УТВЕРЖДАЮ

Директор Института

_____/_____/

“____“_____2026 г.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОДЛЕНИЯ ПРОЕКТА

«Исследование рождения адронов в адрон-ядерных и ядро-ядерных взаимодействиях на ускорителе SPS в ЦЕРН (NA61/SHINE - SPS Heavy Ion and Neutrino Experiment)»

1. Общие сведения о проекте

1.1. Шифр темы 02-1-1087-2009 Исследования по физике релятивистских тяжелых и легких ионов на ускорительных комплексах Нуклотрон-М/NICA ОИЯИ и SPS ЦЕРН
1.2. Шифр проекта: 02-1-1087-1-2012/2031
1.3. Лаборатория физики высоких энергий им. В.И. Векслера и А.М. Балдина
1.4. Научное направление Физика элементарных частиц и релятивистская ядерная физика
1.5. Наименование проекта: Исследование рождения адронов в адрон-ядерных и ядро-ядерных взаимодействиях на ускорителе SPS в ЦЕРН (NA61/SHINE - SPS Heavy Ion and Neutrino Experiment)
1.6. Руководитель проекта Малахов А.И.
1.7. Заместители руководителя проекта Дмитриев А.В., Зайцев А.А.

2. Научное обоснование и организационная структура

2.1. Аннотация

Предлагаемый проект является продолжением исследовательской программы, посвящённой изучению свойств адронной и ядерной фрагментации, возникающей в процессах взаимодействия пучков адронов и атомных ядер. Исследования проводятся в рамках коллаборации NA61/SHINE на базе ускорительного комплекса SPS в ЦЕРН. Ключевые направления эксперимента включают поиск предполагаемой критической точки на фазовой диаграмме ядерного вещества, анализ пороговых проявлений деконфайнмента и механизмов рождения открытого чарма. В ходе работы проводится систематическое измерение выходов частиц и флуктуаций в адрон-протонных, адрон-ядерных и ядро-ядерных соударениях с варьированием энергии и массового числа взаимодействующих систем. Это позволяет детально исследовать критические явления в горячей и плотной адронной среде, образующейся при высоких энергиях.

2.2. Научное обоснование

2.2.1 Введение

Эксперимент NA61/SHINE — это многоцелевой адронный спектрометр с фиксированной мишенью на ускорителе SPS в ЦЕРНе (схема установки Рис. 1). Его исследовательская программа включает изучение сильных взаимодействий, а также прецизионные измерения в физике нейтрино и космических лучей. Значительным преимуществом NA61/SHINE перед коллайдерными экспериментами является расширенное покрытие фазового пространства, доступного для образования частиц. Это включает всю полусферу налетающего ядра в месте столкновения, без ограничения на низкие значения p_T. NA61/SHINE является единственным детектором такого типа на SPS, что обеспечивает возможность проведения измерений на разнообразном наборе пучков и мишеней в энергетическом диапазоне системы центра масс

столкновений $5 < \sqrt{s_{NN}} < 17$ ГэВ. Набор экспериментальных данных также включает большие выборки, полученные с использованием копий мишеней нейтринных экспериментов T2K, NuMI и LBNF/DUNE. С 2022 года, после завершения модернизации экспериментальной установки, частота регистрации данных была повышена до 1 кГц; обсуждается увеличение данного показателя до 10 кГц.

Цели программы сильного взаимодействия NA61/SHINE достигаются экспериментально путем двумерного сканирования энергии столкновения и размера сталкивающихся ядер. Это позволяет систематически исследовать фазовую диаграмму сильно взаимодействующей материи [1]. В частности, анализ существующих данных в рамках статистических моделей позволяет предположить, что за счет увеличения энергии столкновения увеличивается температура и снижается барионный химический потенциал системы сильно взаимодействующей материи (файербола) при кинетическом замораживании [2], тогда как за счет увеличения ядерной массы сталкивающихся ядер температура снижается [2–5] (Рис. 2).

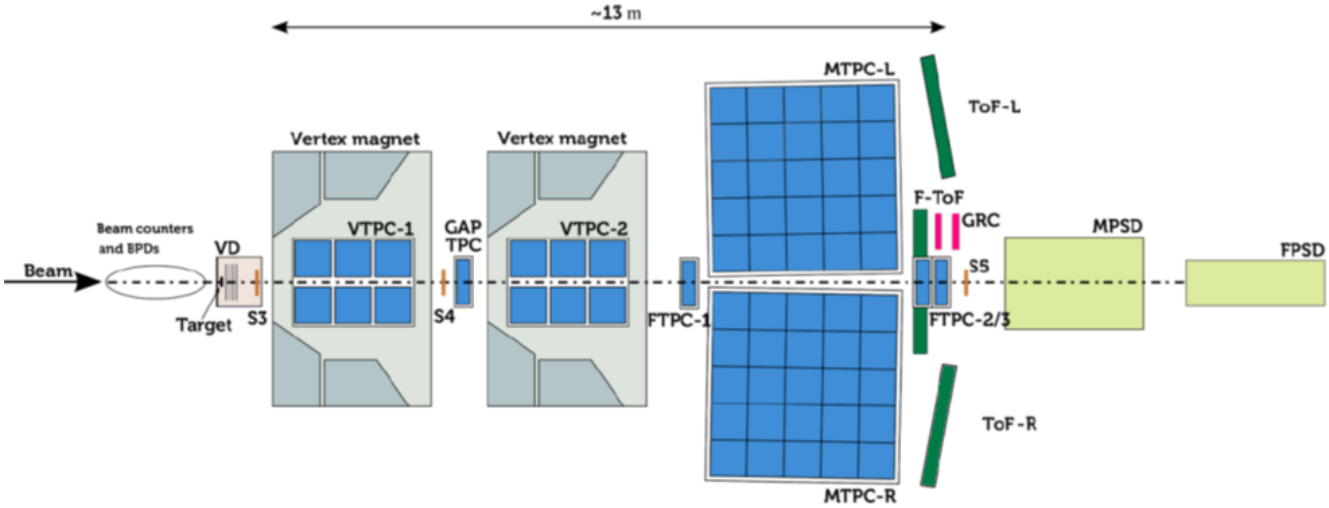


Рис. 1. Схематическое изображение установки NA61/SHINE.

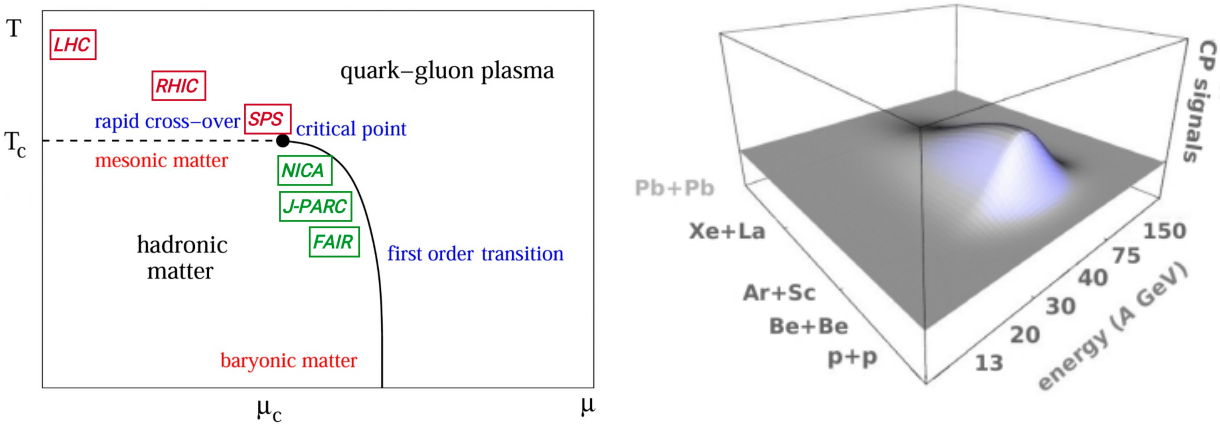


Рис. 2. Слева: гипотетический рисунок фазовой диаграммы сильно взаимодействующего вещества с критической точкой, изображенный как функция барионного химического потенциала μ и температуры T. Справа: изображение холма флуктуаций, которые могут наблюдаться в сканировании по импульсу пучка и размеру системы при условии, что параметры кинетического замораживания (freeze-out) близки к критической точке [6].

