

А. А. Зайцев, П. И. Зарубин

Наблюдение усиления в образовании ядер ${}^8\text{Be}$

В множественной фрагментации релятивистских ядер в ядерной эмульсии (ЯЭ) могут исследоваться внутренне нерелятивистские ансамбли ядер H и He [1, 2]. Наряду с уникальным по полноте и разрешению обзором событий метод ЯЭ позволяет реконструировать по инвариантной массе распады нестабильных α -частичных ядер ${}^8\text{Be} \rightarrow 2\alpha$, ${}^9\text{B} \rightarrow {}^8\text{Be}p$ и состояния Хойла $\text{HS} \rightarrow {}^8\text{Be}\alpha$. Такие распады происходят за время, на много порядков большее времени возникновения других фрагментов. Современный интерес к ${}^8\text{Be}$ и HS вызван успехом их описания как α -конденсата Бозе–Эйнштейна, в котором расстояние между составляющими α -частицами, находящимися в S -состоянии, сравнимо с диаметром тяжелого ядра. В качестве 4α -аналога HS рассматривается возбужденное состояние 0_6^+ ядра ${}^{16}\text{O}$ при 660 кэВ над 4α -порогом. Предполагается возможность возникновения конденсатов вплоть до 10α -частичного. Все эти соображения придают ${}^8\text{Be}$ роль сигнатуры при поиске более сложных ядерно-молекулярных структур. Экзотическая

структура HS и ${}^9\text{B}$ еще более расширяет возможности. Однако их статистическая обеспеченность заведомо ниже, чем ${}^8\text{Be}$. Поэтому ядро ${}^8\text{Be}$ — отправной пункт исследования механизмов возникновения α -частичных состояний.

Возможно, что нестабильные состояния, и прежде всего ${}^8\text{Be}$, присутствуют в структуре ядер или как-то возникают на их периферии, что и отражается в релятивистской фрагментации. Альтернатива состоит в образовании ${}^8\text{Be}$ при взаимодействии рожденных α -частиц и последующем подхвате сопровождающих α -частиц и нуклонов с испусканием необходимых γ -квантов или частиц отдачи. Ее следствием стало бы возрастание выхода ${}^8\text{Be}$ с множественностью α -частиц в событии, а возможно ${}^9\text{B}$ и HS, распадающихся через ${}^8\text{Be}$. Поэтому особый интерес представляет установление связи между образованием нестабильных состояний и множественностью сопровождающих α -частиц. На рис. 1 демонстрируется такой сценарий в системе отсчета фрагментирующего ядра: сближение ядер (a),

A. A. Zaitsev, P. I. Zarubin

Observation of Enhancement in ${}^8\text{Be}$ Nucleus Production

In the multiple fragmentation of relativistic nuclei in the nuclear track emulsion (NTE), internally non-relativistic ensembles of H and He nuclei can be studied [1, 2]. Along with a review of events that is unique in terms of completeness and resolution, the NTE method makes it possible to reconstruct the decays of unstable α -particle nuclei ${}^8\text{Be} \rightarrow 2\alpha$, ${}^9\text{B} \rightarrow {}^8\text{Be}p$ and the Hoyle state $\text{HS} \rightarrow {}^8\text{Be}\alpha$ from the invariant mass. Such decays occur over times many orders of magnitude longer than the occurrence of other fragments. The current interest in ${}^8\text{Be}$ and HS is due to the success of their description as a Bose–Einstein α condensate, in which the distance between the constituent α particles in the S state is comparable to the diameter of a heavy nucleus. The excited state 0_6^+ of the ${}^{16}\text{O}$ nucleus at 660 keV above the 4α threshold is considered as

the HS 4α analogue. The possibility of condensates up to 10α -particle is assumed. All these considerations give ${}^8\text{Be}$ the role of a signature in the search for more complex nuclear-molecular structures. The exotic structure of HS and ${}^9\text{B}$ further enhances capabilities. However, their statistical security is deliberately lower than that of ${}^8\text{Be}$. Therefore, the ${}^8\text{Be}$ nucleus is the starting point for studying the mechanisms of the appearance of α -particle states.

It is possible that the unstable states, and first of all ${}^8\text{Be}$, are present in the structure of nuclei or somehow arise at their periphery, which is reflected in relativistic fragmentation. An alternative consists in the formation of ${}^8\text{Be}$ during the interaction of produced α particles and the subsequent pickup of accompanying α particles and nucleons with the emission of the necessary γ quanta or recoil par-

передача возбуждения исследуемому ядру (b), переход в систему, содержащую реальные легчайшие ядра и нуклоны (c), ее распад (d), слипание и подхват части фрагментов в нестабильные состояния (e).

