



**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОДЛЕНИЯ
ПРОЕКТА
ПО НАПРАВЛЕНИЮ ИССЛЕДОВАНИЙ
В ПРОБЛЕМНО-ТЕМАТИЧЕСКОМ ПЛАНЕ ОИЯИ**

1. Общие сведения о проекте

1.1. Шифр проекта 02-1-1087-2009

1.2. Лаборатория физики высоких энергий

1.3. Научное направление Физика элементарных частиц и релятивистская ядерная физика (02)

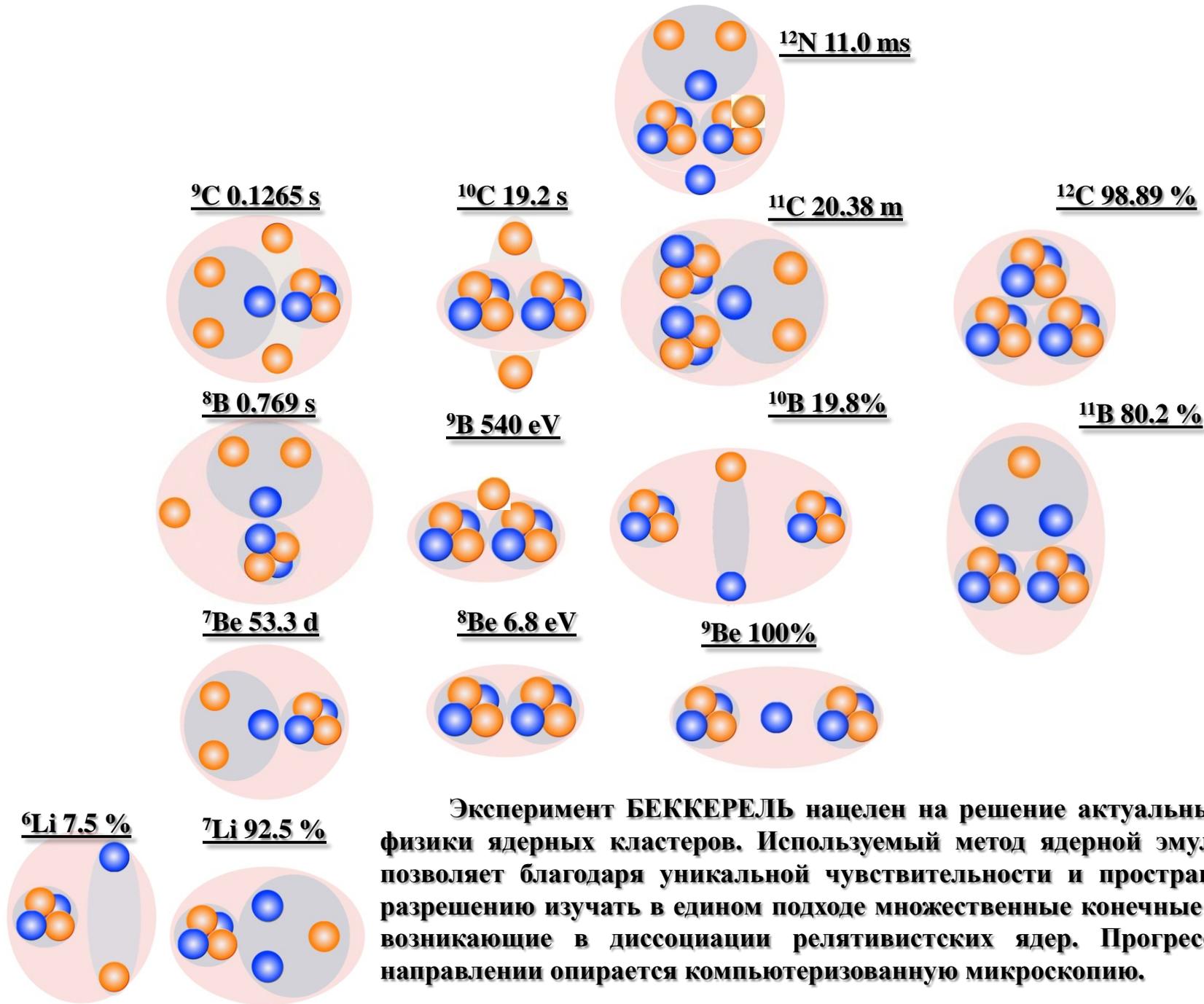
1.4. Наименование проекта «Эксперимент БЕККЕРЕЛЬ2023 на ускорительном комплексе НУКЛОТРОН/NICA»

1.5. Руководитель проекта Зарубин П.И.

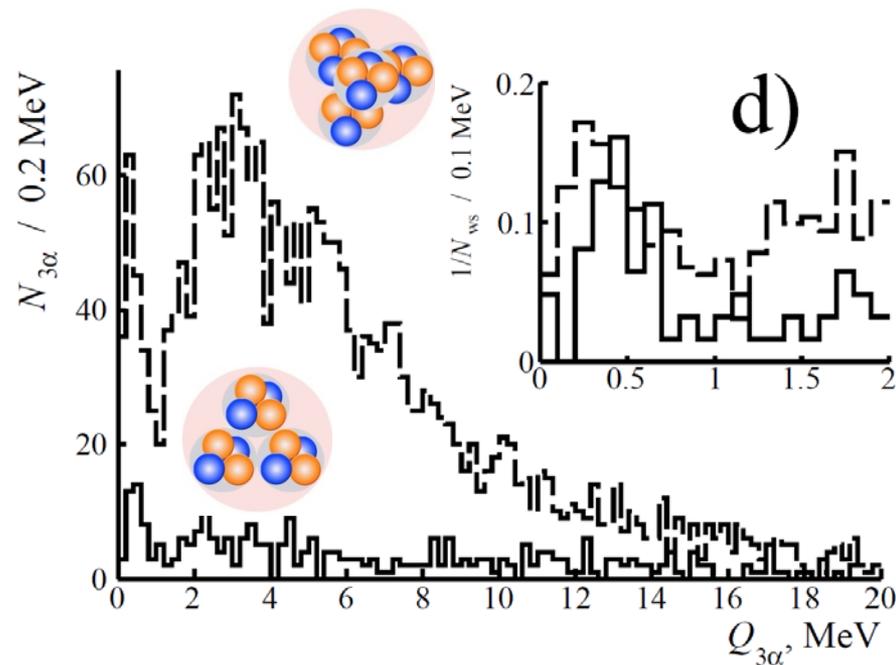
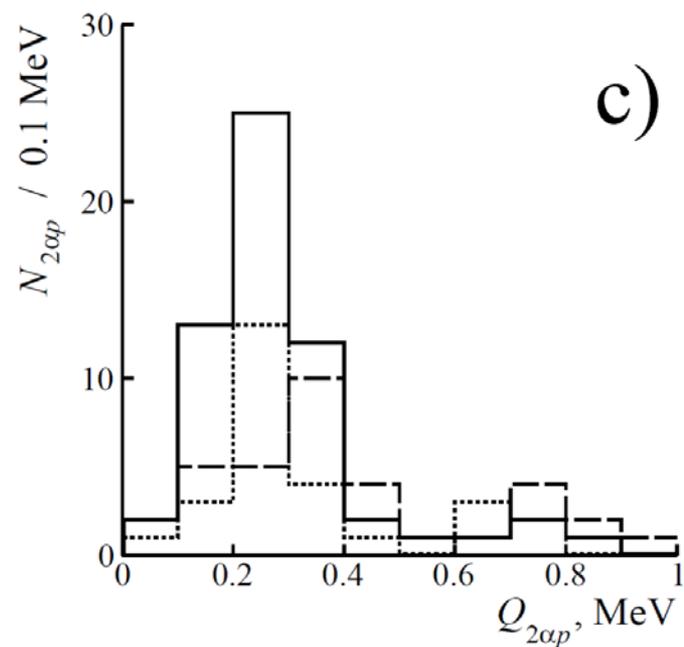
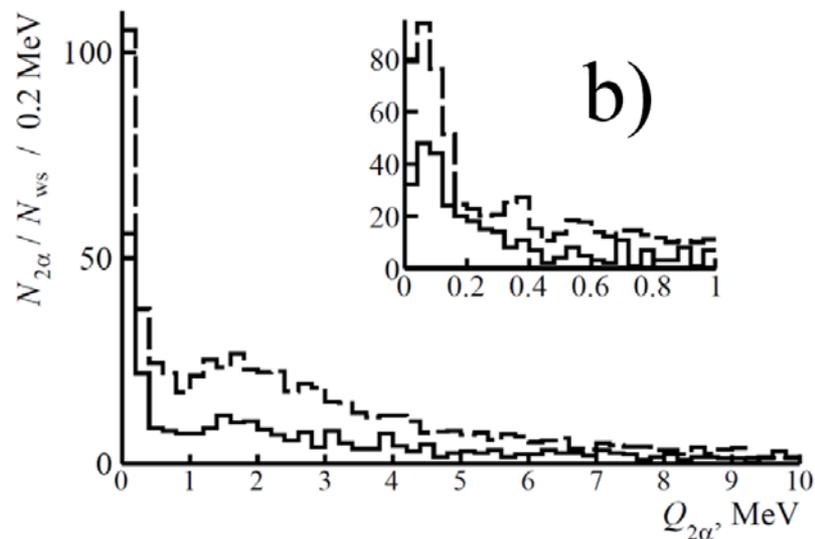
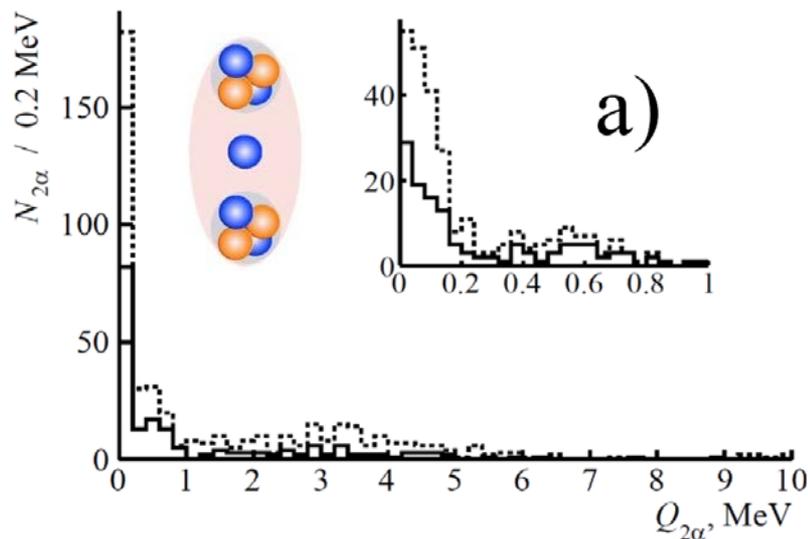
1.6. Заместитель руководителя проекта Зайцев А.А.

