

РЕЦЕНЗИЯ
на проект HyperNIS “Странность в нуклоне и ядрах”,
модернизация спектрометра в 2019-2021 гг.,
предложение для экспериментов в 2022-2024гг.
тема 02-1-1086-2009/2024

Странность - одно из фундаментальных свойств адронов. Понимание происхождения кварковых ароматов является приоритетной задачей физики элементарных частиц и ядерной физики. Эта проблема связана с фундаментальной загадкой природы - симметрией пространства и времени на малых масштабах.

Экспериментальная программа проекта HyperNIS направлена на исследование роли странности в нуклоне и ядрах.

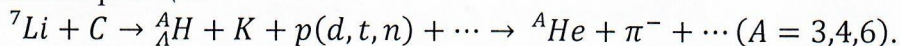
Первая часть проекта - модернизация спектрометра, успешно завершена в 2019-2021 годах. Обновление включает новую считывающую электронику, новые модули питания для пропорциональных камер, RPC для измерения TOF, модули VME, крейт для модулей TQDC, триггерные модули, системы высоковольтного питания и подачи газа. Модернизированный спектрометр готов к проведению экспериментов.

Вторую часть - программу экспериментальных гиперядерных исследований, планируется выполнить в 2022-2024 годах.

Первая часть экспериментальной программы направлена на поиск и изучение свойств легчайших нейтронно-избыточных ядер.

Поиск ${}^6_{\Lambda}H$ и ${}^8_{\Lambda}H$ является высокоприоритетной задачей. Если существование этих ядер будет подтверждено, то следующим шагом будет определение времени жизни и сечения образования этих ядер. Авторы отмечают наличие противоречивых и неубедительных данных о существовании ${}^6_{\Lambda}H$, полученных во Frascati (Италия) и J-PARC (Япония).

Другие задачи - определение энергии связи ядра ${}^3_{\Lambda}H$, время жизни и сечение рождения гиперядер ${}^3_{\Lambda}H$ и ${}^4_{\Lambda}H$. Для получения изотопов гиперядер в эксперименте будет использована реакция



Изучение малоисследованного гиперядра ${}^6_{\Lambda}He$ на пучке 6Li будет естественным продолжением экспериментов на пучках Li . Другая важная задача – определение матричного элемента потенциала слабого взаимодействия $\Lambda N \rightarrow NN$ в немезонных распадах ${}^{10}_{\Lambda}Be$ и ${}^{10}_{\Lambda}B$. Она имеет целью решение физически важной и интересной задачи – построения гиперонного потенциала взаимодействия.

Авторы проекта отмечают, что при проведении экспериментов будет использована оригинальная и привлекательная идея для оценки энергии связи слабосвязанного гиперядра ${}^3_{\Lambda}H$, предложенная в Лаборатории высоких энергий (ОИЯИ, Дубна). Гиперядра образуются при возбуждении ядер пучка, а распад гиперядер наблюдается на расстоянии в десятки сантиметров позади мишени. Для получения экспериментальной оценки энергии связи можно исследовать прохождение «пучка» гиперядер через материалы с различным Z . Авторы предлагают использовать первичный пучок 4He как лучший вариант для определения энергии связи ${}^3_{\Lambda}H$.

Гиперядерная программа, начатая в Дубне в 1988 году, имеет высокую теоретическую мотивацию. Программа проекта основана на полученных результатах исследования образования и распада легких гиперядер ${}^3_{\Lambda}H$ и ${}^4_{\Lambda}H$. В оригинальном подходе импульс гиперядер, образующихся в пучках релятивистских ионов, близок к импульсу ядра-снаряда, что весьма эффективно для измерения времен жизни и сечений образования гиперядер. Время жизни гиперядер в лабораторной системе отсчета увеличивается за счет лоренцовского фактора в 3-7 раз. В этом случае значительная часть гиперядер распадается далеко позади мишени. Положение вершин распада можно использовать для

идентификации распада и для определения времени жизни наблюдаемых гиперядер путем измерения распределения точек распада. Выбор специализированного и селективного триггера на двухчастичный распад гиперядра с отрицательным пионом является ключевым моментом этого подхода. Точность измерения времени жизни ограничивается только статистическими ошибками. Результаты расчетов сечений, выполненных в рамках модели коалесценции, хорошо согласуются с экспериментальными данными.