Основные направления деятельности группы ОИЯИ в рамках проекта включают:

1. Изучение образования легких ядер. Данное направление представляет интерес по ряду причин. Во-первых, процессы кластеризации в ядро–ядерных столкновениях в настоящее время остаются недостаточно изученными и требуют дальнейшего теоретического и экспериментального анализа. Во-вторых, такие объекты, как дейтроны и тритоны, не относятся

к элементарным адронам; вследствие их низкой энергии связи по сравнению с температурой окружающей среды в системе высокоэнергетического столкновения вероятность их сохранения при последующих взаимодействиях представляется невысокой. Это позволяет предположить, что наблюдаемые дейтроны, тритоны и значительная доля других многонуклонных связанных состояний, регистрируемых в области центральных быстрот, формируются преимущественно на поздних стадиях эволюции реакции. Таким образом, экспериментально измеряемые лёгкие ядра, возникающие на завершающих этапах столкновения, могут служить информативным инструментом для изучения пространственно-временной структуры системы на поздней стадии её развития.

2. Релятивистские столкновения тяжёлых ионов предоставляют уникальные возможности для создания и изучения горячей и плотной материи в лабораторных условиях. На ранней стадии реакции формируется кварк-глюонная плазма, тогда как на заключительном этапе происходит адронизация и кластеризация вещества. Захват образовавшихся гиперонов в нуклонные кластеры может приводить к формированию гиперядер — крайне редкому процессу, особенно вблизи порога рождения странности. Гиперядра представляют собой уникальный инструмент для углублённого изучения взаимодействий странных частиц с ядерной материей в многочастичной среде при контролируемых экспериментальных условиях. Эти данные важны для построения более полного и согласованного описания барион–барионных взаимодействий

3. Изучение образования антивещества в релятивистских ядерных взаимодействиях. Результаты таких исследований имеют важное значение, поскольку могут использоваться при интерпретации потоков антиядер в космических лучах и при поиске сигналов тёмной материи в астрофизических экспериментах, где точное знание фоновых процессов рождения антиядер в адронных столкновениях является критически важным.

4. Описание экспериментальных данных с использованием подхода самоподобия. Используется развитие подхода к исследованию релятивистских ядерных взаимодействий в пространстве четырехмерных скоростей, предложенного академиком А.М. Балдиным.

5. Измерение среднего числа пар очарованных кварк-антикварков $\langle c\bar{c} \rangle$, образующихся в полном фазовом пространстве взаимодействующих тяжелых ионов. Корреляции тяжелых кварков имеют высокую вероятность дать представление о физике сильно взаимодействующей материи и значительный потенциал для открытий. Недавно было высказано предположение, что в случае образования пары очарованных и антиочарованных адронов коллективный поток материи, создаваемый в столкновениях тяжелых ионов, позволяет проверить локальность образования тяжелых кварков и их транспортные свойства.

6. Ввод в эксплуатацию, техническое сопровождение и анализ данных двух-плечевого времяпролетного детектора на основе MRPC с суммарным количеством каналов порядка 3500.

7. Лаборатория ядерных проблем участвует в нейтринной программе NA61. Коллаборация NA61/SHINE имеет программу измерений образования адронов для экспериментов по осцилляциям нейтрино с длинной базой в T2K, NuMI, и LBNF/DUNE. Эти измерения расширяют знания о потоке нейтрино, создаваемом нейтринными пучками ускорителей.

8. Ввод в эксплуатацию и техническое сопровождение жидководородной и жидкоазотной мишеней.

2.2.2 Статус исследования.

В рамках программы NA61/SHINE коллаборацией были набраны данные при столкновениях от p+p до Pb+Pb в течение 2009–2026 гг, причем последние измерения выполнены на значительно большей статистике событий.

На настоящий момент коллаборацией накоплены данные:

- для программы тяжелых ионов — реакции p+p, π^++C, π^-+C, p+Pb, Be+Be, O+O, Ar+Sc, Xe+La, и Pb+Pb, при различных импульсах на каждую реакцию;
- для нейтринной программы — реакции с тонкими мишениями p+C, p+Al, p+Be, p+Ti, а также большие выборки, полученные с использованием копий мишеней нейтринных экспериментов T2K, NuMI и LBNF/DUNE;

- для программы космических лучей — реакции по фрагментации ядер Li-Si+C.

Планируется продолжить измерения после третьей длительной остановки (LS3) в ЦЕРНе во время четвертого этапа работы ускорительного комплекса SPS. Основные цели — исследование переходов к кварк-глюонной плазме (КГП) в системах легких ионов посредством всесторонних измерений рожденных адронов с большим угловым охватом, а также изучение образования адронов, имеющего отношение к физике нейтрино и космических лучей в энергетическом диапазоне SPS.

1. Программа исследований сильных взаимодействий.

Предполагая статистическое описание сильно взаимодействующей материи, фазовая диаграмма последней может быть описана доминированием различных фаз. Можно различить адронную фазу при низкой температуре T и фазу кварк-глюонной плазмы (КГП) при высокой температуре T. При более высоких значениях бариохимического потенциала (μB) могут присутствовать другие экзотические формы материи. При достаточно высоких температурах и плотностях энергии система претерпевает фазовый переход из адронной фазы в фазу КГП. Одним из признаков такого перехода, предсказанного статистической моделью ранней стадии (SMES) [7], является отношение положительно заряженных каонов к положительно заряженным пионам (K^+/π^+), которое связано с отношением странности к энтропии. Это отношение должно увеличиваться с энергией в адронной фазе, достигать максимума при фазовом переходе, а затем уменьшаться и приближаться к насыщению. Это действительно было впервые обнаружено (см. Рис. 3a) в эксперименте NA49 в столкновениях Pb+Pb по сравнению с взаимодействиями p+p, где такой структуры не наблюдалось. Сканирование размеров системы и энергии экспериментом NA61/SHINE было направлено на дальнейшее изучение механизма образования адронов при промежуточных размерах сталкивающихся систем. Результаты, полученные в ходе сканирования в p+p, Be+Be, Ar+Sc и Xe+La, указывают на переход механизма образования адронов между легкими системами (p+p и Be+Be) и тяжелыми (Ar+Sc, Xe+La и Pb+Pb).

Наиболее популярными моделями, описывающими процесс образования адронов, являются создание и распад резонансов или струн, а также образование и адронизация кварк-глюонной плазмы. Измерения показывают, что области применимости существующих моделей в пространстве параметров, контролируемых в лаборатории (энергия столкновения и массовое число при столкновении), еще не были хорошо изучены [8].

При равных массах кварков и в отсутствие других взаимодействий КХД предполагает, что взаимодействия не зависят от типа (аромата) кварка. Эта особенность называется ароматовой симметрией. Она сводится к изоспиновой симметрии, когда рассматриваются только верхние и нижние кварки. Во время адрон-ядерных столкновений многие новые частицы являются самыми легкими мезонами — пионами и каонами, образованными из верхних (u), нижних (d) и странных (s) кварков. Эффективные массы верхних и нижних кварков равны m_u = 2.16(7) МэВ и m_d = 4.70(7) МэВ. Они не равны, но значительно меньше масштаба КХД, $\Lambda_{КХД}$. Следовательно, нарушение изоспиновой симметрии мало, что подтверждается отношением масс пионов или каонов, $(m_{\pi^+}-m_{\pi^0})/(m_{\pi^+}+m_{\pi^0}) \backsimeq 0.017$. Для K^+ и K^0 это отношение равно 0.004. Упругие сечения рассеяния пион-пион, пион-нуклон и нуклон-нуклон подтверждают изоспиновую симметрию. Одно из конкретных преобразований изоспина - это инверсия третьей компоненты изоспина. Оно эквивалентно перестановке u↔ d и, в случае адроннов, приводит к следующей замене частиц: $p \leftrightarrow n$, $\pi^+ \leftrightarrow \pi^-$, $K^+ \leftrightarrow K^0$, $K^0 \leftrightarrow K^-$ и т. д. В случае столкновения ядер, где ядра имеют равное число протонов и нейтронов, ожидается, что сильные взаимодействия будут инвариантны относительно преобразования зарядовой симметрии для каждого ядра и адрона в начальном и конечном состояниях. Инвариантность подразумевает, что среднее число адронов, связанных с преобразованием заряда, таких как K^+ и K^0, а также K^0 и K^-, совпадают. Следует подчеркнуть, что модели предсказывают только свойства ансамблей, поэтому необходимо учитывать усредненные величины. Таким образом, отношение заряженных к нейтральным каонам во взаимодействиях ионов при Nn = Np должно быть следующим:

$$R_K = \frac{\langle K^+ \rangle + \langle K^- \rangle}{2\,\langle K_S^0 \rangle} = 1$$