2. Научное обоснование и организационная структура

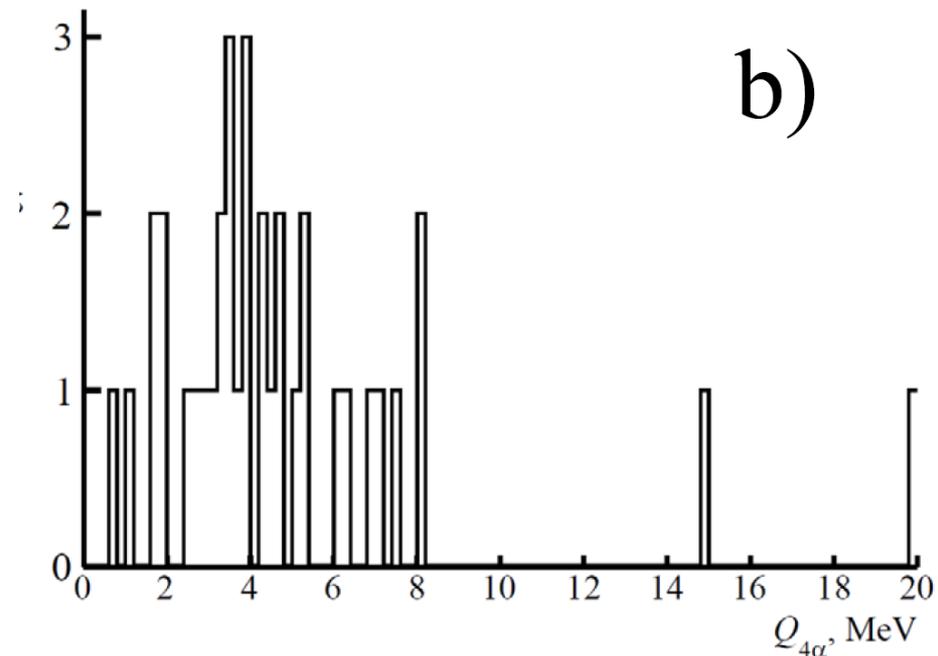
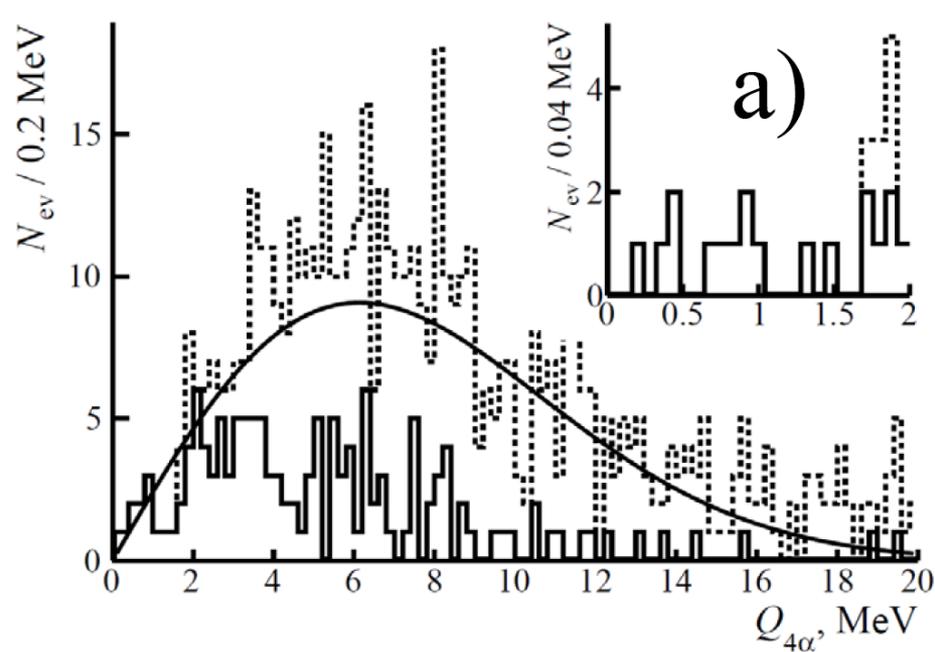
2.1. Аннотация



Эксперимент БЕККЕРЕЛЬ нацелен на решение актуальных проблем физики ядерных кластеров. Используемый метод ядерной эмульсии (ЯЭ) позволяет благодаря уникальной чувствительности и пространственному разрешению изучать в едином подходе множественные конечные состояния, возникающие в диссоциации релятивистских ядер. Прогресс на этом направлении опирается компьютеризованную микроскопию.



Распределения по инвариантной массе [12]: а) $Q_{2\alpha}$ в ${}^9\text{Be}(1.2 \text{ А ГэВ}) \rightarrow 2\alpha$ (пунктир, сплошная – “белые” звезды; б) $Q_{2\alpha}$ в ${}^{12}\text{C}(3.65 \text{ А ГэВ}) \rightarrow 3\alpha$ (сплошная) и ${}^{16}\text{O}(3.65 \text{ А ГэВ}) \rightarrow 4\alpha$ (пунктир); в) $Q_{2\alpha p} (< 1 \text{ МэВ})$ в ${}^{10}\text{C}(1.2 \text{ А ГэВ}) \rightarrow 2\alpha 2p$ (сплошная) и ${}^{11}\text{C}(1.2 \text{ А ГэВ}) \rightarrow 2\alpha 2p$ (точки) и ${}^{10}\text{B}(1 \text{ А ГэВ}) \rightarrow 2\alpha p$ (пунктир); $Q_{3\alpha}$ в ${}^{12}\text{C}(3.65 \text{ А ГэВ}) \rightarrow 3\alpha$ (сплошная) и ${}^{16}\text{O}(3.65 \text{ А ГэВ}) \rightarrow 4\alpha$ (пунктир).



