**Важнейшие достижения Института ядерных исследований Российской академии наук во 2 квартале 2021 года**

Сотрудниками Института во втором квартале опубликовано 227 научных статей в высокорейтинговых журналах и сборниках докладов на международных конференциях. Наиболее важные достижения перечислены ниже

***Регистрация двенадцати ранее неизвестных источников в нашей Галактике, в том числе с энергиями гамма-квантов выше 1 ПэВ - ПэВатронов.***

Международный высокогорный эксперимент Large High Altitude Air Shower Observatory (LHAASO), создаваемый в КНР и имеющий недостижимую ранее светосилу для регистрации астрофизических гамма-квантов сверх высоких энергий, зарегистрировал 12 ранее неизвестных источников в нашей Галактике, в том числе с энергиями гамма-квантов выше 1 ПэВ - ПэВатронов.

17 мая была опубликована статья об этом в журнале Nature. Как показано на рисунке, все найденные источники расположены в плоскости галактики.



Полученный в работе результат открывает новую эру не только в гамма-астрономии сверх высоких энергий, но и в физике космических лучей сверх высоких энергий и их астрофизических источников, поскольку установка LHAASO не просто регистрирует гамма-кванты, но и указывает с величайшей точностью направление их прихода на Землю. Это позволит в дальнейшем однозначно установить их источники и механизм ускорения космических лучей в астрофизических объектах.

Кроме того, проведено всесторонне исследование гамма-излучения сверх высоких энергий от пульсара в Крабовидной туманности. Измерен энергетический спектр гамма-квантов, источник которых совпадает с положением пульсара. Проведено сравнение с существующими моделями ускорения. Статья на ту тему принята в печать журналом Science и будет опубликована в июле с.г.

Публикации:

1. Cao, Z., Aharonian, F.A., An, Q. et al. (Coll. LHAASO). Ultrahigh-energy photons up to 1.4 petaelectronvolts from 12 γ-ray Galactic sources. Nature 594, 33–36 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03498-z>
2. The LHAASO Collaboration. PeV γ-rays from the Crab. Science, (2021) in press.

Координатор: Стенькин Юрий Васильевич

тел: +7 (916)389-09-06

эл.почта: stenkin@sci.lebedev.ru

***Установка детектора FIT - важный этап модернизации эксперимента ALICE на ольшом адронном коллайдере в ЦЕРНе.***

21 июня 2021 завершена работа по установке южного плеча детекторной системы FIT в шахту эксперимента ALICE на Большом адронном коллайдере (LHC) в ЦЕРНе. 300-килограммовый диск триггера быстрого взаимодействия (FIT) теперь закреплен внутри магнита L3 ALICE (рис.1). Это завершающий этап установки новых детекторов модернизированной установки ALICE. Работа по установке детекторной системы FIT началась в декабре 2020 года с установки северного плеча детектора FIT.

В рамках программы модернизации детекторных систем установки ALICE на Большом адронном коллайдере разработан гибридный триггерный детектор FIT (Fast Interaction Trigger), состоящий из трех подсистем (FT0, FV0, FDD) с различной технологией регистрации частиц. Самый быстрый элемент FIT - это детектор FT0. Ожидаемое разрешение по времени для событий с большой множественностью при столкновении тяжелых ионов составляет около 7 пс, что соответствует одному из самых быстрых детекторов в экспериментах по физике высоких энергий. FT0 был разработан и построен в ИЯИ РАН при участии МИФИ, Финляндии, Дании, США и Польши. Самый большой из компонентов FIT — это детектор FV0. Сегментированный сцинтиллятор диаметром 1,5 м с новой схемой сбора света. Данные детекторы являются одними из ключевых компонентов экспериментальной установки ALICE и предназначены для идентификации частиц, определения центральности ядро-ядерных столкновений, плоскости реакции. C помощью FIT будет измеряться светимость коллайдера в режиме он-лайн в ходе третьего и четвёртого сеансов его работы в 2022–2029 годах.

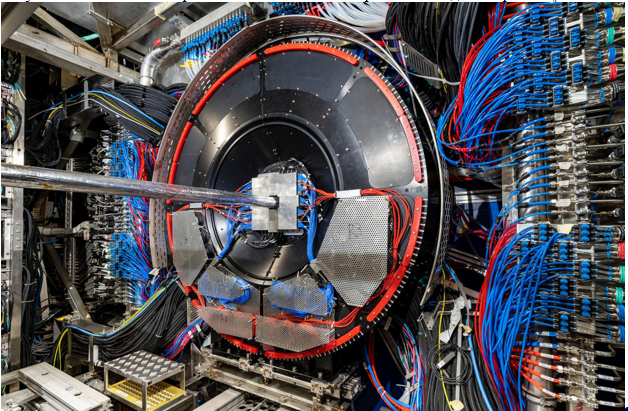


Рис. 1. Диск сцинтилляционного детектора FV0 с черенковким детектором FT0-A в центре в шахте эксперимента ALICE, LHC.

Целью эксперимента ALICE является исследование свойств кварк-глюонной материи, состоящей из свободных кварков и глюонов, в которую переходит ядерная материя, в условиях высокой температуры и плотности энергии. Исследования кварк-глюонной материи представляют передовую область физики высоких энергий. Они направлены на решение фундаментальной научной задачи современной физики – объяснить структуру, происхождение и эволюцию барионной материи Вселенной.