Коллаборацией NA61/SHINE было получено неожиданно большое значение R_K = 1.184(61) в наиболее центральных столкновениях Ar+Sc при $\sqrt{s_{NN}}$ = 11.9 ГэВ [9]. Измерения, а также сравнение с другими экспериментальными результатами и новой предварительной точкой NA61/SHINE при $\sqrt{s_{NN}}$ = 8,8 ГэВ [10] показаны на рис. 3c. Отношение R_K систематически больше единицы во всем доступном диапазоне энергий, кроме энергий LHC. Результаты сравнивались с предсказаниями моделей, рассчитанными для реакций, соответствующих экспериментальным данным, которые обычно имеют $Q/B < 1/2$, где Q и B представляют собой суммарный чистый заряд и чистое барионное число в системе. Модели учитывают этот и другие известные эффекты нарушения изоспиновой симметрии. Они не могут описать экспериментальные данные. Чтобы раскрыть природу перехода от легких к тяжелым системам и изучить неожиданно большое нарушение изоспина, коллаборацией NA61/SHINE был предложен новый набор измерений с легкими ионами (A < 40) при трех импульсах:

• при максимальном импульсе SPS – 150 АГэВ/*c*, с целью выявления области резкого перехода между образованием струн и КГП;

• при промежуточном импульсе 30 АГэВ/*c*, с целью установить зависимость от массового числа ядра вблизи области, в которой могут одновременно вносить вклад все три механизма: резонансные состояния, струны и КГП;

• при самом минимальном импульсе – 13 АГэВ/*c*, с целью установить непрерывный характер зависимости от массового числа ядра (отсутствие резкого перехода) в области доминирования резонансных процессов.

С этой целью было предложено рассмотреть 3 варианта сталкивающихся систем: $^{16}O+^{16}O$, $^{24}Mg+^{24}Mg$ и $^{10}B+^{10}B$. Все они используют оптимальную конфигурацию детектора NA61/SHINE [11].

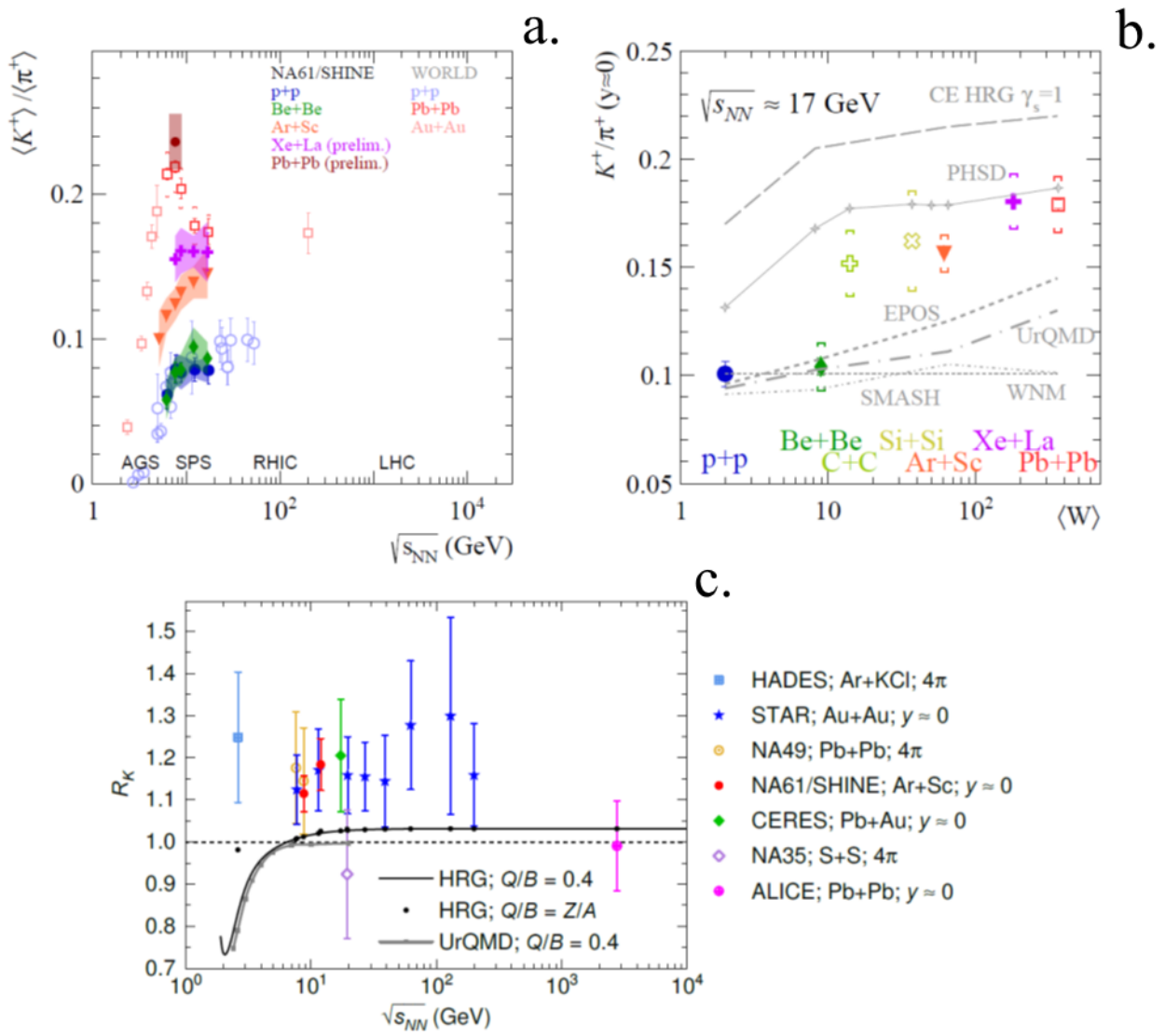


Рис. 3. *a*: Энергетическая зависимость отношения средней множественности $\langle K^+\rangle/\langle\pi^+\rangle$. *b*: Зависимость отношения K^+/π^+ в средней быстроте от размера системы при $\sqrt{s_{NN}}$ = 16.8 (17.3) ГэВ. *c*: Энергетическая зависимость R_K.

Корреляции $c-\bar{c}$ кварков

Тяжелые, редко образующиеся очарованные и нижние кварки играют особую роль [12, 13] в исследованиях КГП, свойства которой преимущественно определяются легкими кварками и глюонами. В частности, корреляции тяжелых кварков имеют высокую вероятность дать представление о физике сильно взаимодействующей материи и значительный потенциал для открытий.

Ранее корреляции импульсов адронов, содержащих *c* и *b* кварки, рассматривались как инструмент для проверки степени термализации тяжёлых кварков в горячей и плотной среде, формирующейся в результате столкновений. В этом контексте анализировались два основных эффекта: ослабление исходных корреляций типа «back-to-back» [14, 15] и усиление корреляций, обусловленное взаимодействием тяжёлых кварков с коллективно текущей средой [16].

Недавно было предложено [17, 18], что в случае образования пары очарованных и антиочарованных адронов коллективный поток материи, создаваемый при столкновениях тяжелых ионов, позволяет проверить локальность образования тяжелых кварков и их транспортные свойства. Первые результаты по образованию *D*-мезонов в центральных столкновениях Xe+La при 150 АГэВ/*c* [19] показывают, что средняя множественность пар $c-\bar{c}$ кварков меньше единицы. Используя масштабирование числа столкновений, можно ожидать

около одной пары c-$\bar{c}$ в центральных столкновениях Pb+Pb при этом импульсе пучка. Это ожидание вскоре будет подтверждено текущими измерениями NA61/SHINE [20]. Это делает измерения корреляций очарованных и антиочарованных кварков на CERN SPS очень перспективными.

Ожидается, что азимутальные корреляции очарованных и антиочаровательных адронов будут особенно чувствительны к их пространственным корреляциям на стадии freeze-out [17, 18]. На Рис. 4 представлено распределение пар $c-\bar{c}$ адронов по разности азимутальных углов $\Delta\phi$ для локального, независимого и коррелированного испускания с гиперповерхности при замораживании (подробности см. в работе [17, 18]).

Таким образом, измерения корреляции между очарованными и антиочарованными адронами в центральных столкновениях Pb+Pb на максимальной энергии CERN SPS должны предоставить уникальную информацию для проверки предположений о локальности рождения пары $c-\bar{c}$ и их последующем субпороговом переносе в плотной среде. Модернизация детектора NA61/SHINE с использованием существующих экспериментальных технологий и интенсивностей пучка на линии H2 CERN SPS должна позволить проводить соответствующие измерения после LS3.