Распределения по инвариантной массе $Q_{4\alpha}$ в 641 "белой" звезде $^{16}\text{O} \rightarrow 4\alpha$ при 3.65 А ГэВ всех 4α -квартетов (а, точки), событий αHS (а, сплошная) и $^{16}\text{O} \rightarrow 2^8\text{Be}$ (b); плавная линия - распределение Рэля; на вставке увеличенная часть $Q_{3\alpha} < 2 \text{ MeV}$.

В настоящее время в фокусе исследования находится концепция α -частичного конденсата Бозе-Эйнштейна (α БЕС) – предельно холодного состояния нескольких S-волновых α -частиц вблизи порогов связи. Нестабильное ядро ^8Be описывается как 2α БЕС, а возбуждение $^{12}\text{C}(0^+_{2})$ или состояние Хойла (HS) как 3α БЕС. Распады $^8\text{Be} \rightarrow 2\alpha$ и $^{12}\text{C}(0^+_{2}) \rightarrow ^8\text{Be}\alpha$ могут служить сигнатурами более сложных распадов $n\alpha$ БЕС. Так состояние 0^+_{6} ядра ^{16}O при 660 кэВ над 4α -порогом, рассматриваемое как 4α БЕС, может последовательно распадаться $^{16}\text{O}(0^+_{6}) \rightarrow \alpha^{12}\text{C}(0^+_{2})$ или $^{16}\text{O}(0^+_{6}) \rightarrow 2^8\text{Be}(0^+)$. Его поиски ведутся в нескольких экспериментах по фрагментации легких ядер при низких энергиях. Подтверждение существования этой и более сложных форм α БЕС могло бы дать основу для расширения сценариев синтеза средних и тяжелых ядер в ядерной астрофизике.

[10 most recent](#)[Browse issues](#)[Topical issues](#)[Reviews](#)[Letters](#)

The European Physical Journal A

Light Clusters in Nuclei and Nuclear Matter: Nuclear Structure and Decay, Heavy Ion Collisions, and Astrophysics

David Blaschke, Hisashi Horiuchi, Masaaki Kimura, Gerd Roepke and Peter Schuck

Regular Article - Experimental Physics | [Published: 06 October 2020](#)

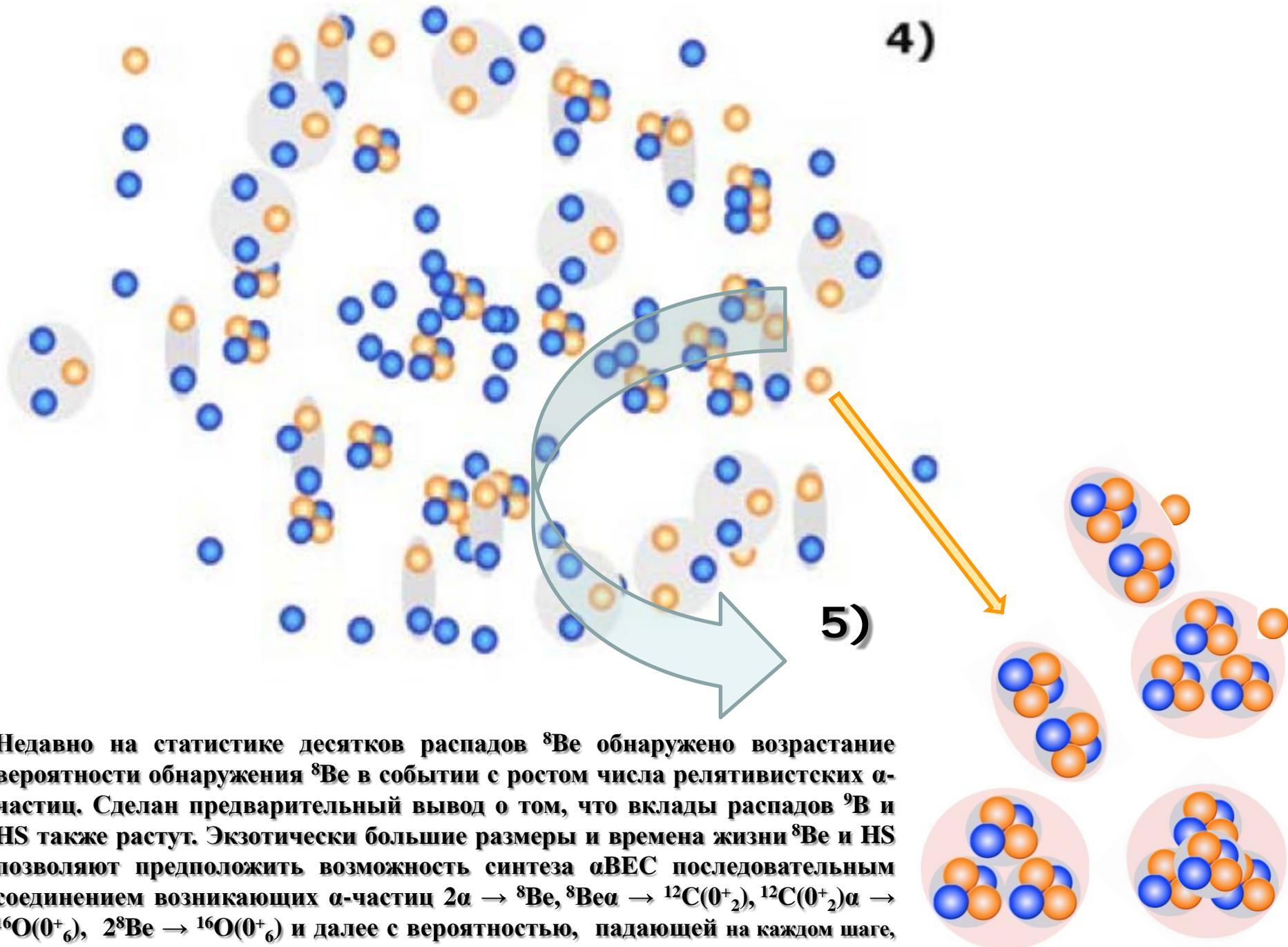
Unstable states in dissociation of relativistic nuclei

Recent findings and prospects of research

[D. A. Artemenkov](#), [V. Bradnova](#), [M. M. Chernyavsky](#), [E. Firu](#), [M. Haiduc](#), [N. K. Kornegrutsa](#), [A. I. Malakhov](#), [E. Mitsova](#), [A. Neagu](#), [N. G. Peresadko](#), [V. V. Rusakova](#), [R. Stanoeva](#), [A. A. Zaitsev](#), [P. I. Zarubin](#)  & [I. G. Zarubina](#)

[The European Physical Journal A](#) **56**, Article number: 250 (2020)

