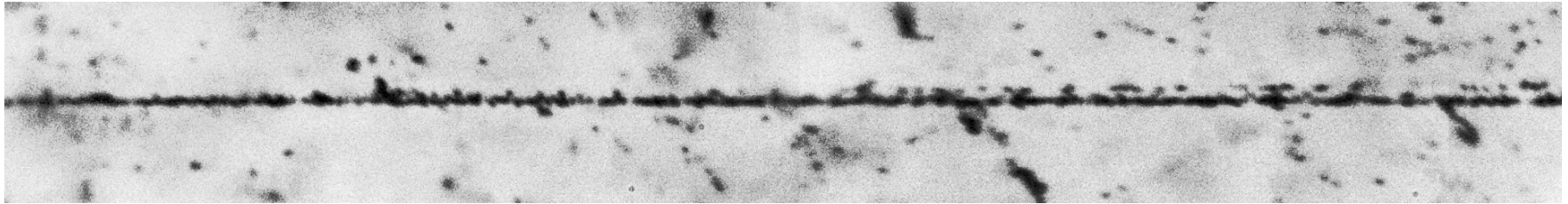


Распределение 156 “белых” звезд N_{ws} топологии $2\text{He} + 2\text{H}$ по энергии возбуждения $Q_{2\alpha}$ пар α -частиц; на вставке – увеличенное распределение $Q_{2\alpha}$ (a); распределение числа “белых” звезд N_{ws} топологии $2\text{He} + 2\text{H}$ по энергии возбуждения $Q_{2\alpha p}$ троек $2\alpha + p$; на вставке – увеличенное распределение $Q_{2\alpha p}$ (b)

В 63 событиях $Q_{2\alpha}$ не превышает 500 кэВ (вставка на рис. a)). Среднее значение $\langle Q_{2\alpha} \rangle$ составляет 87 ± 7 кэВ при среднеквадратичном рассеянии $\sigma \approx 53$ кэВ, что отвечает распадам основного состояния ядра ^8Be .

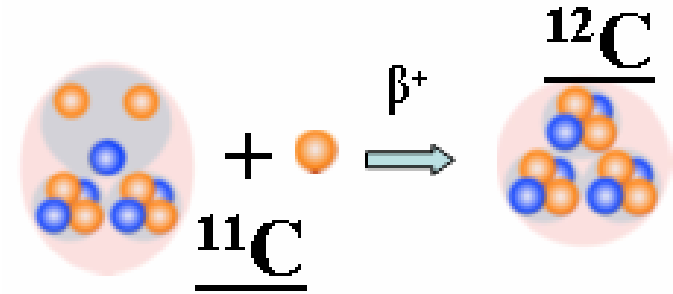
В 58 событиях величина $Q_{2\alpha p}$ для одной из двух комбинаторно возможных троек $\alpha + \alpha + p$ также не превышает 500 кэВ (вставка на рис. b)). Среднее значение $\langle Q_{2\alpha p} \rangle$ составляет 254 ± 18 кэВ при среднеквадратичном рассеянии $\sigma = 96$ кэВ. Эти величины соответствуют распаду основного состояния ядра ^9B по каналу $p + ^8\text{Be} (0+)$ с известными значениями энергии 185 кэВ и ширины (0.54 ± 0.21) кэВ.

В распределении $Q_{2\alpha} < 1$ МэВ и $Q_{2\alpha p} < 1$ МэВ имеется четкая корреляция в образования в основном состояниях ядер ^8Be и ^9B .



Можно отметить образование одного события $2\alpha + 2p$ со значениями $Q_{2\alpha p}$ равными 0.23 и 0.15 кэВ, т. е. обе тройки одновременно соответствуют распаду ядра ${}^9\text{В}$. Во всех остальных случаях образования ядра ${}^9\text{В}$ второе из двух возможных значений $Q_{2\alpha p}$ имеет величину больше 500 кэВ.

Анализ облучения ядрами ^{12}N



Особенность ядра ^{12}N состоит в малой энергии отделения протона (600 кэВ). Поэтому для «белых» звезд, рождаемых ^{12}N , можно было бы ожидать лидирования канала $^{11}\text{C} + p$. Возможны каналы когерентной диссоциации $\alpha + {}^8\text{B}$ (порог 8 МэВ), $p + {}^7\text{Be} + \alpha$ и более сложные конфигурации с кластерной диссоциацией основ в виде ядер ${}^8\text{B}$ и ${}^7\text{Be}$.