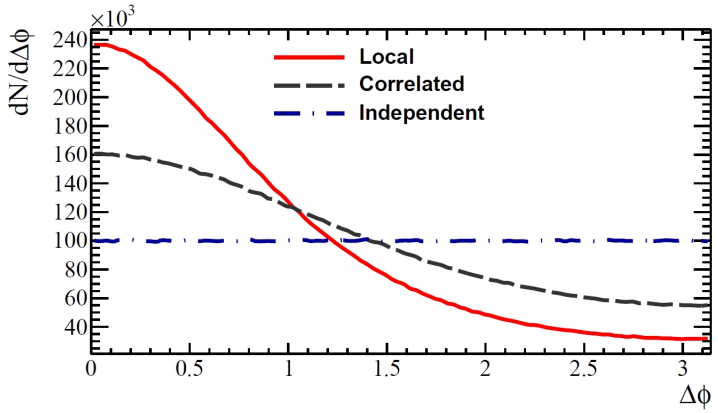


Рис. 4. Распределение пар $c-\bar{c}$ адронов по разности азимутальных углов $\Delta\phi$, смоделированное для центральных столкновений Pb+Pb при 150 АГэВ/c для локальных, независимых и коррелированных (σ = 2 фм) моделей излучения (см. [17, 18]).

Космические лучи

Физика космических лучей в диапазоне энергий от ГэВ до ТэВ вступила в эру точности благодаря недавним данным космических экспериментов. Однако ограниченные знания о ядерных реакциях, особенно в отношении образования антиматерии и вторичных ядер, ограничивают информацию, которую можно извлечь из этих данных, такую как свойства источников, перенос в Галактике и косвенные поиски частиц темной материи. Недавний обзор [21] предлагает подробную дорожную карту для устранения наиболее неотложных пробелов в данных о сечениях, тем самым эффективно продвигаясь по многим открытым физическим вопросам. NA61/SHINE обладает возможностями для внесения значительного вклада в интерпретацию имеющихся данных о космических лучах.

Недавно коллаборация AMS-02 сообщила об обнаружении нескольких событий-кандидатов на космические антидейтроны в энергетическом диапазоне нескольких ГэВ на нуклон [22]. Остается открытым вопрос, требует ли объяснение этих событий применения новых физических принципов, таких как аннигиляция или распад темной материи, или же оно может быть объяснено известными астрофизическими процессами. Фоновый астрофизический поток антидейтронов образуется преимущественно за счет взаимодействий протонов с межзвездным водородом и гелием. Сечение образования антидейтронов увеличивается, в то время как поток космических протонов уменьшается с энергией. Следовательно, пик образования космических антидейтронов приходится на импульс около 300 ГэВ/c в p+p взаимодействиях. В настоящее

время неопределенности в образовании астрофизического фона антидейтронов составляют порядка десятикратного фактора, то есть они варьируются от приблизительно одной десятой до десятикратного превышения прогнозируемых значений.

В 2025 году NA61/SHINE были набраны данные p+p с высокой статистикой (~3×10^8 событий) при энергии 300 ГэВ/*c* для построения современной модели со значительно уменьшенными неопределенностями, чтобы окончательно определить, может ли обычный астрофизический фон объяснить эти события. Этот набор данных позволяет построить новую, современную модель антидейтрона, основанную на размерах источника *p*+*p* взаимодействий и дифференциальных сечениях образования антипротонов. Эта модель также будет подтверждена прямым измерением сечений образования дейтронов и антидейтронов. Значительно улучшенные измерения с помощью NA61/SHINE имеют решающее значение для оценки гипотетического происхождения кандидатов в антидейтроны из AMS-02 в рамках теории темной материи.

В период после LS3 можно будет получить больше данных *p*+*p* на более низких и более высоких энергиях для построения полной модели. Основное внимание будет уделено пониманию образования антидейтронов в энергетическом диапазоне SPS с уровнем неопределенности 10%, а также соответствующим результатам корреляции дейтронов и частиц, которые позволят разработать модель образования легких (анти)дейтронов следующего поколения. Эти же данные также позволят впервые измерить образование антигелия-3 на энергиях SPS, дополняя высокоэнергетические измерения ALICE.

Нейтринная программа

NA61/SHINE выполнил масштабную программу измерений образования адронов для понимания точного потока нейтринных пучков. В рамках Run3 были получены экспериментальные данные на высокой статистике событий с использованием реплик (копий) мишеней для T2K и LBNF/DUNE, а также для адронных взаимодействий на тонких твердых мишенях. Одновременно были завершены и опубликованы физические анализы данных Run2: взаимодействия протонов с энергией 120 ГэВ/*c* на углероде, при этом новая система TPC для прямого сканирования обеспечила полное покрытие фазового пространства [23, 24].

В 2026 году NA61/SHINE планирует начать исследования потока атмосферных нейтрино с помощью серии экспериментов с протонами с энергией 20 ГэВ/*c* на мишени из жидкого азота для моделирования доминирующих взаимодействий космических лучей в атмосфере. Эти наборы данных в настоящее время анализируются, и ожидается, что анализ будет завершен в течение Run3.

В Run4 проекта NA61/SHINE планируется провести исследования образования адронов на ядерных мишенях с использованием новой ветви пучка H2 с очень низкой энергией. Эти измерения будут включать как взаимодействия протонов и мезонов с азотом при импульсе ниже текущего импульса пучка H2, вплоть до 2 ГэВ/*c*, так и с твердыми материалами, чтобы улучшить предсказания потока нейтрино из атмосферных источников, пучков ускорителей и источников расщепления. Проект NA61/SHINE на низкоэнергетическом пучке был поддержан руководством одиннадцати коллабораций по физике нейтрино и мюонов в письме руководству ЦЕРН от ноября 2024 года. Со стороны ЦЕРН было подготовлено техническое исследование [25].

Вплоть до LS3 коллаборация NA61/SHINE продолжает вести высокостатистический набор данных на репликах мишеней для T2K и LBNF/DUNE. Однако предполагается, что нейтринные пучки LBNF/DUNE и Hyper-Kamiokande будут развиваться с появлением новых конструкций и материалов мишеней в течение ожидаемого длительного срока их эксплуатации. Текущие наборы данных на репликах мишеней могут оказаться недостаточными для оценки потока нейтрино от этих будущих конфигураций мишеней. Поэтому NA61/SHINE сохранит возможность сбора новых наборов данных на репликах мишеней по мере разработки новых конструкций мишеней для нейтринных пучков. В настоящее время невозможно составить подробные планы конкретных измерений, но они будут предложены по мере необходимости в будущем.

2.2.3. Разработка теоретических моделей группой ОИЯИ

В научном сообществе до сих пор нет единого мнения о механизме образования легких ядер: а) прошло более полувека с тех пор, как подход коалесценции был впервые предложен для описания образования дейтронов в эмульсиях, а затем модифицирован для описания образования легких ядер в релятивистских реакциях тяжелых ионов; б) десятилетия назад были предложены транспортные подходы для решения проблемы описания динамики столкновений тяжелых ионов вместе с применением так называемой процедуры «минимального остовного дерева» (MST) в качестве алгоритма поиска кластеров - оба метода показали хорошее описание экспериментальных данных за эти годы, однако применялись к различным подходам в рамках разных кодовых баз.

Теперь была разработана «Общая библиотека кластеризации» (CCL) с целью объединения доступных алгоритмов в одном коде, чтобы иметь возможность применять их к различным теоретическим подходам и, таким образом, устранить неопределенности, связанные с реализацией.

Особое внимание было уделено проверке результатов библиотеки CCL при энергиях будущего комплекса NICA. Поскольку только при таких энергиях доступны данные NA49/61, они были использованы для сравнения. На Рис. 5 показано распределение плотности по быстроте ^{3}He. Помимо экспериментальных данных, рассматриваются также три механизма образования кластеров:

1) коалесценция с критерием спин-изоспиновой связи:
2) механизм «MST» (или «потенциал»);
3) коалесценция с дополнительным условием отрицательной энергии связи.

Полученные впервые результаты следующие:

1. Результаты коалесценции не описывают форму экспериментальных данных и переоценивают данные более чем в 2 раза в области средней быстроты.
2. Результаты «MST» идеально соответствуют данным.
3. Подавление ограничения «$E_{bind} < 0$» для ядер коалесценции слишком сильное.