Недавно опубликованные результаты обзорного анализа взаимодействий релятивистских ядер ^{16}O , ^{22}Ne , ^{28}Si и ^{197}Au [3] указывают на быстрый рост вероятности присутствия распада ^8Be с ростом числа

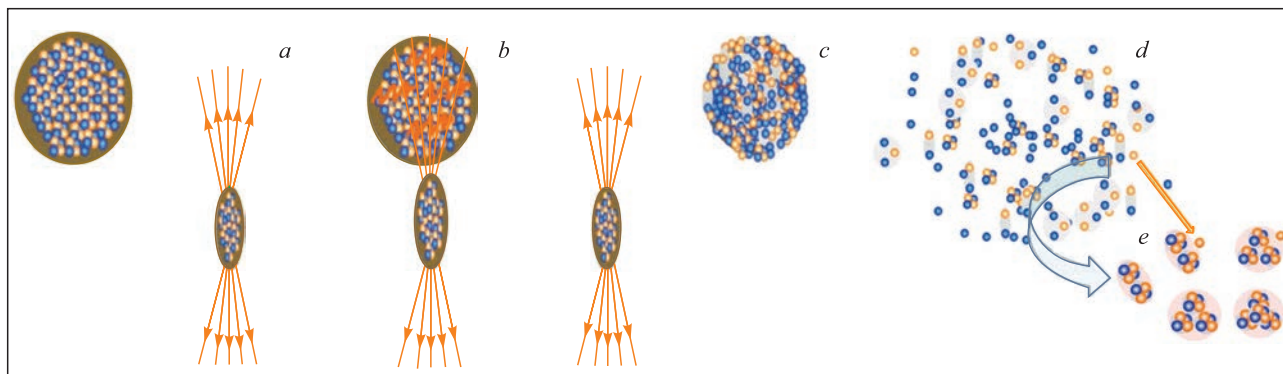


Рис. 1. Сценарий образования фрагментов и нестабильных состояний

Fig. 1. Scenario of fragment and unstable state formation

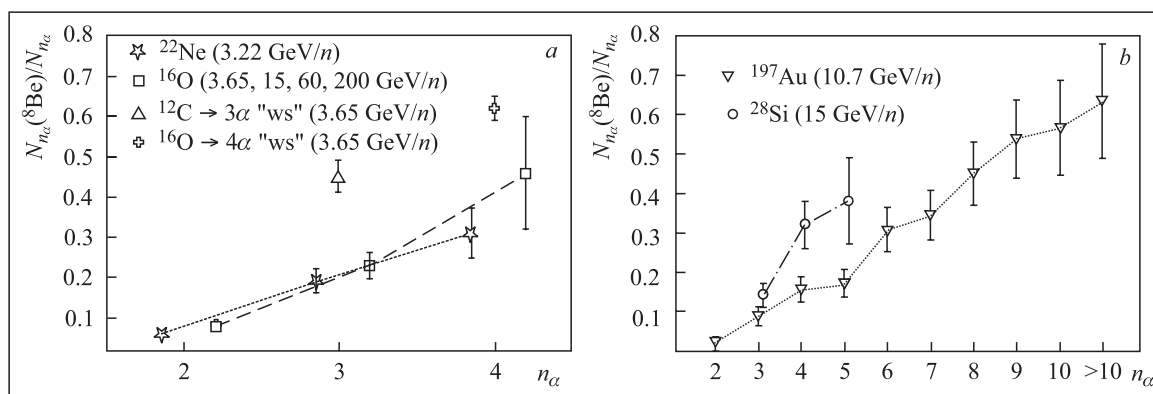


Рис. 2. Зависимость относительного вклада распадов $N_{n_\alpha}(^8\text{Be})$ в статистику N_{n_α} событий с множественностью α -частиц n_α в релятивистской фрагментации ядер C, O, Ne (a), Si и Au (b); отмечены «белые» звезды $^{12}\text{C} \rightarrow 3\alpha$ и $^{16}\text{O} \rightarrow 4\alpha$ (ws); для удобства точки несколько смещены от значений n_α и соединены пунктирной линией

Fig. 2. Dependence of relative contribution of $N_{n_\alpha}(^8\text{Be})$ decays to statistics of N_{n_α} events with a multiplicity of α particles n_α in the relativistic fragmentation of nuclei C, O, Ne (a), Si and Au (b); “white” stars $^{12}\text{C} \rightarrow 3\alpha$ and $^{16}\text{O} \rightarrow 4\alpha$ are marked (ws); for convenience, the points are slightly shifted from the values of n_α and are connected by a dotted line

ticles. Its consequence would be an increase in the yield of ^8Be with a multiplicity of α particles in the event, and possibly ^9B and HS decaying through ^8Be . Therefore, it is of particular interest to establish a connection between the formation of the unstable states and the multiplicity of accompanying α particles. Figure 1 demonstrates such a scenario in the reference frame of a fragmenting nucleus: the approach of nuclei (a), transfer of excitation to the nucleus under study (b), transition to a system containing real lightest nuclei and nucleons (c), its decay (d), adhesion and pickup of some of the fragments into unstable states (e).

