

*A. С. Фомичев, Л. В. Григоренко, С. А. Крупко,  
С. В. Степанцов, Г. М. Тер-Акопьян*

## Проект ACCULINNA-2: физический аспект и технические решения

Одним из основных направлений развития современной ядерно-физической аппаратуры является создание так называемых фабрик радиоактивных пучков (на рисунке слева), предназначенных для изучения ядерных систем, удаленных от «долины стабильности». К числу основных целей таких исследований относится достижение границ ядерной стабильности и продвижение дальше за их пределы, насколько это возможно.

До недавнего времени единственным полноценно работающим комплексом RIB в странах-участниках ОИЯИ был фрагмент-сепаратор ACCULINNA в Лаборатории ядерных реакций им. Г.Н.Флерова [1]. Научные результаты, полученные на этом комплексе, вдохновили на создание нового, более мощного фрагмент-сепаратора ACCULINNA-2 [2, 3]. Эта установка была построена недавно в сотрудничестве с французской компанией SIGMAPHI. Сепаратор с необходимым дополнительным оборудованием (производящая

мишень в F1, подвижные щели в F2, спектрометр нулевых углов в F5, системы мониторинга пучка, вакуума и др.) установлен на линии первичного пучка циклотрона У-400М (на рисунке справа). Тестовые испытания, проведенные в 2017 г., показали, что характеристики радиоактивных пучков на установке ACCULINNA-2 идеально соответствуют расчетным проектным значениям. Как результат, в 2018 г. были проведены первые полноценные эксперименты с радиоактивными пучками.

Основными техническими требованиями к установке ACCULINNA-2 являются хорошее энергетическое разрешение и высокая эффективность корреляционных измерений продуктов реакции. Это, в совокупности с выбором определенных реакций и заданием конкретных кинематических условий, может обеспечить идентификацию спин-четности в спектрах возбуждения изучаемых экзотических ядер. Именно в этом случае относительно невысокая энергия вто-

*A. S. Fomichev, L. V. Grigorenko, S. A. Krupko,  
S. V. Stepantsov, G. M. Ter-Akopian*

## The ACCULINNA-2 Project: The Physics Case and Technical Challenges

One of the main trends in the modern nuclear-physics instrumentation consists in the construction of the so-called radioactive ion beam (RIB) “factories” (figure, left panel) made for the study of nuclear systems away from the “stability valley”. Among the principal goals of such research is the trend to achieve the nuclear driplines and move further beyond the driplines as far as possible. Until recently the only fully working RIB facility in the Member States of JINR was the fragment separator ACCULINNA at the Flerov Laboratory of Nuclear Reactions [1]. The scientific yield made with this facility inspired the construction of a new more powerful fragment separator ACCULINNA-2 [2, 3]. This facility was built recently in collaboration with the French company SIGMAPHI. The separator and the supplementary equipment (production target at F1, movable slits at F2, zero-angle spectrometer at F5, vacuum and beam control systems, etc.) are installed at the primary beam line of the U-400M cyclotron (figure,

right panel). Test runs performed in 2017 showed that the characteristics of the RIBs delivered by ACCULINNA-2 match perfectly the goals of the initial design. As a result, in 2018 first full-featured experiments with radioactive beams were performed.

The prime objectives of ACCULINNA-2 are to provide a good energy resolution for the beams of radioactive nuclei and high efficiency for the correlation measurements of reaction products. The latter, combined with the selection of certain reactions and the choice of specific kinematical conditions, could provide the spin-parity identification made for the excitation spectra of the studied exotic nuclei. In that case, the relatively low-energy secondary beams will give unique position for ACCULINNA-2 among the other fragment separators. So far, the energies in a range of 10÷40 MeV/nucleon are not so easily available at other large-scale in-flight RIB separators.