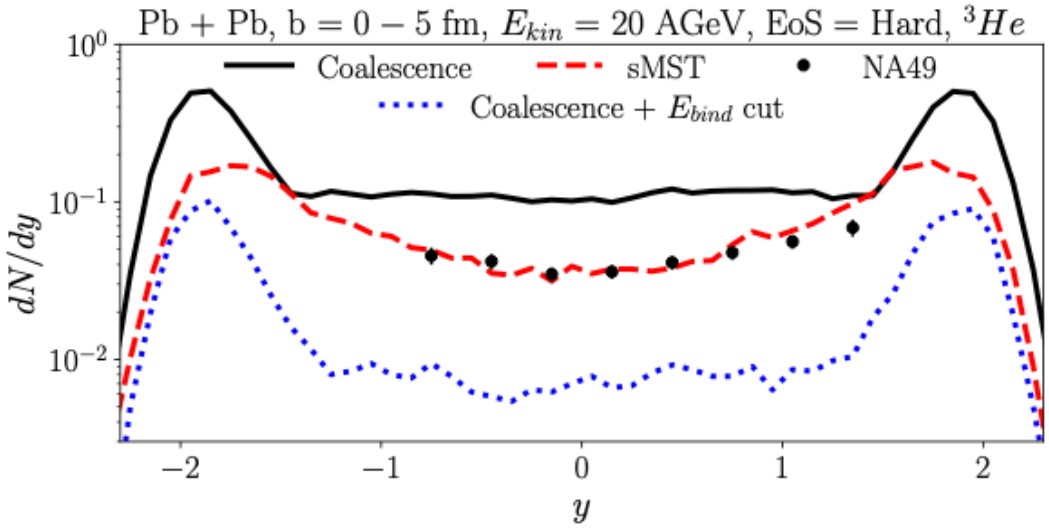


Рис. 5. Распределение плотности по быстроте для ^{3}He. Черные сплошные линии показывают слияние с учетом спин-изоспинового взаимодействия. Красные пунктирные линии показывают результаты «MST» [26].

Стоит особенно подчеркнуть, что данные NA49 имеют решающее значение для понимания областей, представляющих приоритетный интерес для экспериментов с комплексом NICA. Ожидаемые данные NA61, которые появятся в ближайшие годы, не будут конкурировать с данными NICA/MPD, а дополнят их и послужат подтверждением первых результатов.

Группой сотрудников ОИЯИ было предложено дальнейшее развитие подхода (название BMLZ – Baldin-Malakhov-Lykasov-Zaitsev) к изучению релятивистских ядерных взаимодействий в пространстве четырехмерных скоростей с использованием принципа подобия, предложенной академиком А.М. Балдиным. Важнейшим развитием начального подхода стало включение в него кварк-глюонной динамики мягкого рождения адронов в *NN*-взаимодействиях. Этот шаг позволил связать мягкое рождение адронов в *pp*-столкновениях с данными по глубоко неупругому *ep*-рассеянию (HERA) при малых x и Q^2, где проявляются эффекты насыщения глюонных плотностей. В рамках данного подхода были получены удовлетворительные результаты при описании экспериментальных данных, в том числе данных коллаборации NA61/SHINE:

1. Инклюзивные p_t спектры рожденных π- и *K*-мезонов. Представленный подход обеспечивает удовлетворительное описании инклюзивных p_T-спектров, измеренных коллаборацией NA61/SHINE:

- Для *pp*-столкновений в диапазоне энергий $\sqrt{s} \approx 6–17$ ГэВ [27].
- Для столкновений легких ядер Be+Be и Ar+Sc при $\sqrt{s_{NN}} \approx 5–17$ ГэВ [28, 29].
- Описаны также данные RHIC (STAR) и LHC (ALICE) для тяжелых ионов (Au+Au, Pb+Pb) при $\sqrt{s_{NN}} = 200$ ГэВ и 2.76 ТэВ соответственно. Расчеты корректно воспроизводят как форму спектров при малых p_T (< 1.5 ГэВ/*c*), так и их энергетическую зависимость.

2. Соотношения выходов K/π. Подход успешно объясняет различное поведение K/π соотношений в легких и тяжелых сталкивающихся системах. В *pp*- и BeBe-столкновениях предсказан и подтвержден данными NA61/SHINE монотонный рост отношений K^+/π^+ и K^-/π^- от порога рождения до $\sqrt{s} \sim 20–30$ ГэВ с последующим монотонным ростом вплоть до энергий LHC [27-30].

3. Соотношения выходов античастиц и частиц. Подход был распространен на расчет отношений выходов антибарионов к барионам ($\bar{p}$ / p, $\bar{d}$ / d, ${}^3\overline{He}$ / ${}^3He$). С использованием единого параметра $C_2 = 0.146$ и учета эффекта «stopping» барионов в центральной области достигнуто превосходное описание экспериментальных данных для широкого набора систем (*pp*, BeBe, SS, CuCu, AuAu, PbPb) в диапазоне энергий от SPS до LHC [31].

4. Наблюдение нарушения изоспиновой симметрии в AA столкновениях. Коллаборацией NA61/SHINE [9] зарегистрировано значительное нарушение изоспиновой симметрии, выраженное в аномальном отношении выходов заряженных и нейтральных каонов. Предложено описание этого отношения в рамках подхода BMLZ. На Рис. 6 представлены предварительные расчеты в сравнении с экспериментальными данными [33]:

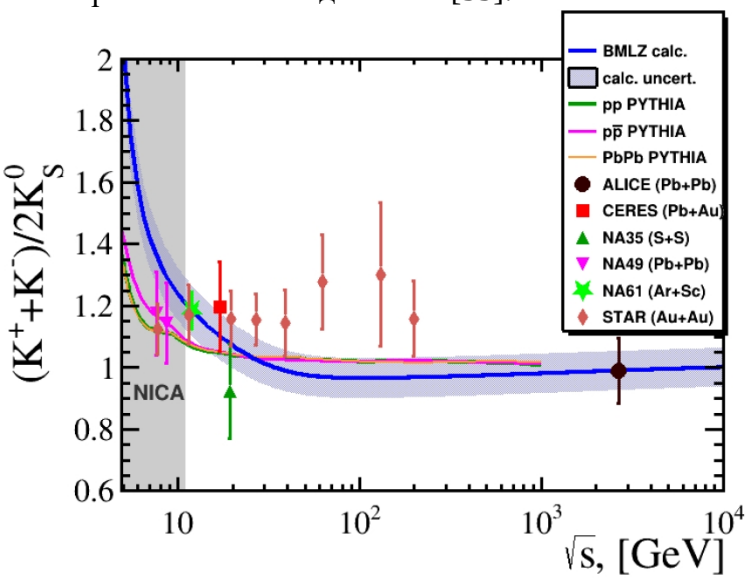


Рис. 6. Отношение $R_K = (\sigma K^+ + \sigma K^-)/2\sigma K^0{}_S$, как функция $\sqrt{s}$, рассчитанное в рамках подхода BMLZ [5] (синяя линия) и модели Лунда (зеленый-pp, фиолетовый-pp^-, желтый-$PbPb$) [33].

Полученные таким образом результаты демонстрирует высокую эффективность подхода BMLZ для универсального описания широкого круга явлений в релятивистской ядерной физике. Разработанный подход представляет особую ценность для программы будущих исследований на коллайдере NICA. В диапазоне энергий NICA данный формализм является идеальным инструментом для выявления универсальных закономерностей в рождении странных адронов и антивещества, количественного анализа барионной плотности и «stopping» нуклонов в центральной области быстрот, интерпретации данных экспериментов MPD и SPD в рамках единой теоретической схемы, уже апробированной на данных SPS и RHIC.

2.2.4. Планы по физике сильных взаимодействий

Планируются измерения с тремя основными ионами — кислородом, магнием и бором — при трех импульсах пучка: 13, 30 и 150 АГэВ/c. Каждый вид ионов будет запрошен на 21 день работы пучка, что позволит проводить семь дней сбора данных при каждом значении импульса. (Данные по кислороду при 150 АГэВ/c были собраны в 2025 году)

Цели этих измерений — исследовать зависимость перехода от адронной к партонной материи в зависимости от размера системы и энергии. В частности, программа направлена на:

- определение начала образования кварк-глюонной плазмы на максимальной энергии (150 АГэВ/c),
- изучение взаимодействия адронных и партонных механизмов на промежуточных энергиях (30 АГэВ/c),
- исследование динамики, доминирующей за счет резонансов, на самой низкой энергии (13 АГэВ/c).

NA61/SHINE также планирует провести масштабную модернизацию, которая позволит собирать данные в двух различных режимах. В рамках модернизации первая времяпроекционная камера (VTPC-1) будет заменена быстрой трекинговой системой, способной работать со скоростью сбора данных до 10 кГц. Эта система будет включать высокоточные кремниевые пиксельные детекторы, расположенные близко к мишени, и газовые детекторы большей площади, расположенные ниже по пучку. В первом режиме новый трекер будет работать совместно с существующими детекторами (TPC и ToF), регистрируя данные с частотой 1–2 кГц. Во втором режиме трекер будет работать независимо со скоростью 10 кГц. Эта возможность высокоскоростной обработки позволит проводить точные измерения образования очарованных адронов в центральных столкновениях Pb+Pb, включая исследования корреляций очарованных и антиочарованных частиц, что крайне важно для ограничения диффузии очарованных частиц и понимания механизмов их образования. Модернизированный детектор также облегчит измерения с использованием легких ионов и поддержит дальнейшие программы в области физики нейтрино и космических лучей. Ключевым аспектом проектирования станет совместимость новой системы слежения со всеми физическими целями эксперимента. Дополнительные исследования сильных взаимодействий будут сосредоточены на образовании странных частиц при переходе к кварк-глюонной плазме, чтобы улучшить наше понимание эволюции ранней Вселенной и образования нейтронных звезд.