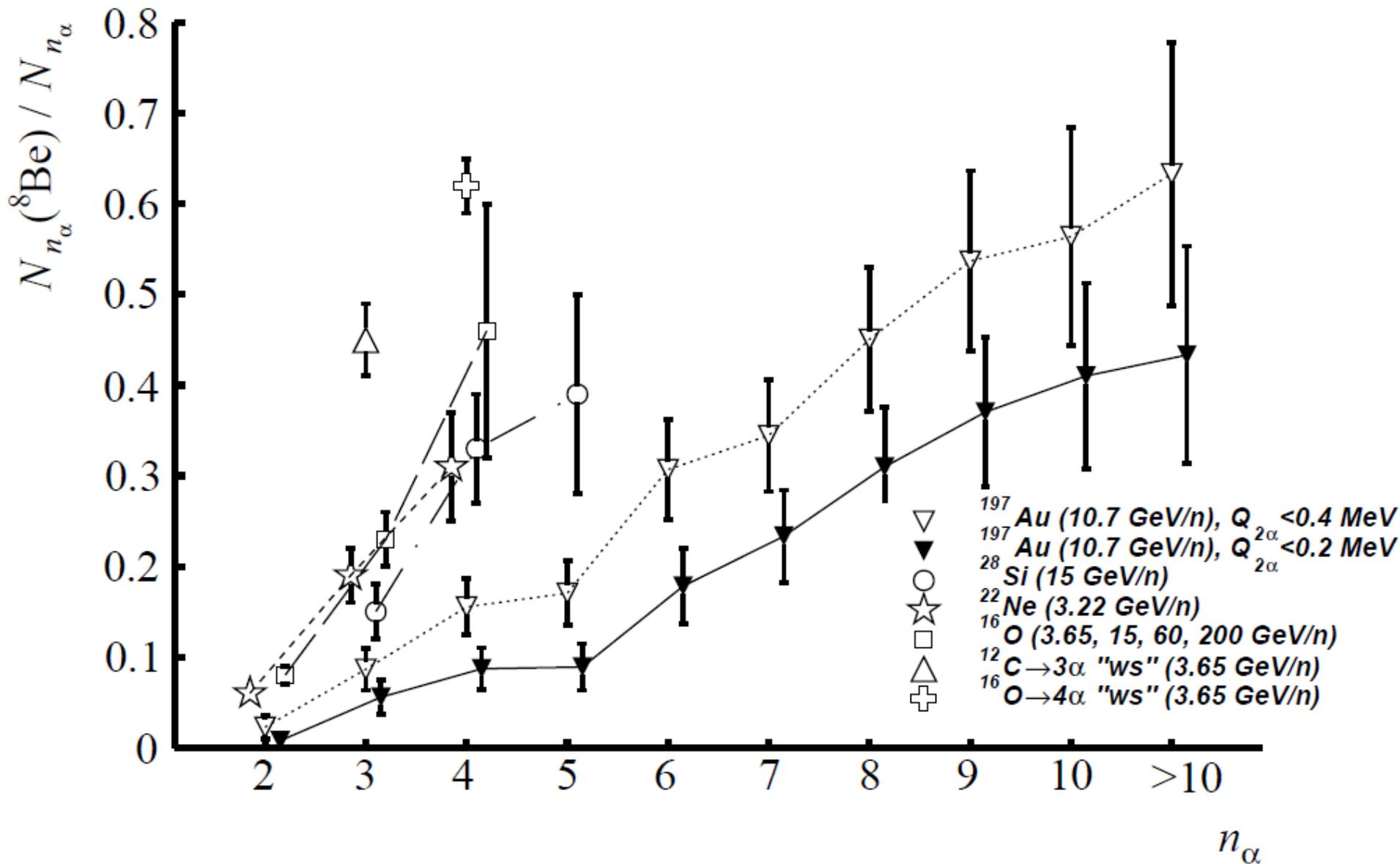
375 Accesses | **7** Citations | [Metrics](#)



4)

5)

Недавно на статистике десятков распадов ${}^8\text{Be}$ обнаружено возрастание вероятности обнаружения ${}^8\text{Be}$ в событии с ростом числа релятивистских α -частиц. Сделан предварительный вывод о том, что вклады распадов ${}^9\text{Be}$ и HS также растут. Экзотически большие размеры и времена жизни ${}^8\text{Be}$ и HS позволяют предположить возможность синтеза αBEC последовательным соединением возникающих α -частиц $2\alpha \rightarrow {}^8\text{Be}$, ${}^8\text{Be}\alpha \rightarrow {}^{12}\text{C}(0^+_2)$, ${}^{12}\text{C}(0^+_2)\alpha \rightarrow {}^{16}\text{O}(0^+_6)$, $2{}^8\text{Be} \rightarrow {}^{16}\text{O}(0^+_6)$ и далее с вероятностью, падающей на каждом шаге, при испускании γ -квантов или частиц отдачи.

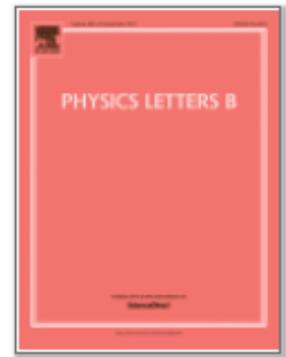


Зависимость относительного вклада распадов $N_{n_\alpha}({}^8\text{Be})$ в статистику N_{n_α} событий с множественностью α -частиц n_α в релятивистской фрагментации ядер C, O, Ne, Si и Au



Physics Letters B

Volume 820, 10 September 2021, 136460



Correlation in formation of ^8Be nuclei and α -particles in fragmentation of relativistic nuclei

A.A. Zaitsev ^{a, b}  , D.A. Artemenkov ^a, V.V. Glagolev ^a, M.M. Chernyavsky ^b,
N.G. Peresadko ^b, V.V. Rusakova ^a, P.I. Zarubin ^{a, b}

ПЕРСПЕКТИВЫ ПОИСКА НЕСТАБИЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ В РЕЛЯТИВИСТСКОЙ ФРАГМЕНТАЦИИ ЯДЕР

© 2022 г. Д. А. Артеменков¹⁾, В. Браднова¹⁾, О. Н. Кашанская²⁾, Н. В. Кондратьева¹⁾,
Н. К. Корнегруца¹⁾, Э. Мицова^{1),3)}, Н. Г. Пересадько⁴⁾, В. В. Русакова¹⁾,
Р. Станоева^{5),3)}, А. А. Зайцев^{1),4)}*, И. Г. Зарубина¹⁾, П. И. Зарубин^{1),4)}

Поступила в редакцию 22.06.2022 г.; после доработки 22.06.2022 г.; принята к публикации 24.06.2022 г.

Представлены перспективы эксперимента БЕККЕРЕЛЬ, посвященного экспериментальному исследованию в релятивистском подходе проблем физики ядерных кластеров. Используемый метод ядерной эмульсии позволяет полно изучать релятивистские конечные состояния во фрагментации ядер. В фокусе представляемого исследования находится динамика возникновения ядра ${}^8\text{Be}$ и состояния Хойла, а также поиск распадающегося через них 4α -частичного конденсата. В таком контексте представлено развитие анализа облучения ядрами ${}^{84}\text{Kr}$ при 950 МэВ/нуклон. Как продолжение исследования легких ядер представлен статус поиска изобар-аналогового состояния ядра ${}^{13}\text{N}$ во фрагментации ядер ${}^{14}\text{N}$ при 2 ГэВ/нуклон.

DOI: 10.31857/S0044002722060034

¹⁾Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия.

²⁾Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины, Гомель, Беларусь.

³⁾Институт ядерных исследований и ядерной энергии Болгарской АН, София, Болгария.

⁴⁾Физический институт им. П.Н. Лебедева Российской академии наук, Москва, Россия.

⁵⁾Юго-западный университет “Неофит Рильский”, Благоевград, Болгария.

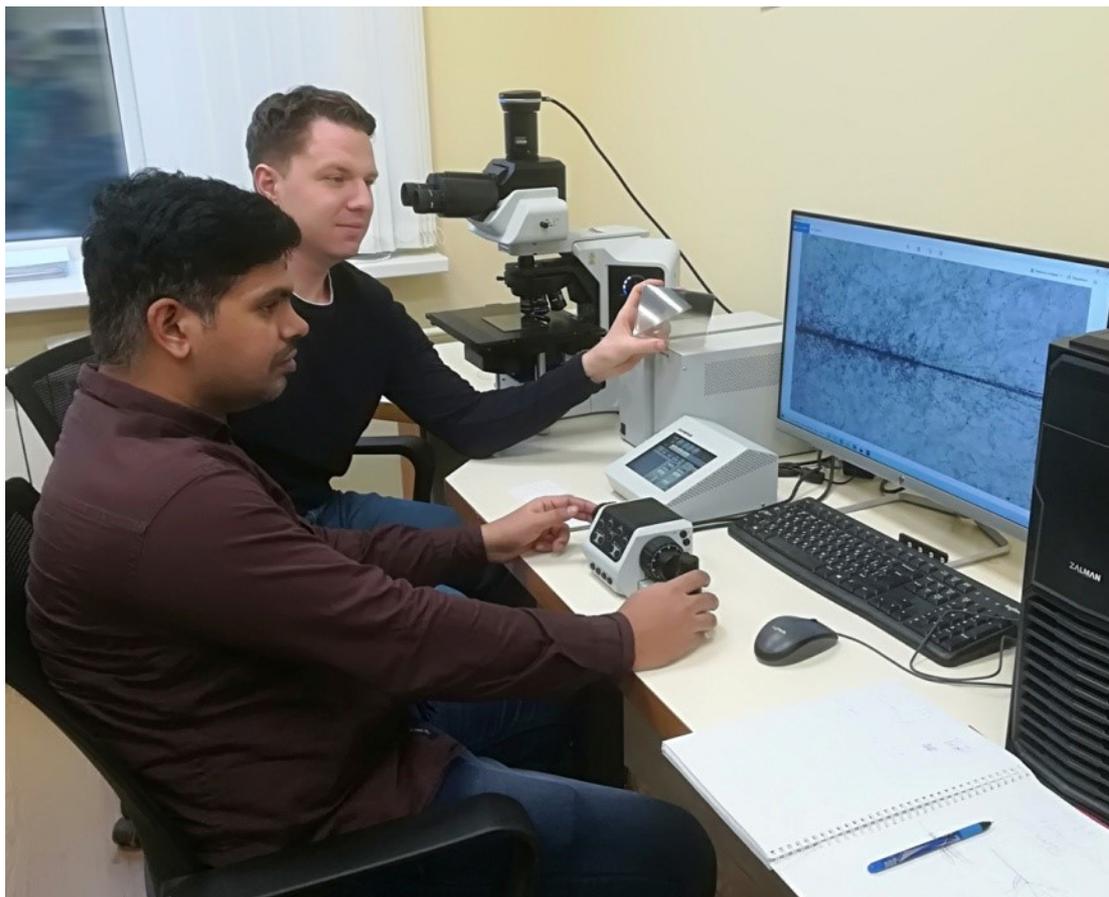
*E-mail: zaicev@jinr.ru

arXiv > nucl-ex > arXiv:2206.09690

[Submitted on 20 Jun 2022]