$\sum Z_{\text{fr}}$	C + H	B + He	Be + He + H	B + 2H	Be + 3H	3He + H	2He + 3H	He + 5H	N_{ws}
$< 11^0$	5	6	7	7	10	2	19	9	65
$< 6^0$	5	6	6	5	5	2	10	2	41

Распределение по каналам диссоциации числа «белых» звезд N_{ws} , для которых выполняется условие $Z_{\text{pr}} = \sum Z_{\text{fr}}$ и $\sum Z_{\text{fr}} = 7$

В целом зарядовая топология диссоциации исследованных ядер представляется непротиворечивой, а выполненное облучение эмульсии - имеющим перспективы увеличения статистики “белых” звезд ^{12}N и ^{10}C , так и их детального анализа. Уже на настоящем этапе анализа можно сделать и некоторые физические выводы о кластерных особенностях ядер ^{12}N и ^{10}C .

В практическом плане, анализ угловых корреляций подтверждает вывод о доминировании в пучке ядер ^{10}C . Образование в диссоциации ядер ^{10}C ядер ^8Be носит каскадный характер $^{10}\text{C} \rightarrow ^9\text{B} \rightarrow ^8\text{Be}$. Отсутствует заметный вклад от распадов $^8\text{Be} \rightarrow 2\alpha$ через первое возбужденное состояние 2^+ , что качественно отличает ядро ^{10}C от ^9Be . (

Можно предположить, что состояние 2^+ ядра ^8Be не дает вклада в основное состояния ядра ^{10}C , а его основу составляет только протяженное состояние 0^+ . Спаренные протоны могут иметь значение ковалентной пары в молекулярно-подобной системе ^{10}C с двуцентровым потенциалом $\alpha + 2p + \alpha$. Проверка таких предположений будет выполнена при анализе корреляций в парах $2p$, 2α и αp , а затем и для более сложных конфигураций с нестабильными ядрами $p + ^9\text{B}$, $2p + ^8\text{Be}$ и $\alpha + ^6\text{Be}$.

В ясно интерпретируемых реакциях фрагментации ядер $^{10}\text{C} \rightarrow ^9\text{C}$, т. е. с выбиванием нейтрона и образованием фрагментов ядра мишени или мезонов, будут исследованы импульсные спектры ядер ^9C . Эта информация позволит в рамках статистической модели сделать выводы об импульсном распределении глубоко связанных нейтронов в ядре ^{10}C и сравнить их с данными по внешнему нейтрону в ядре ^9Be и протону в ядре ^8B .

Основные задачи продолжения проекта БЕККЕРЕЛЬ-D

включают:

Исследование периферической фрагментации ядра ^{10}C на статистике 500 взаимодействий.

Исследование периферической фрагментации ядра ^{12}N на статистике 100 взаимодействий.

Поиск 2^3He -резонанса в периферической фрагментации ядер ^9C , ^8B , ^7Be на статистике 200 пар 2^3He .

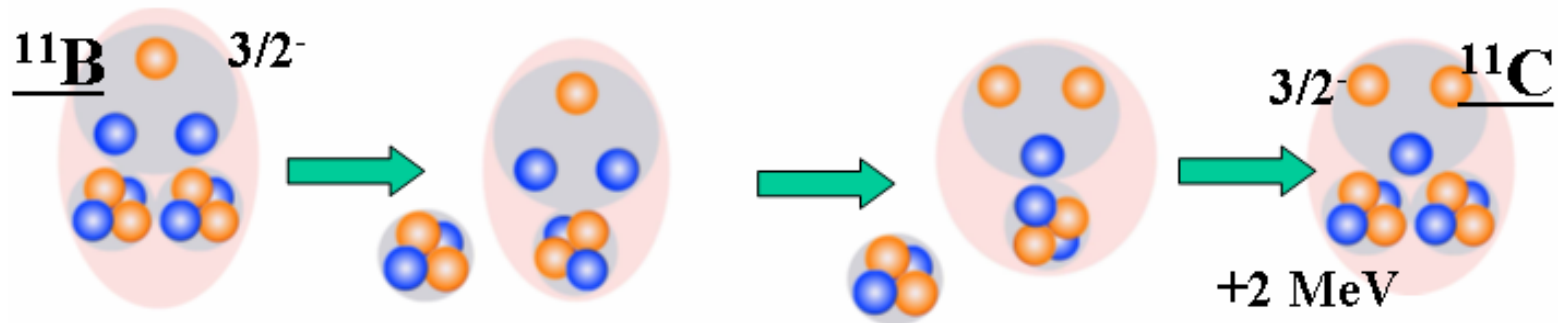
Новое облучение ядерной эмульсии во вторичных пучках содержащих изотоп ^{11}C , формируемых с помощью реакций перезарядки ускоренных ядер.