2.2.5 Модификация установки

Конфигурация детектора NA61/SHINE с двухплечевым времяпролетным детектором достаточна для продолжения измерений образования адронов в ядрах среднего размера и для исследования образования странных частиц. Однако предлагаемые измерения нейтрино и $c - \bar{c}$ корреляций требуют значительной модернизации детектора и пучка соответственно. Существующая частота набора событий детектора NA61/SHINE не превышает 2 кГц из-за

предела оборудования, тогда как новые измерения требуют увеличения частоты до 10 кГц. Для достижения этого необходимы следующие модернизации:

• Создание нового кремниевого трекового детектора (LAST);

• Разработка новой низкоэнергетической линии пучка для физики нейтрино и космических лучей.

• Завершение работ по вводу в эксплуатацию второго плеча времяпролетной системы.

Разработка кремниевого трекового детектора (LAST)

Для проведения исследований $c - \bar{c}$ -корреляций необходима частота сбора данных 10 кГц или более. Хотя такие скорости легко достижимы с помощью современных технологий детекторов, они превосходят возможности существующей установки NA61/SHINE, которая включает в себя большие по объему TPC. Для преодоления этого ограничения планируется создать новый магнитный спектрометр, оснащенный быстрым кремниевым трековым детектором для реконструкции первичных и распадающихся вершин, дополненный крупногабаритными микроструктурными газовыми детекторами (MPGD) для дальнейшего отслеживания с целью повышения разрешения по импульсу. Согласно предварительным исследованиям методом Монте-Карло, эта установка позволит восстанавливать импульсы частиц с разрешением 0,7% и охватом почти 40%. Кремниевый трековый детектор будет аналогичен существующему вершинному детектору на основе датчиков ALPIDE, в то время как технология крупногабаритных MPGD еще не определена. На основе моделирования методом Монте-Карло ожидается 10 треков на см² на одно центральное столкновение Pb+Pb и до 5×10^4 MIP/см²/с суммарного потока заряженных частиц во внутренней области детектора и значительно меньше во внешних областях.

Низкоэнергетическая линия пучка. Существующая линия пучка H2 может обеспечивать адронные пучки в диапазоне 13–400 ГэВ/c. Цель проекта низкоэнергетической линии пучка — обеспечить адронные пучки ниже этого диапазона, до 2 ГэВ/c. Конфигурация низкоэнергетической линии пучка не должна препятствовать стандартной работе на высоких энергиях даже после строительства новой низкоэнергетической ветви линии пучка. Конфигурации низкоэнергетической линии пучка могут сосуществовать со «стандартной» высокоэнергетической конфигурацией, и линия H2 сможет обеспечивать адронные пучки в диапазоне 2–400 ГэВ/с. Кроме того, для сбора достаточного количества статистических данных для спектральных измерений в течение разумного времени работы пучка, например, двух-трех недель на набор данных, количество частиц должно превышать как минимум 50 Гц (~250 частиц на один сброс). Для полного использования физических возможностей, предоставляемых ядерными пучками, было бы крайне полезно обеспечить более широкий спектр ионных видов для различных экспериментов. Предлагаемое добавление второго источника тяжелых ионов и модернизация комплекса тяжелых ионов значительно повысят научный потенциал не только для NA61/SHINE, но и для всех экспериментов с тяжелыми ионами в ЦЕРНе.

Второе плечо времяпролетной системы на базе MRPC

Группа ОИЯИ внесла существенный вклад в модернизацию установки: была ответственна за разработку, создание и ввод в эксплуатацию 1728+1728 канальной времяпролетной системы (ToF-L + ToF-R) с высоким временным разрешением (Рис. 7). Особенность дизайна системы заключается в использовании аналогового накамерного усилителя и системы сбора данных на основе модуля DRS4. В результате этой работы создана принципиально новая концепция времяпролетного детектора MRPC, сочетающая в себе эффективность регистрации частиц при интенсивностях до 2 кГц/см2, временное разрешение лучше 52 пс и координатное разрешение в плоскости детектора лучше 5 мм. В 2026 планируется завершение работ по изготовлению второго плеча (ToF-R) установки. Для возможности совместного использования детектора с новым трекером (LAST) рассматривается переход на новый тип считывающей электроники на базе модуля picoTDC.

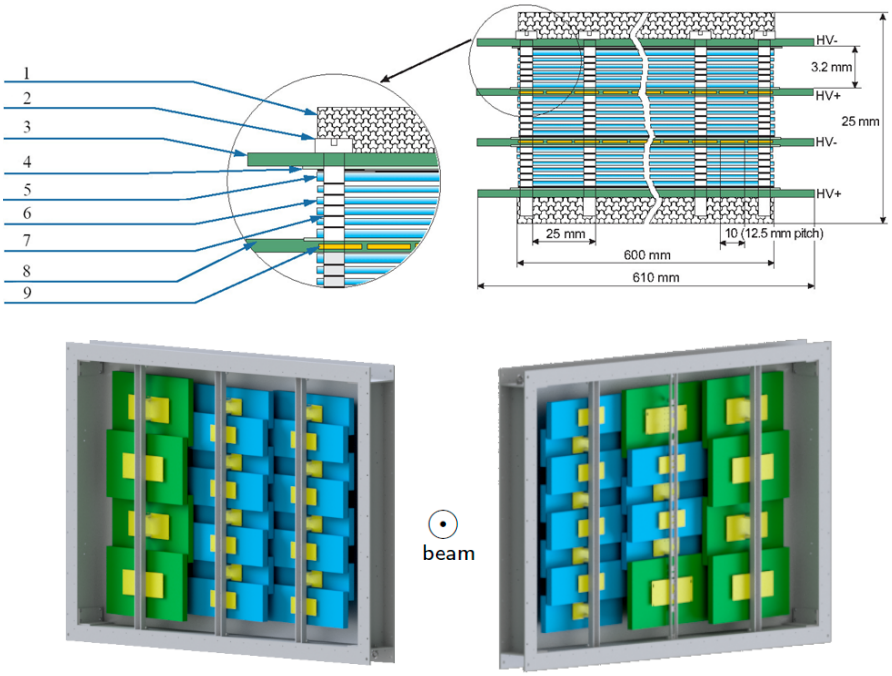


Рис. 7. Верхний рисунок: схема устройства детектора MRPC. 1 — сотовая панель (5 мм), 2 — пластиковый винт, 3 — внешняя печатная плата (1 мм, 4 — майлар пленка (1 мкм), 5 — внешнее стекло с проводящей краской (420 мкм), 6 — внутреннее стекло(280 мкм), 7 — рыболовная леска (200 мкм),8 — печатная плата со стрипами (1,5 мм), 9 — стрип. Нижний рисунок: схематичное изображение двух ToF модулей.

2.2.6 Планы работ 2026 + LS3

Планы пучкового времени на 2026 год:

Для исследований взаимодействия протонов с азотом с использованием мишени из жидкого азота, строящейся в настоящее время в Японии и ЦЕРН, запрашивается четыре недели работы пучка. Эти взаимодействия, которые будут проводиться при самой низкой доступной в настоящее время энергии пучка, станут отправной точкой для изучения атмосферных взаимодействий для получения данных о взаимодействиях, близких к энергии нейтринного пучка (BNB) бустера Фермилаба, требуется дополнительная неделя наблюдений за взаимодействиями протонов и бериллия. В настоящее время в моделировании BNB используется масштабирование импульса от набора данных протонов NA61/SHINE с энергией 31 ГэВ/с до пучка BNB с энергией 8.9 ГэВ/с. Еще один набор данных с энергией 15-20 ГэВ/с позволит уменьшить погрешность, связанную с масштабированием. Этот набор данных будет полезен на промежуточном этапе, до получения результатов, полученных с помощью низкоэнергетического пучка.

Планы после LS3

NA61/SHINE подготовил план новой физической программы в период после LS3 (2027–2029 гг.). Он был представлен в качестве материала для обновления Европейской стратегии в области физики элементарных частиц [67]. Основные темы включают новую программу измерений образования нейтрино низкой энергии, серию исследований столкновений легких ионов, исследование коррелированных очарованных частиц, которое потребует серьезной модернизации трековых систем детектора, и дальнейшие измерения в области физики космических лучей.

