Изучение лёгких нейтронно-избыточных ядер в прямых реакциях

*Музалевский И.А., Безбах А.А., Худоба В., Фомичёв А.С., Григоренко Л.В., Горшков А.В., Крупко С.А., Никольский Е.Ю., Сидорчук С.И., Слепнёв Р.С., Тер-Акопян Г.М.*

Научный сотрудник, Ph.D.

Объединённый институт ядерных исследований, Дубна, Россия

E–mail: muzalevsky@jinr.ru

Одним из главных направлений современной ядерной физики является исследование нестабильных систем за пределами долины стабильности. Этот процесс преследует две основные цели: достижение границ стабильности и поиск границ существования ядерной структуры. Лёгкие экзотические ядра являются особым интригующим объектом таких исследований. Сверхтяжёлые изотопы водорода являются уникальными нейтроноизбыточными системами, характеризующиеся многотельными каналами распада. Кроме того, уже больше 60 лет учёные делают попытки ответить на вопрос существования нейтронной материи. Такие нестабильные системы были изучены в прямых реакциях передачи в двух экспериментах с использованием радиоактивного пучка 8He на фрагмент-сепараторе АКУЛИНА-2, ЛЯР ОИЯИ, Дубна. Основное внимание уделено сверхтяжёлым изотопам водорода: 7Н и 6Н. На протяжении более 50 лет эти изотопы являются одной из главных загадок ядерной физики и представляют повышенный интерес по целому ряду причин. Рекордно достижимое для ядер соотношение A/Z, наличие уникального пятительного распада с одновременным испусканием 4 нейтронов системой 7H. Исследование таких многотельных распадов – единственный способ получения экспериментальной информации о процессах одновременного захвата нескольких нуклонов, имеющее место в астрофизических объектах. Обнаружение 7Н открывает новые возможности исследования оболочечной динамики в условиях исключительного дефицита протонов. В 2018 и 2019 гг. на установке АКУЛИНА-2 были проведены два эксперимента с использованием пучка 8Не при энергии 26 МэВ/нуклон и криогенной мишени, наполненной газообразным дейтерием. Отличительной особенностью проведённых экспериментов было высокое энергетическое разрешение спектра недостающей массы ~1 МэВ, надежная идентификация канала реакции и измерение импульсного распределения тритонов из распада 7,6Н, использование референсного измерения с пучком 10Be при энергии 44 МэВ/нуклон для проверки экспериментальной методики, оценки разрешения, контроля калибровочных параметров в тех же механизмах реакции d-3He и d-4He. В работах [1,2] представлены результаты изучения основного и первого возбуждённого состояний 7Н, обнаруженных впервые на уровнях 2.2 и 6.5 МэВ над порогом распада 3H+4n. В результате исследований d-4He механизма, был обнаружен резонанс 6H при энергии 4.5 МэВ [5] и изучен его механизм распада через основное состояние 5H [3]. Заключительным результатом цикла работ является работа [4], в которой приведены доказательства заселения резонанса тетранейтрона в двух механизмах реакций передачи d(8He,6Li)4n и d(8He,3He)7H→3H+4n.

Полученные результаты являются важным вкладом как в области ядерных реакций, так и в астрофизике. Кроме описанных физических результатов обнаружения резонансных состояний сверхтяжёлых изотопов водорода и тетранейтрона, разработанные и использованные экспериментальные методики имеют не меньшую ценность и говорят о больших перспективах исследований в этом направлении на фрагмент сепараторе АКУЛИНА-2.

Литература

[1] A. A. Bezbakh, V. Chudoba, S. A. Krupko, S. G. Belogurov, D. Biare, A. S. Fomichev, E. M. Gazeeva, A. V. Gorshkov, L. V. Grigorenko, G. Kaminski, O. A. Kiselev, D. A. Kostyleva, M. Y. Kozlov, B. Mauyey, I. Mukha, I. A. Muzalevskii, E. Y. Nikolskii, Y. L. Parfenova, W. Piatek, A. M. Quynh, V. N. Schetinin, A. Serikov, S. I. Sidorchuk, P. G. Sharov, R. S. Slepnev, S. V. Stepantsov, A. Swiercz, P. Szymkiewicz, G. M. Ter-Akopian, R. Wolski, B. Zalewski, M. V. Zhukov, "Evidence for the First Excited State of 7H", Physical Review Letters, 2020, 124, 022502.

[2] I. A. Muzalevskii, A. A. Bezbakh, E. Yu. Nikolskii, V. Chudoba, S. A. Krupko, S. G. Belogurov, D. Biare, A. S. Fomichev, E. M. Gazeeva, A. V. Gorshkov, L. V. Grigorenko, G. Kaminski, O. Kiselev, D. A. Kostyleva, M. Yu. Kozlov, B. Mauyey, I. Mukha, Yu. L. Parfenova, W. Piatek, A. M. Quynh, V. N. Schetinin, A. Serikov, S. I. Sidorchuk, P. G. Sharov, N. B. Shulgina, R. S. Slepnev, S. V. Stepantsov, A. Swiercz, P. Szymkiewicz, G. M. Ter-Akopian, R. Wolski, B. Zalewski, and M. V. Zhukov. “Resonant states in 7H: Experimental studies of the 2H(8He,3He) reaction”. Physical Review C, 2021, 103:044313.

[3] I. A. Muzalevskii, A. A. Bezbakh, E. Y. Nikolskii, V. Chudoba, A. M. Abakumov, S. A. Krupko, S. G. Belogurov, D. Biare, A. S. Fomichev, E. M. Gazeeva, A. V. Gorshkov, L. V. Grigorenko, G. Kaminski, O. Kiselev, D. A. Kostyleva, B. Mauyey, I. Mukha, A. M. Quynh, S. I. Sidorchuk, N. B. Shulgina, R. S. Slepnev, A. Swiercz, G. M. Ter-Akopian, R. Wolski, M. V. Zhukov. “Interfering reaction channels observed in the 2H(8He,4He)6H reaction studies”. EPJ Web of Conferences, 2023, 290, 09001.

[4] I.A. Muzalevskii, N.B. Shulgina, S.G. Belogurov, A.A. Bezbakh, V. Chudoba, A.S. Fomichev, L.V. Grigorenko, A.V. Gorshkov, S.A. Krupko, E.Yu. Nikolskii, M. Khirk, S.I. Sidorchuk, P.G. Sharov, R.S. Slepnev, S.V. Stepantsov, G.M. Ter-Akopian. “Population of tetraneutron continuum in reactions of 8He on deuterium”. Submitted to Physics Letters B, 2024.

[5] E. Yu. Nikolskii, I. A. Muzalevskii, A. A. Bezbakh, V. Chudoba, S. A. Krupko, S. G. Belogurov, D. Biare, A. S. Fomichev, E. M. Gazeeva, A. V. Gorshkov, L. V. Grigorenko, G. Kaminski, M. Khirk, O. Kiselev, D. A. Kostyleva, M. Yu. Kozlov, B. Mauyey, I. Mukha, Yu. L. Parfenova, W. Piatek, A. M. Quynh, V. N. Schetinin, A. Serikov, S. I. Sidorchuk, P. G. Sharov, N. B. Shulgina, R. S. Slepnev, S. V. Stepantsov, A. Swiercz, P. Szymkiewicz, G. M. Ter-Akopian, R.Wolski, B. Zalewski, and M. V. Zhukov. “6H states studied in the 2H(8He,4He) reaction and evidence of an extremely correlated character of the 5H ground state”. Physical Review C, 2022. 105:064605.