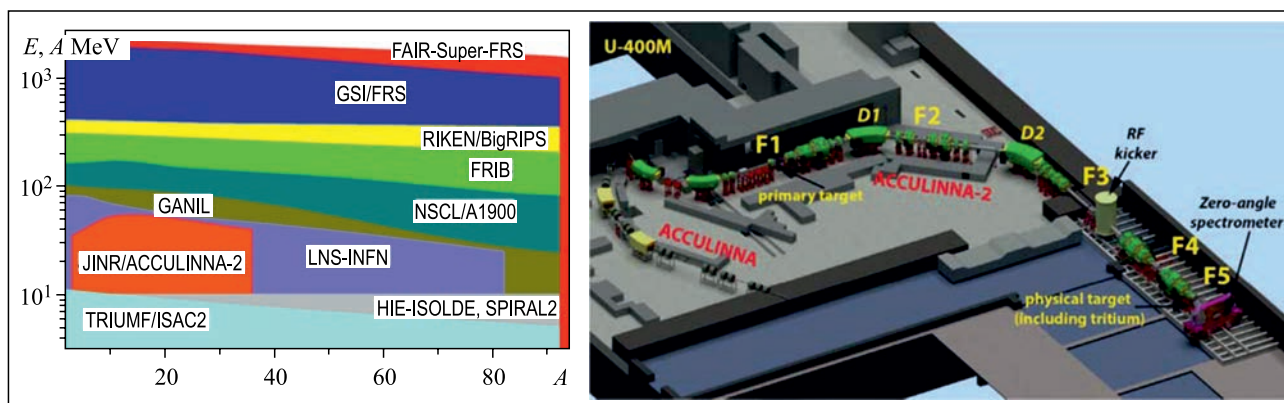
ричных пучков сепаратора ACCULINNA-2 будет обеспечивать его уникальность среди других мировых установок. В настоящее время энергии радиоактивных пучков в диапазоне 10–40 МэВ/нуклон достаточно сложно достижимы для крупномасштабных in-flight сепараторов.

Проектные параметры и научная программа для комплекса ACCULINNA-2@U-400M были изложены в недавней обзорной работе [3]. Было показано, что полученные интенсивности радиоактивных пучков в конечной фокальной плоскости сепаратора, отсутствие в пучках нежелательных примесей и поперечные размеры пучков, попадающих на физическую мишень, хорошо согласуются с ожидаемыми значениями (например, получаемыми с использованием

кодов INTENSITY, TRANSPORT и MOCADI). Новый фрагмент-сепаратор ACCULINNA-2 станет основой в ЛЯР ОИЯИ для исследований легких экзотических ядер, находящихся вблизи границ ядерной стабильности. В обзоре [3] описывается первоочередная экспериментальная программа исследований с радиоактивными пучками на новой установке. В частности, предложены первые эксперименты по изучению экзотических систем  ${}^7\text{H}$ ,  ${}^{17}\text{Ne}$ ,  ${}^{26}\text{O}$ ,  ${}^{26}\text{S}$  и их возможных схем распада с испусканием  $2p$ ,  $2n$  и даже  $4n$ , которые находятся в сфере интересов исследований группы ACCULINNA-2.

Эта работа была частично поддержана Российским научным фондом, грант № 17-12-01367.

Слева: мировые фабрики радиоактивных пучков, показаны возможные энергетические диапазоны в зависимости от атомного номера. Справа: схема фрагмент-сепаратора ACCULINNA-2 на линии первичного пучка ускорителя У-400М



Worldwide RIB facilities on the diagram where the available RIB energy ranges vs. their atomic number are shown (left panel) and the layout of ACCULINNA-2 fragment separator at the primary beam line of the U-400M cyclotron (right panel)

The design parameters and the first-priority experimental program for the ACCULINNA-2@U-400M facility have been specified in the recent review paper [3]. It was shown that the RIB intensities obtained at the exit of the separator, the beam purities and transverse profiles of RIBs hitting the physics target are in good agreement with expected values (for instance, given by INTENSITY, TRANSPORT and MOCADI codes). The new ACCULINNA-2 separator will be a basis at FLNR JINR for research made in the fields of light exotic nuclei near the nucleon stability borders. The first-priority experimental program with RIBs for the new facility is outlined in [3]. In particular, the first experiments proposed for the study of  ${}^7\text{H}$ ,  ${}^{17}\text{Ne}$ ,  ${}^{26}\text{O}$ ,  ${}^{26}\text{S}$  nuclides and their possible decay schemes proceeding via the  $2p$ ,  $2n$  and even  $4n$  emission are in the sphere of interest of the ACCULINNA-2 group.

This work was partly supported by the Russian Science Foundation, grant No. 17-12-01367.

### Список литературы / References

1. <http://aculina.jinr.ru/>
2. Grigorenko L. V. et al. Studies of Light Exotic Nuclei in Vicinity of Neutron and Proton Drip-Lines at FLNR JINR // Phys. Usp. 2016. V. 59. P. 321.
3. Fomichev A. S. et al. The ACCULINNA-2 Project: The Physics Case and Technical Challenges // Eur. Phys. J. A. 2018. V. 54. P. 97.