Таким образом, в планы на будущее

• 2026: – Продолжение программы с использованием тяжелых ионов (пучок свинца) для завершения открытого набора данных по очарованным ионам и запроса пучка адронов для

исследований взаимодействий протон-азот и протон-бериллий. Завершающие работы по вводу в эксплуатацию второго плеча времяпролетной системы.
• 2027–2029 (LS3): Масштабная модернизация установки:
– Установка быстродействующего кремниевого трекера для значительного увеличения пропускной способности по сбору данных.
– Расширение на использование пучков более легких ионов для более широкого охвата физических явлений.
– Строительство низкоэнергетической линии пучка.
• После 2029:
– Высокоточные измерения очарованных ионов с использованием модернизированных детекторов.
– Расширение программы для поддержки исследований нейтрино и космических лучей.

2.2.7. Область ответственности группы ОИЯИ

Вклад/обязанности ОИЯИ:

- разработка и обслуживание системы TOF на основе MRPC;
- разработка и обслуживание жидководородной и жидкоазотной мишеней;
- разработка программного обеспечения и сопровождение библиотеки программного обеспечения;
- реконструкция исходных данных и производство DST;
- анализ данных.
- развитие теоретических моделей для интерпретации физических результатов.

2.2.9. Научный опыт авторов

Авторы проекта имеют большой научный опыт. А. Малахов, Г. Мелкумов и Г. Лыкасов имеют докторские степени и участвуют в исследовании проблем релятивистской ядерной физики. Шесть молодых сотрудников также активно участвовали в проекте. Пятеро из них – С. Бузин, М. Буряков, А. Дмитриев, Р. Колесников и М. Румянцев - разрабатывают времяпролетную систему для проекта NA61/SHINE на основе детекторов MRPC. Члены команды MRPC используют знания, полученные в ходе R&D и эксплуатации систем ToF для проекта NICA. Остальные двое сотрудников - В. Киреев, А. Зайцев - активно подключились к анализу экспериментальных данных и их теоретической интерпретации. У всех есть публикации и планы на подготовку кандидатских и докторских диссертаций.

Сильные и слабые стороны, возможности, угрозы

Сильные стороны проекта:

- завершено создание времяпролетной TOF-стены высокого разрешения;
- соответствие программе по физике частиц;
- наличие современной экспериментальной установки с уникальными параметрами;
- собран большой объем экспериментальных данных по протонно-ядерным и ядерно-ядерным взаимодействиям в широком диапазоне энергий (от 13 до 158А ГэВ)
- большой опыт анализа экспериментальных данных;
- большое количество молодых сотрудников;
- возможность обучения молодежи для проекта NICA.

Слабые стороны:

- неопределенность в глобальной политической ситуации;
- ограниченность ресурсов для анализа данных, которую необходимо решить путем привлечения студентов и докторантов в новый сектор Лаборатории.

Возможности:

- синергия с будущими проектами. Сильная взаимодополняемость с программами FAIR, RHIC BES и NICA. NA61/SHINE предоставляет важные справочные данные.

- Высококачественные экспериментальные данные. Большие существующие наборы данных с различными размерами систем и энергиями позволяют проводить точные измерения и проводить расширенные теоретические интерпретации.

Угрозы: Растущая конкуренция за время пучка на SPS.

У проекта есть потенциал привлечь больше молодых физиков, которые также пройдут обучение для мегасайнс проекта NICA.

Литература

1. N. Antoniou et al., [NA61/SHINE Collab.], "Study of hadron production in hadron nucleus and nucleus-nucleus collisions at the CERN SPS," Tech. Rep., CERN, 2006. CERN-SPSC-2006-034.
2. F. Becattini, J. Manninen, and M. Gazdzicki, "Energy and system size dependence of chemical freeze-out in relativistic nuclear collisions," Phys.Rev. C73 (2006) 044905, arXiv:hep-ph/0511092 [hep-ph].
3. C. Alt et al., [NA49 Collab.], "Bose-Einstein correlations of pi-pi- pairs in central Pb+Pb collisions at A-20, A-30, A-40, A-80, and A-158 GeV," Phys. Rev. C 77 (2008) 064908, arXiv:0709.4507 [nucl-ex].
4. M. Gazdzicki, M. Gorenstein, and P. Seyboth, "Recent Developments in the Study of Deconfinement in Nucleus-Nucleus Collisions," Int.J.Mod.Phys. E23 (2014) 1430008, arXiv:1404.3567 [nucl-ex].
5. V. Vovchenko, V. V. Begun, and M. I. Gorenstein, "Hadron multiplicities and chemical freeze-out conditions in proton-proton and nucleus-nucleus collisions," Phys. Rev. C 93 no. 6, (2016) 064906, arXiv:1512.08025 [nucl-th].
6. Marek Gazdzicki and Peter Seyboth. "Search for Critical Behaviour of Strongly Interacting Matter at the CERN Super Proton Synchrotron". In: Acta Phys. Polon. B 47 (2016), p. 1201.
7. R. V. Poberezhnyuk, M. Gazdzicki, and M. I. Gorenstein Acta Phys. Polon. B 46 no. 10, (2015) 1991
8. E. Andronov, M. Kuich, and M. Ga´zdzicki Universe 9 no. 2, (2023) 106
9. H. Adhikary et al., [NA61/SHINE and others Collab.] Nature Commun. 16 no. 1, (2025) 2849
10. Y. Balkova and T. Susa, "News on strangeness production from the NA61/SHINE experiment," in XXXI International Conference on Ultra-relativistic Nucleus-Nucleus Collisions (Quark Matter 2025). 2025.
11. H. Adhikary et al., [NA61/SHINE Collab.], "Addendum to the NA61/SHINE Proposal: Request for light ions beams in Run 4," tech. rep., CERN, Geneva, 2023.
12. H. van Hees and R. Rapp Phys. Rev. C 71 (2005) 034907
13. J.-P. Blaizot and M. A. Escobedo JHEP 06 (2018) 034
14. X. Zhu, M. Bleicher, S. L. Huang, K. Schweda, H. Stoecker, N. Xu, and P. Zhuang Phys. Lett. B 647 (2007) 366–370, arXiv:hep-ph/0604178.
15. S. Cao, G.-Y. Qin, and S. A. Bass arXiv:1505.01869 [nucl-th].
16. M. HeandR.RappPhys. Rev. Lett. 124 no. 4, (2020) 042301, arXiv:1905.09216 [nucl-th].
17. M. Gazdzicki, D. Kikola, I. Pidhurskyi, and L. Tinti arXiv:2305.00212 [hep-ph]. To be published in Commun.Phys.
18. M. Gazdzicki, D. Kikola, I. Pidhurskyi, and L. Tinti arXiv:2503.10565 [nucl-th].
19. A. Merzlaya, [NA61/SHINE Collab.] EPJ Web Conf. 316 (2025) 04004
20. H. Adhikary et al., [NA61/SHINE Collab.], "Report from the NA61/SHINE experiment at the CERN SPS," tech. rep., CERN, Geneva, 2024.
21. D. Maurin et al. arXiv:2503.16173 [astro-ph.HE]
22. Y.-H. Chang, "Cosmic Anti-Deuterons," in 44th COSPARScientific Assembly. Held 16-24 July, vol. 44, p. 2082. July, 2022.
23. H. Adhikary et al., [NA61/SHINE Collab.] Phys. Rev. D 107 no. 7, (2023) 072004, arXiv:2211.00183 [hep-ex].

