

Рецензия на проект
HyperNIS — странность в нуклонах и ядрах
тема 02-1-1086-2009/2020

Рассматриваемый проект нацелен на изучение легких гиперядер. Предлагаемые эксперименты имеют две отличительные черты: i) гиперядра (ядра, которые кроме обычных нуклонов содержат странную Λ -частицу) образуются в ядро-ядерных столкновениях благодаря реакции (p, K^+) ; ii) возникшее гиперядро покидает мишень, пролетает некоторое расстояние и распадается. Это позволяет уверенно установить вид гиперфрагмента и его время жизни.

На первом этапе рассматриваемого проекта будут изучены реакции образования нескольких изотопов гиперводорода, ${}^7\text{Li} + \text{C} \rightarrow {}^{3,4,6}_{\Lambda}\text{H} + \dots$. Гиперядра ${}^3_{\Lambda}\text{H}$ и ${}^4_{\Lambda}\text{H}$ были обнаружены ранее в дубнинских экспериментах, и недавно их существование подтвердила коллаборация HyperHI в GSI (в реакции ${}^6\text{Li} + \text{C}$). Гиперядра ${}^3_{\Lambda}\text{H}$ и ${}^4_{\Lambda}\text{H}$ состоят из Λ -гиперона и стабильного ядерного кора, дейтрона и тритона, соответственно. У гиперядра ${}^6_{\Lambda}\text{H}$ нет такой стабильной сердцевины, и оно может существовать только, если присутствие Λ -частицы заметно увеличит энергию связи.

Несколько лет назад коллаборация FUNIDA, изучая реакцию $K_{\text{stop}}^- + {}^6\text{Li}$, нашла три события, которые указывали на образование гиперядра ${}^6_{\Lambda}\text{H}$ стабильного относительно вылета нейтронов. Затем коллаборация E10, работающая на ускорителе J-PARC в Японии, заявила, что в реакции ${}^6\text{Li}(\pi^-, K^+)_{\Lambda}\text{H}$ стабильное гиперядро ${}^6_{\Lambda}\text{H}$ не было обнаружено. Эксперименты, запланированные в данном проекте, будут чрезвычайно полезными для разрешения этой коллизии.

Измерение сечений образования в реакции ${}^7\text{Li} + \text{C}$ гиперядер ${}^3_{\Lambda}\text{H}$, ${}^4_{\Lambda}\text{H}$ и ${}^6_{\Lambda}\text{H}$ будут очень полезными для изучения как процессов рождения странных частиц в барион-барион столкновениях, происходящих внутри ядерного вещества, так и механизма ядерных реакций при энергиях в несколько ГэВ/нуклон. Измерение времени жизни и энергии связи гиперядер будет интересным, поскольку позволит оценить в какой мере странные частицы влияют на энергии связи (и сжимаемость) систем с большим избытком нейтронов.

Экспериментальное исследование спектров гамма-квантов, испущенных гиперядрами p -оболочки, показало, что Λ -гиперон очень быстро занимает нижайшее s -состояние в среднем поле ядра. Следовательно, основное состояние гиперядра ${}^6_{\Lambda}\text{H}$ может быть расщеплено в соответствии со значениями полного спина пары протон- Λ ($S = 0, 1$). Энергетическая щель между синглетным и триплетным состояниями может дать дополнительные сведения о зависящей от спина части гиперон-нуклонного взаимодействия при низких энергиях. Эта информация будет полезной для изучения уравнения состояния ядерного вещества, в котором возможно возникновение странных частиц.

Проект предусматривает несколько направлений дальнейшего развития. Например, время жизни ${}^6_{\Lambda}\text{He}$ до сих пор неизвестно, и изучение реакции ${}^6\text{Li} + \text{C} \rightarrow {}^6_{\Lambda}\text{He} + \dots \rightarrow {}^6\text{Li} + \pi^-$ поможет заполнить этот пробел. Интерес представляет также поиск более тяжелого гиперядра ${}^8_{\Lambda}\text{H}$.