Координатор: Каравичева Татьяна Львовна

тел: +7 (903)798-71-56

эл.почта: [tatiana@inr.ru](mailto:tatiana@inr.ru)

***В лаборатории радиоизотопного комплекса ИЯИ РАН создан прототип 225Ac/213Bi генератора, работающий по циркулирующей схеме и позволяющий в ближайшее время обеспечить ядерную медицину в России и за рубежом эффективным средством для терапии различных онкологических заболеваний***

Генераторы медицинских радионуклидов успешно применяются в ядерной медицине. Один из них – 225Ac/213Bi генератор, перспективен для терапии различных онкологических заболеваний. Широкому использованию 225Ac/213Bi генераторов в медицинской практике препятствует дефицит материнского 225Ac, получаемого в основном генераторным способом из 229Th. В ИЯИ РАН разработан и запатентован способ получения 225Ac облучением природного тория протонами средних энергий, позволяющий за 7-10 дней нарабатывать столько же 225Ac, сколько его производят из 229Th за год.

Основным недостатком нового способа является наличие изотопной примеси долгоживущего 227Ac (0.1-0.2% на момент окончания облучения), поэтому генератор, использующий в качестве материнского радионуклида 225Ac с примесью 227Ac, должен гарантировать получение 213Bi с низким содержанием как изотопов актиния, так и продуктов распада 227Ac, главным образом, 223Ra. Прототип такого генератора, работающий по циркулирующей схеме, создан в лаборатории радиоизотопного комплекса ИЯИ РАН (*рис. 1*).

|  |  |
| --- | --- |
| 4  2  1  3  4  4 |  |
| **Рисунок 1.** Схема (слева) и фото (справа) лабораторного 225Ас/213Bi генератора «Afrabis».  1 – хроматографическая колонка с материнским 225Ac, 2 – хроматографическая колонка для накопления 213Bi, 3 – перистальтический насос, 4 – трехходовой кран. | |

Разработанный 225Ac/213Bi генератор состоит из двух колонок. Колонка (1), заполненная экстракционно-хроматографическим сорбентом Actinide Resin (TrisKem Int., France) с экстрагентом ди(2-этилгексил) метандифосфоновой кислотой, содержит материнский 225Ac с примесью 227Ac. Колонка (2) заполнена катионообменной смолой AG MP-50 (Bio-Rad, USA) и предназначена для концентрирования 213Bi. Обе колонки через трехходовые краны (4) соединены в контур, движение раствора по которому осуществляется с помощью перистальтического насоса (3). Процедура получения 213Bi проходит в три стадии:

1. На первой предварительной стадии колонку (1) отмывают от накопившейся примеси 223Ra небольшим объемом 0.25 M раствора HNO3.

2. На второй стадии в режиме замкнутого контура происходит непрерывное отделение от 225Ac промежуточного дочернего радионуклида 221Fr в течение 4 часов. Параметры хроматографической системы подобраны таким образом, что за время движения по колонке (2) большая часть 221Fr распадается в 213Bi, удерживаемый на этой колонке. Нераспавшаяся часть 221Fr поступает в колонку (1), где объединяется с новой порцией 221Fr, образующегося из 225Ac. В результате циркуляции система приходит в состояние, в котором 213Bi находится в радиоактивном равновесии с 225Ac, но пространственно от него отделен.

3. На третьей стадии 213Bi извлекают из колонки (2) в 0.5-1 мл раствора 0.1 M HCl / 0.1 M KI.

Конструкция генератора компактна и технологична. Концентрирование целевого радионуклида на колонке (2), отдельно от материнского, позволяет проводить десорбцию 213Bi любым удобным комплексообразователем или хелатором, что было продемонстрировано на примере растворов ДОТА и ДТПА. Перспективным является прямая десорбция 213Bi с помощью раствора конъюгата (белок+хелатор), в этом случае мечение коньюгата происходит прямо на колонке (2) генератора, что значительно уменьшает время, затрачиваемое на получение радиофармацевтического препарата.

Сравнительные испытания показали, что по стабильности и эффективности получения 213Bi он не уступает наиболее распространенному сейчас одноколоночному генератору на основе AG MP-50 (JRC, Joint Research Centre of the European Commission (former Institute for Transuranium Elements) Karlsruhe, Germany), который используют в большинстве клинических исследований с 213Bi, а по радионуклидной чистоте 213Bi – значительно превосходит немецкий аналог:

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 225Ac/213Bi генератор | Эффективность элюирования 213Bi, % (0.5 мл элюата) | Примесь (0.5 мл элюата), % | | | |
| 225Ac | 227Ac | 227Th | 223Ra |
| “Afrabis” | 73 ± 2 | <10−6 | <10−8 | <10−6 | <10−6 |
| JRC (Karlsruhe, Germany) | 67 ± 2  76 ± 3 \* | <3.5·10−5  2·10−5 \* | <10−6 | <10−6 | 10−4 – 10−3 |

\* - опубликованные данные для 0.6 мл элюата (Morgenstern, A.; Bruchertseifer, F.; Apostolidis, C. Bismuth-213 and actinium-225–generator performance and evolving therapeutic applications of two generator-derived alpha-emitting radioisotopes. Curr. Radiopharm. 2012, 5, 221–227)

Публикация:

1.Ermolaev, S.; Skasyrskaya, A.; Vasiliev, A. A Radionuclide Generator of High-Purity Bi-213 for Instant Labeling. *Pharmaceutics* **2021**, *13*, 914. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics13060914>.

Координатор: Жуйков Борис Леонидович

тел: +7 (903) 797-78-71

эл.почта: bz@inr.ru