The recently published results of a survey analysis of the interactions of relativistic nuclei ^{16}O , ^{22}Ne , ^{28}Si , and ^{197}Au [3] indicate a rapid increase in the probability of the

presence of ^8Be decay with an increase in the number of relativistic α particles in an event (Fig. 2). In the case of the ^{197}Au nucleus, the growth trend was traced to at least 10 α particles. The ^9B and Hoyle state contributions also grow, remaining proportional to ^8Be . An explanation of these observations requires taking into account the interactions of the produced α particles of the relativistic fragmentation of nuclei. They point to the intriguing possibility of reactions of synthesis of unstable states between α particles inside the relativistic jets of nuclear fragmentation. In the BECQUEREL experiment, the search and measurement of interactions of ^{84}Kr nuclei at 950 MeV per nucleon with a high multiplicity of α particles are continued, which allows us to hope for new findings.

релятивистских α -частиц в событии (рис. 2). В случае ядра ^{197}Au тенденция роста прослежена не менее чем до 10 α -частиц. Вклады ^9B и состояния Хойла также растут, оставаясь пропорциональными ^8Be . Объяснение этих наблюдений требует учета взаимодействий рожденных α -частиц в релятивистской фрагментации ядер. Они указывают на интригующую возможность протекания реакций синтеза нестабильных состояний между α -частицами внутри релятивистских струй фрагментации ядер. В эксперименте BECQUEREL продолжен поиск и измерения взаимодействий ядер ^{84}Kr при энергии 950 МэВ на нуклон с высокой множественностью α -частиц, что позволяет нам надеяться на новые находки.

Список литературы / References

1. Zarubin P. I. // Lect. Notes Phys. 2013. V.875. P.51. Springer Int. Publ.; arXiv: 1309.4881.
2. Artemenkov D.A., Bradnova V., Chernyavsky M.M., Firu E., Haiduc M., Kornegrutsa N.K., Malakhov A.I., Mitsova E., Neagu A., Peresadko N.G., Rusakova V.V., Stanoeva R., Zaitsev A.A., Zarubin P.I., Zarubina I.G. // Eur. Phys. J. A. 2020. V. 56. P. 250; arXiv: 2004.10277.
3. Zaitsev A.A., Artemenkov D.A., Glagolev V.V., Chernyavsky M.M., Peresadko N.G., Rusakova V.V., Zarubin P.I. // Phys. Lett. B. 2021. V.820. P.136260; arXiv: 2102.09541.

55-я сессия Программно-консультативного комитета по физике частиц состоялась 21–22 июня в формате видеоконференции под председательством профессора И. Церруи.

Директор ОИЯИ Г.В. Трубников и председатель ПКК отдали дань уважения профессору Ж. Клеймансу (ЮАР), члену ПКК с 2010 г., трагически погибшему 22 февраля 2021 г. Участники сессии почтили память Ж. Клейманса минутой молчания.

Председатель ПКК представил обзор выполнения рекомендаций, принятых на предыдущей сессии, а также проинформировал членов ПКК о резолюции 129-й сессии Ученого совета ОИЯИ.

ПКК с интересом заслушал доклад вице-директора ОИЯИ В.Д. Кекелидзе о текущей деятельности Института, решениях сессии Ученого совета и КПП и о создании новых управленческих структур, направленных на консолидацию интеллектуальных, материальных и кадровых ресурсов в соответствии с приоритетами Семилетнего плана.

ПКК принял к сведению отчет о ходе реализации проекта нуклотрон–NICA, представленный А.О. Сидориным, одобрил завершение сооружения канала транспортировки пучка от бустера к нуклотрону и планы на второй сеанс работы бустера в 2021 г., а также с удовлетворением отметил, что задержка с завершением строительных работ в здании № 17 не влияет на запланированное время запуска коллайдера NICA.

Заслушав отчет Н.Н. Агапова о развитии инфраструктуры ЛФВЭ, включая установку нуклотрон, ПКК оценил значительный прогресс, достигнутый при вводе в эксплуатацию электрических подстанций, подготовке центральной криогенной установки, размещении оборудования в новом компрессорном здании и вводе в эксплуатацию основных новых зданий.

The 55th meeting of the Programme Advisory Committee for Particle Physics took place on 21–22 June via videoconference. It was chaired by Professor I. Tseruya.

At the opening of the meeting, the JINR Director, G. Trubnikov, and the Chair of the PAC for Particle Physics, payed tribute to the memory of Prof. Jean Cleymans, member of the PAC since 2010, who passed away in a tragic accident on 22 February 2021. A minute of silence was observed by all meeting participants.

The Chair of the PAC presented an overview of the recommendations taken at the previous meeting and highlighted the Resolution of the 129th session of the JINR Scientific Council relevant to the PAC for Particle Physics.

The PAC heard with interest the report presented by the JINR Vice-Director, V. Kekelidze, on the ongoing activities in the Institute, the Resolution of the Scientific Council, the decisions of the Committee of Plenipotentiaries, and the development of new managerial structures aimed at the consolidation of intellectual, material and human resources in accordance with the priorities of the Seven-Year Plan.

The progress report on the realization of the Nuclotron–NICA project was presented by A. Sidorin. The PAC noted with satisfaction the confirmation of the completion of the installation of the beam transport channel from the Booster to the Nuclotron and the plans for the second Booster run in 2021. The PAC was pleased to note that, in spite of the delay in completing the civil work in the collider building 17, the target time for launching the NICA collider is unaffected.