В изотопах гиперводорода Λ -гиперон распадается из-за слабого взаимодействия на π^- и протон, поскольку конкурирующая мода распада $\Lambda \rightarrow \pi^0 + n$ подавлена в силу принципа Паули. В более тяжелых гиперядрах ($Z > 2$) процесс $\Lambda \rightarrow \pi^- + p$ также заблокирован принципом Паули, и происходит безмезонный слабый распад Λ , при котором Λ -гиперон слабо взаимодействует с одним или несколькими нуклонами. В литературе имеются по меньшей мере пять разных теоретических моделей, описывающих слабый безмезонный распад. Некоторое время назад Л. Майлинг показал, что даже неполный набор ширины α -распадов, сопровождающих слабый безмезонный распад гиперядер ${}_{\Lambda}^{10}\text{Be}$ и ${}_{\Lambda}^{10}\text{B}$, будет чрезвычайно полезным в выборе подходящей модели слабого ΛN -взаимодействия. Таким образом, эксперименты, планируемые как дальнейшее развитие проекта, являются очень значимыми.

Все вышеизложенное позволяет рассматривать проект "Странность в нуклонах и ядрах" как очень интересный, и настойчиво рекомендовать этот проект для осуществления в ОИЯИ с первым приоритетом.

В. А. Кузьмин

ведущий научный сотрудник,

лаборатория теоретической физики им. Н. Н. Боголюбова

адрес электронной почты: kuzmin@theor.jinr.ru


4 апреля 2018 г.

Рецензия на проект Странность в нуклоне и в ядрах (проект ГиперНИС)

Участие ОИЯИ в исследованиях гиперядер началось в далёком 1963 году, когда М.Подгорецкий предложил реакцию передачи странности в ядро-мишень без отдачи. Ввиду того, что положение Λ в ядре не ограничено принципом запрета Паули, гиперон служит своеобразным клеем, увеличивающим стабильность ядра. Изучение свойств нейтроноизбыточных гиперядер представляет большой интерес, прежде всего, для теории внутриядерных нуклон-нуклонных взаимодействий: нейтронного гало, ΛN -взаимодействий, включая $\Lambda N - \Sigma N$ и зависящее от спина взаимодействие ΛN и т.д. Кроме того, эти исследования интересны для астрофизики. Не раз обсуждалось, что гипероны в ядерном веществе высокой плотности играют значительную роль, определяя максимальную массу и тепловую и структурную эволюцию нейтронных звезд и черных дыр. Именно, при наличии гиперонов в нейтронной звезде уравнение состояния допускает большее сжатие ядерной материи чем без гиперонов.

Гиперядерная программа в Дубне была начата в 1988 году с исследования рождения и распада легких гиперядер. Было показано, что подход, при котором импульс гиперядер, образующихся в пучках релятивистских ионов, близок к импульсу пучковых ядер, оказался весьма эффективным для измерения времен жизни и сечений рождения. Релятивистское гиперядро, проходящее через детектор, дает дополнительные возможности изучения из-за более простого триггера, хорошей идентификации гиперядер и минимизации систематических ошибок. Особый интерес к этому исследованию обусловлен отсутствием достоверных данных о свойствах ${}^6_{\Lambda}H$ и противоречивых теоретических предсказаниях, которые сильно зависят от используемой теоретической модели. В этом же эксперименте будут изучаться времена жизни и сечения рождения гиперядер ${}^4_{\Lambda}H$ и ${}^3_{\Lambda}H$, которые могут быть использованы как «контрольные точки» для подтверждения образования и распада ${}^6_{\Lambda}H$.

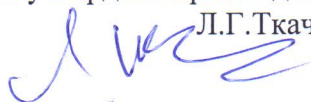
Спектрометр HyperNIS для поиска гиперядер с пучком 7Li содержит углеродную мишень, мониторы пучка, три типа триггерных счетчиков, вакуумный распадный объем длиной 55см, анализирующий магнит 0,6Т, четыре блока пропорциональных камер, которые являются основными трековыми детекторами, RPC-TOF, SciHe (сцинтилляционный счетчик для подтверждения регистрации дочерних ядер He). Оригинальный и очень чувствительный триггер на двухчастичный распад гиперядер с образованием отрицательного пиона является ключевым для этого подхода. В будущем на спектрометре будут добавлены две системы детекторов: волоконный сцинтилляционный детектор высокого разрешения обеспечит лучшие возможности для трекинга, а четыре Черенковских счетчика с кварцевым радиатором позволят повысить избирательность триггера.

Согласно Монте-Карло моделированию и экспериментальным тестам ожидаемое подавление фоновых событий на уровне 10^4 . Было бы интересно набрать данные с тяжелыми ионами (пучками C, Ar) при настройке триггера на регистрацию ${}^6_{\Lambda}H$ для экспериментальной оценки количества фальшивых ${}^6_{\Lambda}H$ гиперядерных событий, которые могут быть использованы для оценки систематических ошибок в измерении рождения гиперядер в пучке 7Li . Также необходимо более детальное моделирование и оценка систематических ошибок.