Prospects of searching for unstable nucleus states in relativistic nuclear fragmentation

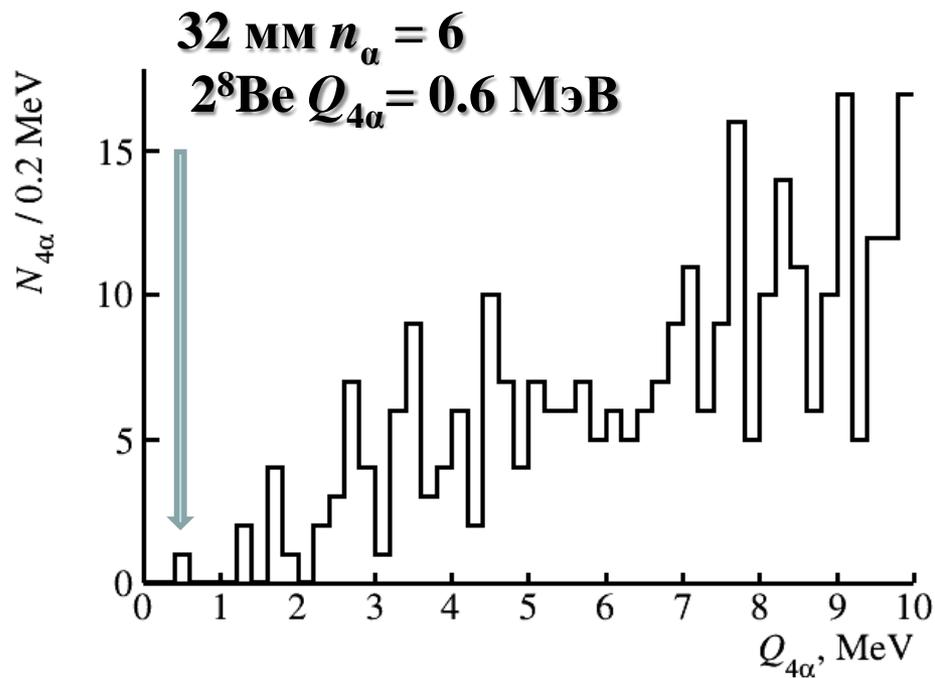
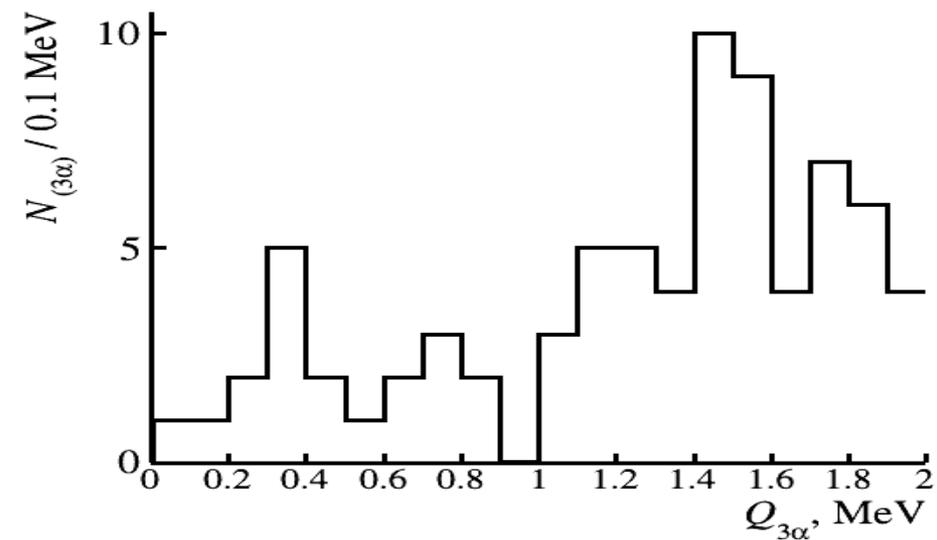
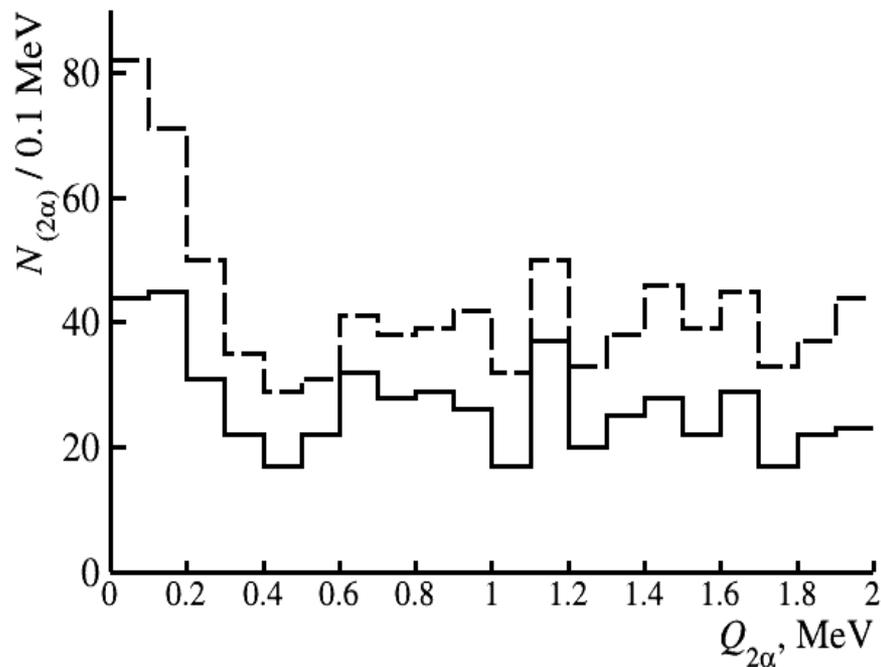
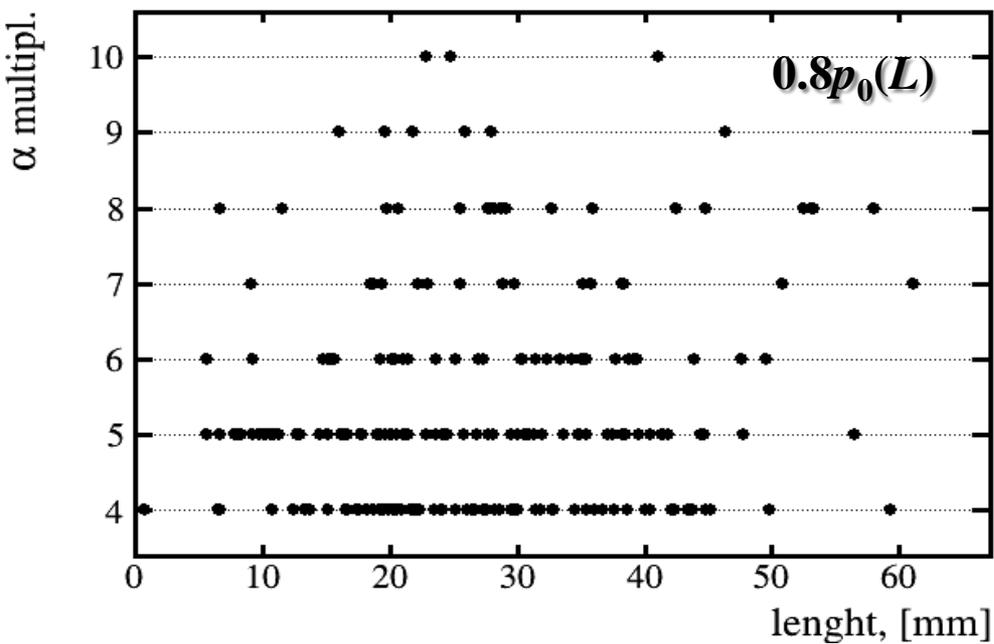
D.A. Aretemenkov, V. Bradnova, O.N. Kashanskaya, N.V. Kondratieva, N.K. Kornegrutsa, E. Mitsova, N.G. Peresadko, V.V. Rusakova, R. Stanoeva, A.A. Zaitsev, P.I. Zarubin, I.G. Zarubina