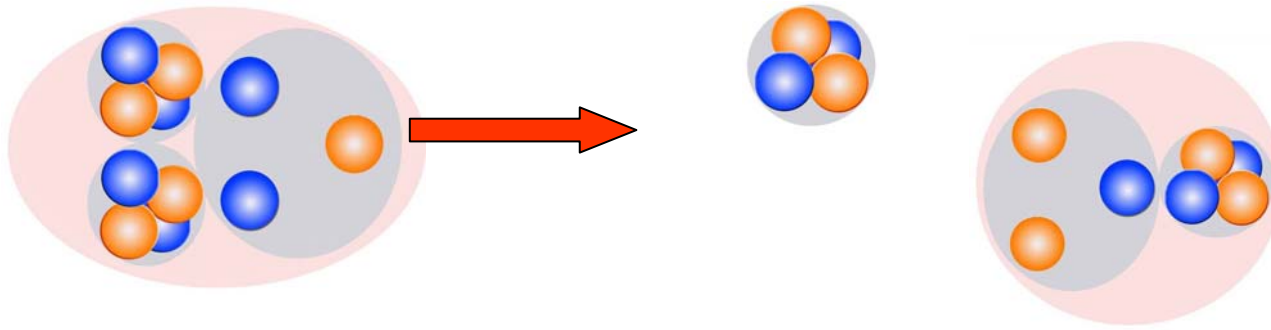
Кроме того, будут продолжены на новом уровне статистики:

Исследования 2α -частичных корреляций во фрагментации ядер $^{10,11}\text{B}$ на статистике 200 взаимодействий.

Исследования кластерных степеней свободы в ядрах ^{28}Si и ^{32}S на новом уровне статистики и детальности описания.

Облучение эмульсии ядрами ^{11}C





Опытное облучение на нуклотроне ОИЯИ ядерной эмульсии ядрами ксенона

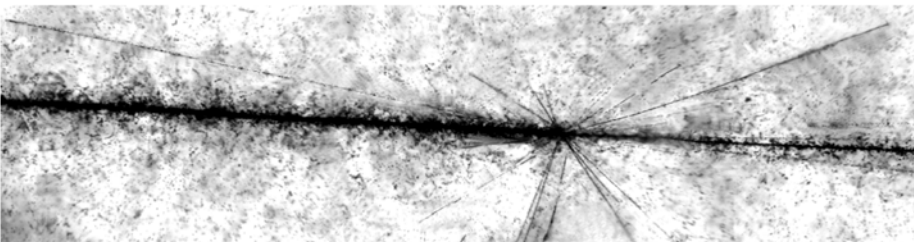


Рис. 1. Макрофотография при 60-кратном увеличении взаимодействия ядра Хе в эмульсии с образованием высокозарядного фрагмента

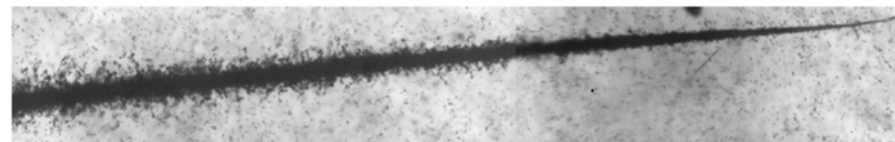


Рис. 2. Макрофотографии при 60-кратном увеличении участка остановки ядра Хе

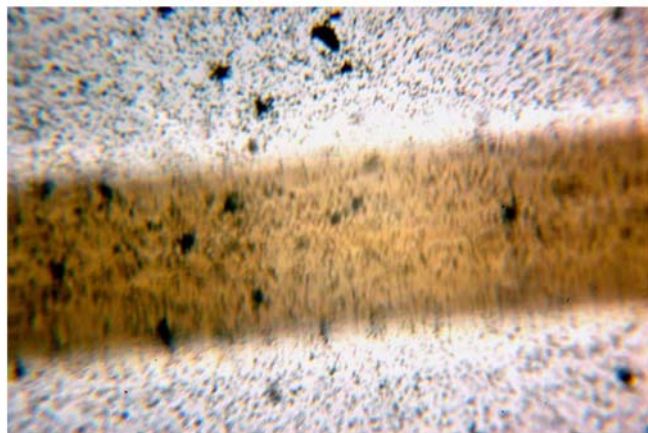


Рис. 4. Макрофотографии при 90-кратном увеличении эмульсионной пленки, облученной в пучке ядер Хе, в области наибольшей плотности пучка; приведена суперпозиция с фотографией волоса



Рис. 8. Автоматизированный комплекс ПАВИКОМ-2 (ФИАН; создан на основе микроскопа МПЭ-11 с управляемым столиком, видеокамерой и платой захвата изображения); на экране – изображение участка облученной эмульсионной пленки

Заключение

Выдвинуто предложение о единообразном изучении диссоциации и распадов легких ядер на границе протонной стабильности, в том числе несвязанных ядерных резонансов.

Метод ядерной эмульсии обеспечивает уникальную детальность «томографии» ядерной структуры.

Важно сохранить методическую культуру и набранный темп анализа.

Сведения по возникновению кластерных конфигураций полезны для планирования экспериментов с высокой статистикой событий.

Этот метод заслуживает обновления с тем, чтобы увеличить скорость поиска достаточно редких событий периферической диссоциации.