24. H. Adhikary et al., [NA61/SHINE Collab.] Phys. Rev. D 108 (2023) 072013, arXiv:2306.02961 [hep-ex].
25. N. Charitonidis and C. Mussolini, “A New Tertiary Branch of the H2 beamline for low-energy particle beams,” tech. rep., CERN, 2023.
26. Kireyeu V. Modifications in clusterization procedures for heavy-ion collisions: minimum spanning tree, simulated annealing, coalescence //arXiv preprint arXiv:2512.02084. – 2025.
27. Lykasov G.I., Malakhov A.I., Zaitsev A.A**.** Ratio of cross-sections of kaons to pions produced in pp collisions as a function of $\sqrt{s}$// Eur. Phys. J. A. 2021. Vol. 57. P. 91. https://doi.org/10.1140/epja/s10050-021-00408-9
28. Lykasov G.I., Malakhov A.I., Zaitsev A.A**.** Ratio of kaon-to-pion production cross-sections in $BeBe$ collisions as a function of $\sqrt{s}$ // Eur. Phys. J. A. 2022. Vol. 58. P. 112. https://doi.org/10.1140/epja/s10050-022-00773-z
29. Lykasov G.I., Malakhov A.I., Zaitsev A.A. Production of charged kaons in $ArSc$ collisions // Eur. Phys. J. A. 2024. Vol. 60. P. 239. https://doi.org/10.1140/epja/s10050-024-01452-x
30. Malakhov A.I., Zaitsev A.A., Kolesnikova E.A., Lykasov G.I. Investigation of Relativistic Nuclear Collisions in the Four-Velocity Space // Physics of Particles and Nuclei. 2024. Vol. **55**, No. 4. pp. 768–772. https://doi.org/10.1134/S1063779624700151
31. Malakhov A.I., Zaitsev A.A. The Yield Ratio of Anti-Nuclei and Nuclei in Relativistic Nuclear Collisions in the Central Rapidity Region // Journal of Experimental and Theoretical Physics. 2022. Vol. 135, No. 2. pp. 209–214. https://doi.org/10.1134/S106377612208012X
32. Malakhov A.I., Zaitsev A.A., Lykasov G.I. New Results of the Study of Relativistic Nuclear Interactions in the Space of Four-Dimensional Velocities // Physics of Particles and Nuclei. 2025. Vol. 56, No. 3. pp. 891–898. https://doi.org/10.1134/S1063779624702472
33. Lykasov G., A. Guskov, A. Malakhov and A. Zaitsev. *K*-meson production and isospin-symmetry in *pp* and AA collisions //PoS. «QCDEX2025» 2026. p. 18. https://doi.org/10.22323/1.508.0018

2.3. Предполагаемый срок выполнения

2027-2031

2.4. Участвующие лаборатории ОИЯИ

Лаборатория физики высоких энергий им. В.И. Векслера и А.М. Балдина (ЛФВЭ),
Лаборатория ядерных проблем имени В.П. Джелепова (ЛЯП).

2.4.1. Потребности в ресурсах МИВК

Вычислительные ресурсы	**Распределение по годам**				
	1 год	2 год	3 год	4 год	5 год
Хранение данных (ТБ) - EOS - Ленты					
Tier 1 (ядро-час)					
Tier 2 (ядро-час)					
СК «Говорун» (ядро-час) - CPU - GPU					
Облака (CPU ядер)					

2.5. Участвующие страны, научные и научно-образовательные организации

Организация	**Страна**	**Город**	**Участники**	**Тип соглашения**
Institute of Physics and Technology of Mongolian Academy of Sciences	Монголия	Улан-Батор	B.Baatar, Ts. Baatar, M.Sovd, N. Khishigbuyan, B. Otgongerel, M. Urangua	Протокол
Sofia University “St. Kliment Ohridski”	Болгария	София	M. Bogomilov, D. Kolev, S. Ilieva, R. Tsenov	Протокол
The American College	Индия	Мадураи	N. Marimuthu, S. Sanila	Протокол

2.6. Организации-соисполнители *(те сотрудничающие организации/партнеры без финансового, инфраструктурного участия которых выполнение программы исследований невозможно. Пример — участие ОИЯИ в экспериментах LHC в CERN)*

3. Кадровое обеспечение

3.1. Кадровые потребности в течение первого года реализации

№№ п/п	**Категория работника**	**Основной персонал, сумма FTE**	**Ассоциированный персонал, сумма FTE**
1.	научные работники	4.5	
2.	инженеры	1.7	
3.	специалисты		
4.	служащие		
5.	рабочие		
	Итого:	**6.2**	

3.2. Доступные кадровые ресурсы
3.2.1. Основной персонал ОИЯИ

№№ п/п	Категория работников	ФИО	Подразделение	Должность	Сумма FTE
1.	научные работники	Головатюк В.М.	ЛФВЭ	нач. отдела	0.1
		Дмитриев А.В.	ЛФВЭ	нс	0.9
		Зайцев А.А.	ЛФВЭ	снс	0.3
		Киреев В.А.	ЛФВЭ	снс	0.3
		Красноперов А.В.	ЛЯП	снс	0.1
		Лыкасов Г.И.	ЛЯП	гнс	0.3
		Любушкин В.В.	ЛЯП	снс	0.1
		Малахов А.И.	ЛФВЭ	нач. отдела	0.3
		Матвеев В.А.	Дирекция ОИЯИ	науч. рук.	0.1
		Мелкумов Г.Л.	ЛФВЭ	гнс	0.8
		Попов Б.А.	ЛЯП	снс	0.9
		Румянцев М.М.	ЛФВЭ	нс	0.2
		Терещенко В.В.	ЛЯП	нач. группы	0.1
2.	инженеры	Буряков М.Г.	ЛФВЭ	в. инж.	0.3
		Бузин С.Г.	ЛФВЭ	ст. инж.	0.3
		Колесников Р.Ю.	ОИЯИ	помощ. гл. метролога	0.5
		Морозов С.В.	ЛФВЭ	инж.	0.3
		Карпушкин Н.М.	ЛФВЭ	инж.	0.3
3.	специалисты				
4.	рабочие				
	Итого:				**6.2**

3.2.2. Ассоциированный персонал ОИЯИ

№№ п/п	Категория работников	Организация-партнер	Сумма FTE
1.	научные работники		
2.	инженеры		
3.	специалисты		
4.	рабочие		
	Итого:		

4. Финансовое обеспечение

4.1. Полная сметная стоимость проекта 950 тыс. долл. США

Прогноз полной сметной стоимости (указать суммарно за весь срок, за исключением ФЗП). Детализация приводится в отдельной форме.

4.2. Внебюджетные источники финансирования

Предполагаемое финансирование со стороны соисполнителей/заказчиков — общий объем.

Руководитель проекта _____/Малахов А.И.

Дата представления проекта / подпроекта КИП в ДНОД _____

Дата решения НТС Лаборатории 3.03.26, номер документа _____

Год начала проекта / подпроекта КИП _____

(для продлеваемых проектов) — год начала работ по проекту _____

Предлагаемый план-график и необходимые ресурсы для осуществления Проекта NA61/SHINE

Наименования затрат, ресурсов, источников финансирования			Стоимость (тыс. долл.) потребности в ресурсах	Стоимость, распределение по годам				
				2027 год	2028 год	2029 год	2030 год	2031 год
		Международное сотрудничество (МНТС)	400	80	80	80	80	80
		Материалы	500	100	100	100	100	100
		Оборудование и услуги сторонних организаций (пуско-наладочные работы)	50	10	10	10	10	10
		Пуско-наладочные работы						
		Услуги научно-исследовательских организаций						
		Приобретение программного обеспечения						
		Проектирование/строительство						
		Сервисные расходы (*планируются в случае прямой принадлежности к проекту)*						
Необходимые ресурсы	**Нормо-час**	Ресурсы						
		– сумма FTE,						
		– ускорителя/установки,						
		– реактора,…..						
Источники финансирования	**Бюджетные средства**	Бюджет ОИЯИ *(статьи бюджета)*	950	190	190	190	190	190
	Внебюджет (доп. смета)	Вклады соисполнителей Средства по договорам с заказчиками Другие источники финансирования						

Руководитель проекта _____/ Малахов А.Б. /
Экономист Лаборатории _____/ _____ /

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЙ ПРОЕКТА

Исследование рождения адронов в адрон-ядерных и ядро-ядерных взаимодействиях на ускорителе SPS в ЦЕРН (NA61/SHINE - SPS Heavy Ion and Neutrino Experiment)

УСЛОВНОЕ ОБОЗНАЧЕНИЕ ПРОЕКТА **NA61/SHINE**

ШИФР ПРОЕКТА **02-1-1087-1-2012/2031**

ШИФР ТЕМЫ **02-1-1087-2009**

ФИО РУКОВОДИТЕЛЯ ПРОЕКТА **Малахов А.И.**

	ПОДПИСЬ	ФИО	ДАТА
СОГЛАСОВАНО ВИЦЕ-ДИРЕКТОР ИНСТИТУТА			
ГЛАВНЫЙ УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ ИНСТИТУТА			
ГЛАВНЫЙ ИНЖЕНЕР			
ДИРЕКТОР ЛАБОРАТОРИИ		Бутенко А.В	02.04.26
ГЛАВНЫЙ ИНЖЕНЕР ЛАБОРАТОРИИ		Агапов Н.Н.	02.04.26
УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ ЛАБОРАТОРИИ		Чеплаков А.П.	02.04.26
РУКОВОДИТЕЛЬ ТЕМЫ		Малахов А.И.	02.04.26
РУКОВОДИТЕЛЬ ПРОЕКТА		Малахов А.И.	02.04.26
ОДОБРЕН ПКК ПО НАПРАВЛЕНИЮ			