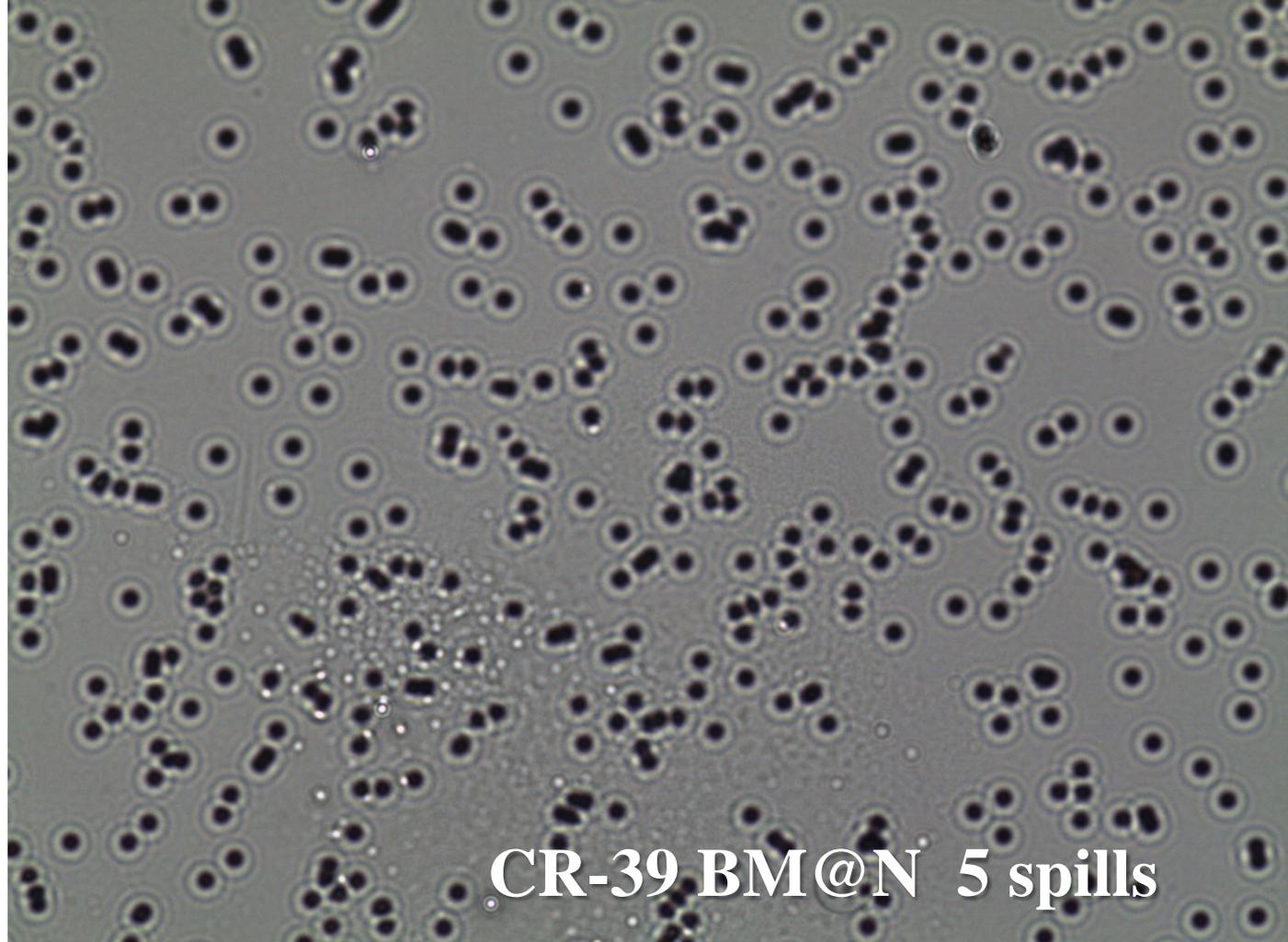
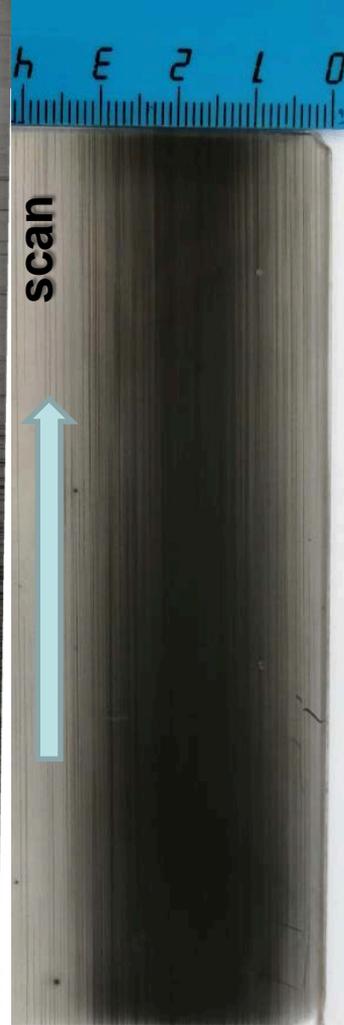
Главная задача предстоящего этапа проекта – прояснение связи между возникновением ${}^8\text{Be}$ и HS и множественностью α -ансамблей и поиск на этой основе распадов состояния ${}^{16}\text{O}(0^+_{6})$. В этой связи эксперимент БЕККЕРЕЛЬ нацелен на измерение множественных каналов фрагментации ядер ${}^{84}\text{Kr}$ до 1 ГэВ на нуклон. Имеется достаточное количество слоев ЯЭ, поперечное сканирование которых на моторизованном микроскопе Olympus VX63 позволяет достичь требуемой статистики. Вместе с тем, необходима модернизация имеющихся микроскопов МБИ-9, KSM и МПЭ-11 для продолжения прецизионных измерений согласно апробированным процедурам.

Результаты по 6 слоям к 11.01.2023

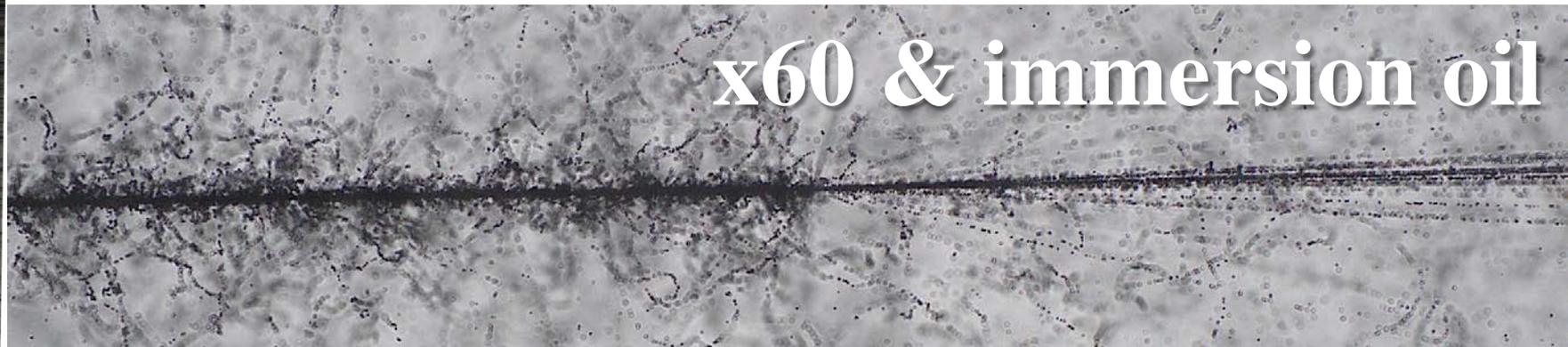
n_{α}	3	4	5	6	7	8	9	10	$n_{\alpha} > 3$
N_{ev}	56	73	69	34	16	18	6	3	219