Имеющиеся результаты по временам жизни ${}^3_{\Lambda}H$ и ${}^4_{\Lambda}H$, полученными другими Коллаборациями в GSI, BNL и CERN, подтверждают большой интерес физического сообщества к таким исследованиям.

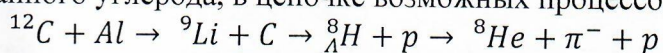
Программа HyperNIS нацелена на изучение свойств нейтроноизбыточных гиперядер. Ожидается, что полученные результаты могут быть использованы для нахождения уравнения состояния (EoS) нейтронных звезд и определения доли лямбд в распределении энергии барионов в нейтронных звездах и в их массах.

Авторы обосновывают преимущество предложенного подхода (использование фрагментации релятивистского пучка 7Li) для исследования ${}^6_{\Lambda}H$ над механизмом двойной перезарядки (DCX), используемым коллаборациями FINUDA и J-PARC.

Авторы указывают на возможность проведения важнейшего приоритетного эксперимента в ЛФВЭ ОИЯИ. Поиск ${}^6_{\Lambda}H$ с помощью спектрометра HyperNIS и получение достаточно высокой статистики (несколько сотен обнаруженных событий) позволит определить время жизни, сечение образования, массу и, возможно, выяснить роль гиперонов как «связующего звена» вблизи линии нейтроноизбыточных ядер.

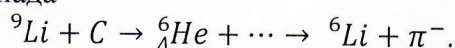
Три изотопа гиперядер водорода (${}^3_{\Lambda}H$, ${}^4_{\Lambda}H$, ${}^6_{\Lambda}H$) могут образовываться одновременно. В дубненском эксперименте возможно определить время жизни всех этих изотопов.

Авторы проекта предлагают использовать пучок 9Li , созданный как вторичный пучок фрагментированного углерода, в цепочке возможных процессов



для поиска ${}^8_{\Lambda}H$. Время жизни пучков 9Li и 8He составляет порядка ста миллисекунд и этого достаточно для успешного проведения эксперимента.

Планируется исследование ${}^6_{\Lambda}He$ гиперядер с помощью пучка 6Li . Гиперядра образуются в периферических взаимодействиях Li с углеродной мишенью. Триггер настроен на выбор пионных распадов с отрицательным пионом и дочерним ядром лития, испускаемым из области распада



Ожидается, что новые данные, полученные в рамках настоящего проекта, значительно улучшат описание процесса образования гиперядер. Было установлено, что гиперядро ${}^6_{\Lambda}He$ является слабосвязанным, но его время жизни и сечение образования до сих пор не измерены. Это одна из задач данного эксперимента.

Метод кулоновской диссоциации будет использован для экспериментальной оценки энергии связи ${}^3_{\Lambda}He$ и ${}^6_{\Lambda}He$. Этот метод интересен с экспериментальной точки зрения, поскольку необходимо исследовать взаимодействия «пучка» гиперядер.

В данном проекте запланировано также исследование немезонных распадов гиперядер ${}^{10}_{\Lambda}Be$ и ${}^{10}_{\Lambda}B$. Это исследование направлено на определение элементов матрицы слабого взаимодействия $\Lambda N \rightarrow NN$ и отношения вероятностей для эксклюзивных распадов этих ядер, испускающих две α частицы под очень малым углом. Для обнаружения двух альфа-частиц необходимы дополнительные GEM детекторы с высоким разрешением. Дополнительный триггерный счетчик с тонким (1 мм) кварцевым радиатором может в 30-50 раз подавить фон, исходящий от фрагментации ядер пучка в триггерных детекторах. Проанализирована возможность установки нескольких трекеров высокого разрешения.

В проекте описана полная конфигурация спектрометра HyperNIS. Она включает – мишень, мониторы пучков, триггерные счетчики, распадный вакуумный сосуд,

анализирующий магнит, пропорциональные камеры, RPC-TOF станции, сцинтилляционный счетчик для подтверждения регистрации ядер He.