Изучение свойств самых легких гиперядер является актуальной темой ядерной физики и имеет большое научное значение. Пучки Нуклотрона являются подходящими для исследования таких задач. Сейчас в ОИЯИ есть сильная группа, которая включает более 25 ученых и инженеров для обеспечения настоящего и будущего (до 2023 года) участия ОИЯИ в этой важной области науки. Соотношение финансового запроса проекта и его научной программы вполне разумно.

Я рекомендую утвердить проект для реализации в ОИЯИ с первым приоритетом.

Л.Г.Ткачёв, канд. физ.-мат. наук



Referee report on the project

Strangeness in nucleon and nuclei The HyperNIS project

JINR activity with a hypernuclei investigation has begun many years ago since 1963 when the recoilless strangeness transfer method was suggested by M.Podgoretsky. Due to Λ location inside the nuclei does not limited by the Pauli principle it works as a sort of glue ensuring a nuclei stability. The study of properties of light neutron-rich hypernuclei is of great interest, first of all, to clarify the theory of the intranuclear nucleon-nucleon interactions: the neutron halo, ΛN interaction including $\Lambda N - \Sigma N$ conversion and the spin-dependent ΛN interaction etc. Besides, the knowledge, obtained from this study, will give a feedback to other fields like astrophysics: it has been discussed that hyperons in a high-density nuclear matter in neutron stars play a significant role concerning of its maximal mass and a thermal and structural evolution of neutron stars and black holes. Namely, the presence of hyperons in a neutron star makes the equation of state much softer than that without hyperons.

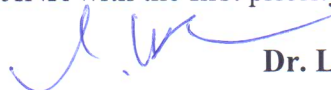
The present hypernuclear program in Dubna was started in 1988 with the investigation of production and decay of the light hypernuclei. It was shown that the approach, in which the momentum of hypernuclei produced in the beams of relativistic ions is close to the momentum of beam nuclei, was quite effective for measuring the lifetimes and production cross sections. The relativistic hypernucleus flies through the detector which provides additional opportunities due to simplified trigger conditions, good identification of hypernuclei and minimization of systematic errors. The special interest to this investigation is because of absence of reliable data on ${}^6_{\Lambda}\text{H}$ properties and theoretical predictions that are strongly depend on model and controversial. Simultaneously, the lifetimes and production cross sections of ${}^4_{\Lambda}\text{H}$ and ${}^3_{\Lambda}\text{H}$ will be studied in the same experiment. The ${}^4_{\Lambda}\text{H}$ and ${}^3_{\Lambda}\text{H}$ measurements can be used as "reference points" to confirm the production and decay of ${}^6_{\Lambda}\text{H}$.

The present HyperNIS spectrometer for search of ${}^6_{\Lambda}\text{H}$ hypernuclei with the ${}^7\text{Li}$ beam contains a carbon target, beam monitors, three types of trigger counters, vacuum decay vessel of 55 cm length, the analyzing magnet of 0.6T, four blocks of proportional chambers which are the main tracking detectors, RPC TOF stations, SciHe (Scintillation counter to confirm registration of He nuclei). The dedicated and very selective trigger on two body hypernuclei decays with negative pion was the key point of this approach. In the future two detector systems will be added to the spectrometer: a high resolution scintillating fiber detector will provide more sophisticated tracking capabilities and four Čerenkov counters with a quartz radiator will enhance the selectivity of the trigger.

Background events suppression is expected at the 10^4 level according to MC simulation and experimental tests. It would be interesting if the data will be taking with heavy ion beams (C, Ar) at Nuclotron with ${}^6_{\Lambda}\text{H}$ trigger cuts to provide an experimental evaluation of the number of fake ${}^6_{\Lambda}\text{H}$ hypernuclei events which may be used for a systematic error evaluation in the hypernuclei production with ${}^7\text{Li}$ beam. Naturally, more detailed MC simulation of systematic errors is necessary.

The study of properties of the lightest hypernuclei is actual, has high significance and the Nuclotron beam is suitable place to investigate these tasks. There is a strong group that includes more than 25 scientists and engineers to provide the present and future (up to 2023) of JINR activity in this important domain of the home JINR science. A ratio of the project financial request and its scientific program is quite reasonable.

I recommend to approve this project for realization at JINR with the first priority.



Dr. L. Tkachev