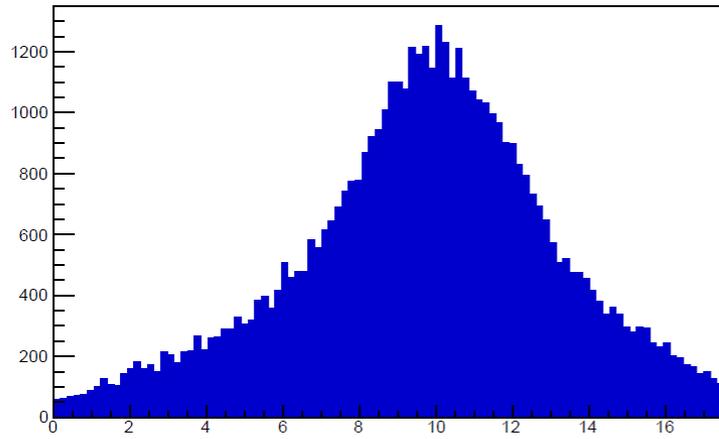
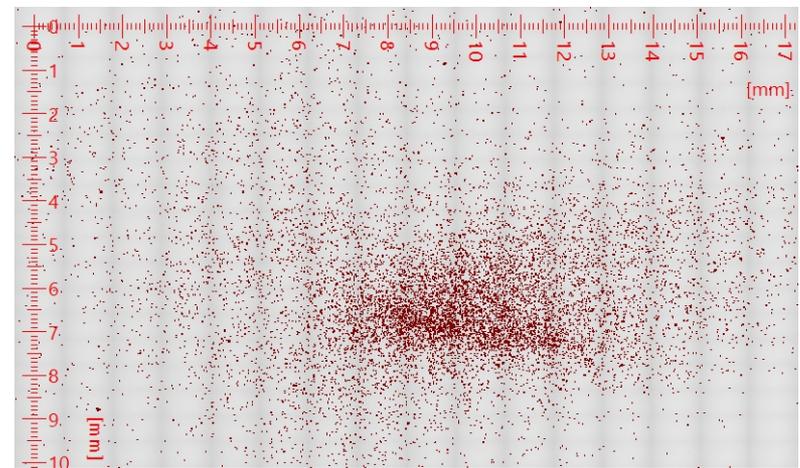
x4



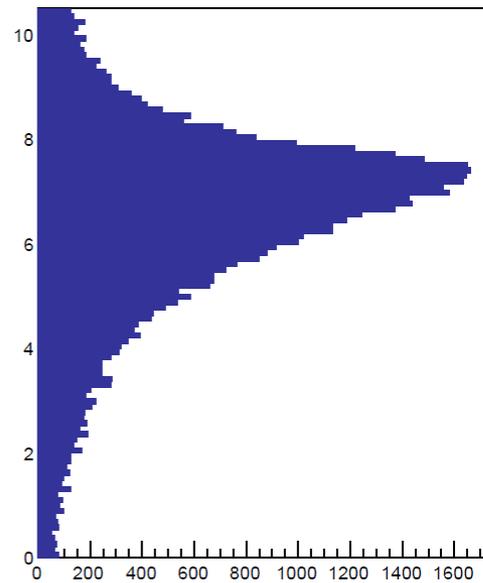
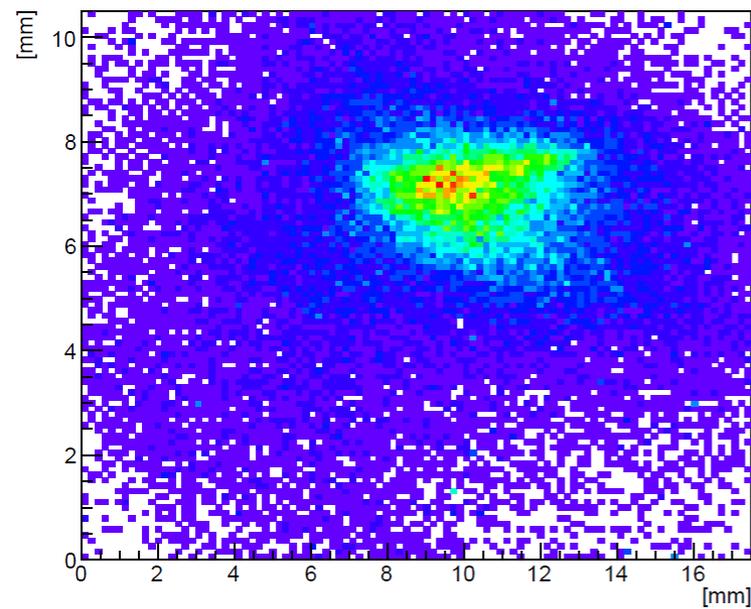
CR-39 BM@N 5 spills

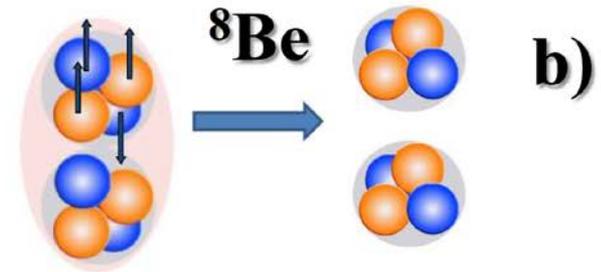
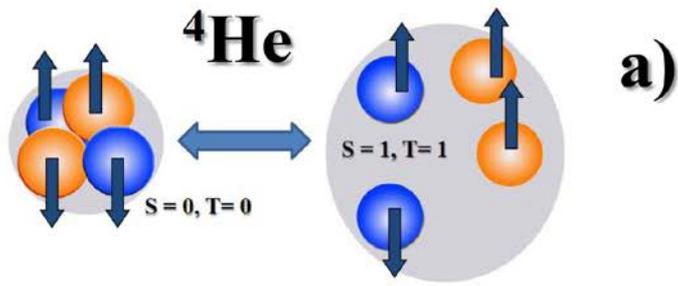


x60 & immersion oil

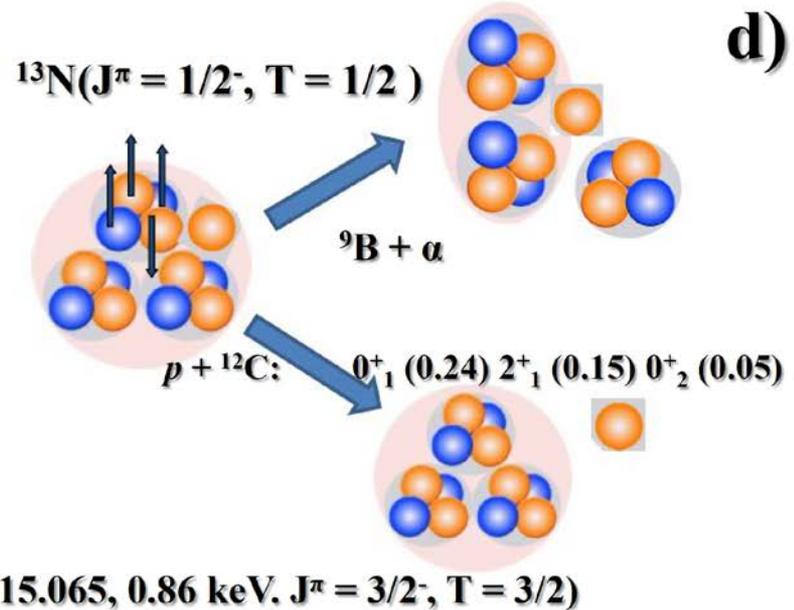
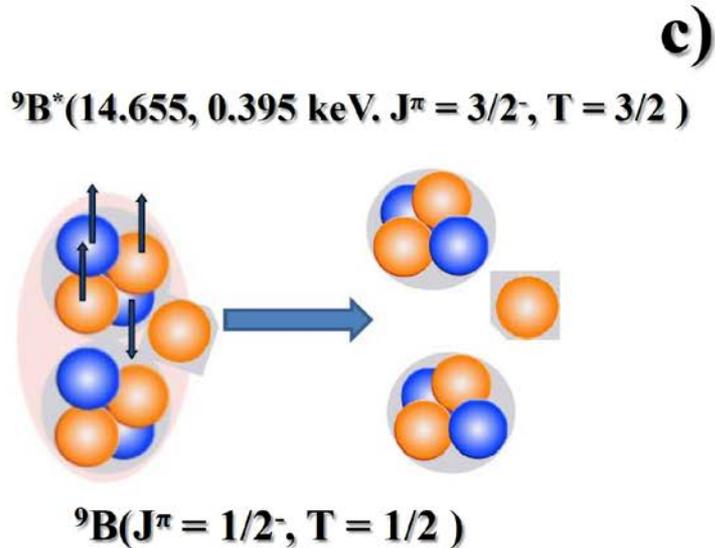