Отмечены основные особенности разработанной в ОИЯИ экспериментальной методики и планируемой к использованию в данном эксперименте. К ним относятся - идея исследования гиперядра с высокой энергией, образованного возбуждением ядра пучка, распада гиперядра вне мишени, триггер на пионные распады, большой угловой акцептанс спектрометра для продуктов коллимированного распада гиперядра, вершина распада гиперядра в вакууме без фонового взаимодействия, большое отличие в распределении импульсов различных изотопов гиперядер.

Результаты моделирования распределения импульса гиперядер показали, что в случае реалистичных возможных ошибок измерения импульса на уровне 2% пики of ${}^3\text{H}$, ${}^4\text{H}$, ${}^6\text{H}$ могут быть четко разделены.

Оценены эффективность восстановления относительно медленных импульсов пионов на уровне 30%, эффективность восстановления вершин на уровне 90%. Проведено Монте Карло моделирование для выбора оптимальной геометрии мишени и пропорциональных камер для регистрации более 90% пионов распада.

Результаты, полученные в 2017-2021 гг:

Отметим результаты последних лет (2017-2021 гг.): Пучок ${}^7\text{Li}$ использовался для испытаний и настройки модернизированной триггерной системы (коэффициент подавления фона выше 10^4). Произведено обновление трековой системы. Проведено Монте Карло моделирование изучаемых событий. Пучок дейтронов использовался для калибровки спектрометра и тестирования нового оборудования. Получены данные для юстировки пропорциональных камер, разработано и изучено несколько программных кодов юстировки. Кинетическая энергия выведенного ядерного пучка увеличена до 4ГэВ/нуклон, пучок транспортирован в спектрометр, канал пучка, идущего в установку HyperNIS, протестирована сотрудниками Нуклотрона.

Проведенная модернизация спектрометра включает в себя - установку и тестирование времяпролетной системы, установку новой электронной системы подачи газа для пропорциональных камер, новой электроники для считывания данных с пропорциональных камер, новых электронных модулей триггерной системы, введение нового сервера системы сбора данных. Разработаны, испытаны и внедрены системы оперативного обслуживания (управление пучком, контроль работоспособности камеры, медленное управление высоковольтными источниками питания и др.). Испытана новая система высоковольтного питания для триггерных фотоумножителей. Изготовлен и испытан блок из четырех триггерных черенковских счетчиков с углеродной мишенью, расположенной внутри блока.

Цели планируемых экспериментов в 2022-2024гг:

1. Старт программы гиперядерных исследований с использованием пучков ${}^7\text{Li}$.
2. Изготовление и установка двух GEM детекторов для улучшения локализации вершины распада.
3. Поиск и изучение гиперядра ${}^6\text{H}$ (измерения времени жизни, сечения образования, массы).
4. Проверка предсказаний двух времен жизни изомерных состояний ${}^6\text{H}$ или поиск гиперядра ${}^8\text{H}$ с использованием пучка ${}^9\text{Li}$, если первые измерения ${}^6\text{H}$ будут успешны,
5. Изучение гиперядра ${}^6\text{He}$ (измерения времени жизни и сечения образования).
6. Поиск гиперядра ${}^8\text{H}$ и изучение немезонного распада гиперядер ${}^{10}\text{Be}$ и ${}^{10}\text{B}$ и измерение кулоновской диссоциации of ${}^3\text{H}$.

В настоящее время магнитный спектрометр HyperNIS с современными детекторами и электроникой модернизирован, введен в эксплуатацию и готов к гиперядерным экспериментам с использованием выведенных пучков Нуклотрона. Представленная в Проекте экспериментальная программа вызывает большой научный интерес, запланированные результаты хорошо физически мотивированы. Коллаборация имеет большой экспериментальный опыт и четко сформулированные первоочередные задачи, имеющие приоритетный характер. Ресурсы, необходимые для проекта HyperNIS «Странность в нуклоне и ядрах» в 2019-2021 и 2022-2024 годах (тема 02-1-1086-2009 /2024), обоснованы. Я рекомендую поддержать и продлить эту работу с первым приоритетом и представить Проект на ПКК ОИЯИ.

Доктор физико-математических наук
Лаборатория физики высоких энергий
Объединенный институт ядерных исследований
e-mail: tokarev@jinr.ru



Токарев М.В.