Xe^{+28} SOCHI Focused
Two projections X and Y axes.
Bin $0.175 \times 0.105 \text{ mm}^2$
Total number of ions - 50776

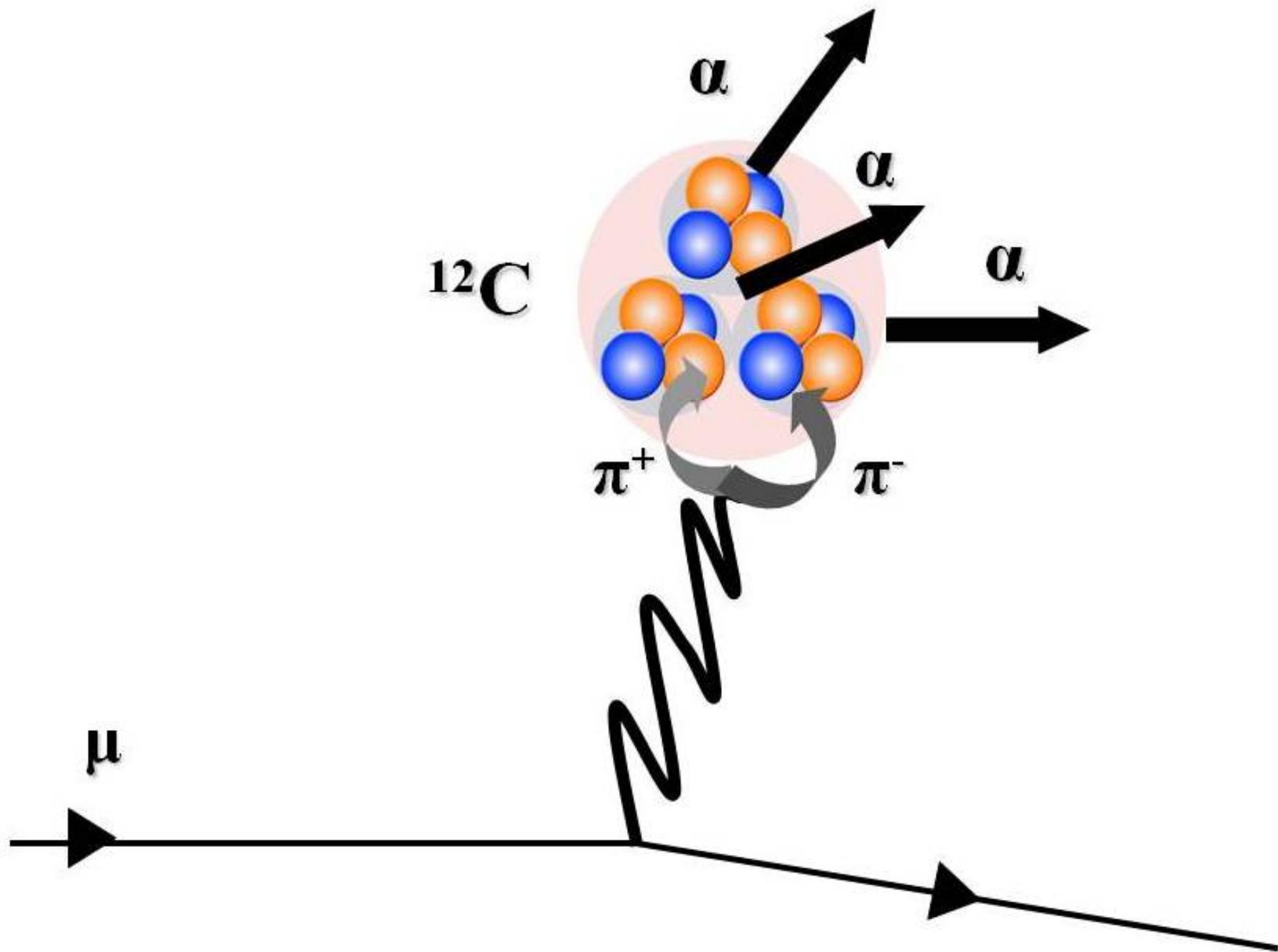




$^8\text{B}^*(16.6 + 16.9, 108 + 74 \text{ keV}, J^\pi = 2^+, T = 0 + 1)$



В продолжение исследования фрагментации легких ядер начат поиск распадов изобар-аналоговых состояний (ИАС), в том числе в возбуждениях $^8\text{Be}^*$ и $^9\text{B}^*$. Проявляясь при высокой энергии возбуждения, но также имея весьма малые ширины, ИАС служат “маяками” перестройки структуры в направлении сходства с их менее стабильными изобарами. В контексте $n\alpha\text{BEC}$ и ИАС продолжится анализ облучения ЯЭ ядрами ^9Be , ^{10}C , ^{14}N , ^{22}Ne , ^{24}Mg , ^{28}Si .



Наименования затрат, ресурсов, источников финансирования		Стоимость (тыс. долл.) потребности в ресурсах	Стоимость, распределение по годам				
			1 год	2 год	3 год	4 год	5 год
	Международное сотрудничество (МНТС)		40	40	40	40	40
	Материалы		20	20	20	20	20
	Оборудование и услуги сторонних организаций (пуско-наладочные работы)		55	10	120	10	55
	Пуско-наладочные работы						
	Услуги научно-исследовательских организаций		20	20	20	20	20
	Приобретение программного обеспечения		30				
	Проектирование/строительство						
	Сервисные расходы (планируются в случае прямой принадлежности к проекту)						
Необходимые ресурсы	Нормо-час	Ресурсы					
		– сумма FTE,					
		– ускорителя/установки,	100	100	100	100	100
		– реактора,.....					
Источники финансирования	ные средства	Бюджет ОИЯИ (статьи бюджета)	165	70	200	90	135
	Внебюджет (доп. смета)	Вклады соисполнителей Средства по договорам с заказчиками Другие источники финансирования					

Полная сметная стоимость проекта 660 тыс. долл.

научные работники	Зарубин П.И. Русакова В.В. Артеменков Д.А. Зайцев А. А. Браднова В. Натарджан М.		начальник сектора начальник группы снс нс начальник группы нс	1 1 1 1 1 1
инженеры	Зарубина И.Г. Корнегруца Н.К. Кондратьева Н.В. Номозова К.Б.		инженер-программист инженер инженер-технолог инженер	1 1 1 1
специалисты	Кашанская О.Н.		Старший лаборант	1
рабочие	Марьин И.И. Стельмах Г.И. Щербакова Н.С.			1 1 1
Итого:				14

Форма «Т». Титульный лист заявки в Российский научный фонд
 Конкурс 2023 года «Проведение фундаментальных научных исследований и
 поисковых научных исследований отдельными научными группами»

Название проекта Исследование альфа-частичных состояний во фрагментации релятивистских ядер (Проект БЕККЕРЕЛЬ)	Номер проекта 23-12-00029		
	Код типа проекта: ОНГ(2023)		
	Отрасль знания: 02		
	Основной код классификатора: 02-102 Дополнительные коды классификатора: 02-104		
	Код ГРНТИ 29.15.17		
Фамилия, имя, отчество (при наличии) руководителя проекта: Зарубин Павел Игоревич	Контактные телефон и e-mail руководителя проекта: +79150542309, +74962163403, zarubin@jinr.ru		
Полное и сокращенное наименование организации, через которую должно осуществляться финансирование проекта: Международная межправительственная научно-исследовательская организация Объединенный институт ядерных исследований ОИЯИ			
Объем финансирования проекта в 2023 г.: 7000 тыс. руб.	Год начала проекта: 2023	Год окончания проекта: 2025	
Фамилии, имена, отчества (при наличии) основных исполнителей (полностью)	Артеменков Денис Александрович Зайцев Андрей Александрович Русакова Валерия Викторовна		