

Статус и перспективы радиохимических исследований в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ

Докладчик: Аягоз Баймуханова, научный сотрудник, ayagoz@jinr.ru

В докладе представлены результаты радиохимических исследований Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ (ЛЯП ОИЯИ) в области ядерной медицины и астрофизики. Очевидны актуальность и ценность использования радионуклидов для ядерной медицины, а также важность нейтринных исследований и экспериментов по поиску темной материи. Будут освещены разработанные методы производства радиопрепаратов для спектрометрических и аналитических исследований, а также для синтеза радиофармпрепаратов (РФП).

Основным радиохимическим методом выделения широкого круга радионуклидов и их разделения является разработанная прямоточная схема, состоящая из нескольких связанных этапов на основе хроматографических колонок: 1) выделение микроколичества радионуклидов из макроколичеств материала мишени; 2) разделение элементов-аналогов; 3) кондиционирование. Соответствующие методики разработаны для выделения ряда радионуклидов: Ac, Ra и других продуктов расщепления из мишени Th^{1,2}, Sc из мишени Ca³, лантаноидов из мишени Ta⁴, Nb из мишеней Mo и Zr⁵ и других. Предложен и разработан альтернативный метод получения радионуклидов на основе радионуклидного генератора новых типов – реверсной и реверсно-тандемной схемы организации разделения. Методики разработаны для пар радионуклидов: ⁴⁴Ti (T_{1/2} = 59,1 л) / ⁴⁴Sc (T_{1/2} = 4,042 ч)⁶, ⁹⁰Sr (T_{1/2} = 28,91 л) / ⁹⁰Y (T_{1/2} = 64,05 ч)⁷, ¹⁷²Hf (T_{1/2} = 1,87 л) / ¹⁷²Lu (T_{1/2} = 6,7 д)⁸ и других.

Необходимо также отметить традиционное направление изготовления радионуклидных источников для классической ядерной спектроскопии. Было изготовлено большое количество источников для альфа-, бета-, гамма-спектроскопии, с помощью которых получен значительный объём экспериментальных данных. В качестве примера можно привести радионуклидные источники для низкоэнергетической электронной спектроскопии на установке ESA-50, которые позволили достигнуть энергетического разрешения в несколько эВ⁹.

В докладе также рассмотрены методы получения низкофоновых материалов с ультранизким содержанием примесей для поиска редких процессов и для технической поддержки низкофоновых экспериментов. Основой способа получения ультрачистых образцов является хроматографическое разделение с противоточным удалением примесей, а также использование и подготовка ультрачистых реактивов на основе

легколетучих жидкостей. Яркий пример – получение килограммовых количеств обогащенного ^{82}Se ($T_{1/2} = 9,6 \cdot 10^{19}$ л) в высокодисперсной элементной форме с содержанием примесей на уровне порядка десятков $\mu\text{Бк/кг}$ для поиска безнейтринной моды двойного бета-распада^{10,11}.

Кроме этого, в докладе обсуждаются методы анализа РФП и их прекурсоров, а также чистоты полученных радиопрепаратов и низкофоновых материалов. Исследования локального окружения нуклидов проводились с помощью методов сверхтонких взаимодействий (метода возмущенных угловых корреляций (ВУК)) и радиоактивных индикаторов. Радионуклидная чистота и химическая чистота – обе на уникально высоком уровне чувствительности – определялись масс-спектрометрией с индуктивно-связанной плазмой (МС-ИСП), инструментальным нейтронно-активационным анализом (ИНАА) и гамма-спектрометрией в подземной лаборатории^{12,13}.

В ближайшее время в ЛЯП ОИЯИ планируется ввести в эксплуатацию две новые базовые установки: ускоритель электронов LINAC-200/800 и работающий с ним в тандеме спектрометрический кластер. Кроме этого, планируется завершение ремонта радиохимического крыла НЭОЯСиРХ и ввод в эксплуатацию специализированных радиохимических помещений (2 и 3 классов) и «чистых химических» лабораторий. Расширяются радиохимические исследования за счет новых направлений: МС-ИСП для определения ультранизких концентраций веществ, прежде всего радиоактивных Th, U и K; эмиссионной моды мессбауэровской спектроскопии для исследования постэффектов радиоактивного распада в твердом теле и автордиолиза РФП (^{119}Sb ($T_{1/2} = 38,19$ ч), ^{161}Tb ($T_{1/2} = 6,89$ д), ^{57}Co ($T_{1/2} = 271,74$ д), $^{119\text{m}}\text{Sn}$ ($T_{1/2} = 293,1$ д) и т. д.); усовершенствованного метода ВУК для изучения поведения РФП (^{111}In ($T_{1/2} = 2,8047$ д), ^{152}Eu ($T_{1/2} = 13,517$ л), ^{154}Eu ($T_{1/2} = 8,601$ л), ^{172}Lu ($T_{1/2} = 6,7$ д) и т. д.) и твердого тела с изомерами ($^{111\text{m}}\text{Cd}$ ($T_{1/2} = 48,5$ мин), $^{199\text{m}}\text{Hg}$ ($T_{1/2} = 42,67$ мин), $^{204\text{m}}\text{Pb}$ ($T_{1/2} = 66,93$ мин)) в образцах облученных на LINAC-200/800 малоинвазивным способом. МС-ИСП и новые радиохимические помещения, а также доступ к низкофоновым измерениям в подземных лабораториях предоставят возможность изготавливать низкофоновые материалы для нейтринных и астрофизических экспериментов, а также анализировать такие материалы на уровне $\mu\text{Бк/кг}$ и ниже.

Планируется изготовление широкого круга радионуклидных генераторов на основе долгоживущих материнских радиоизотопов ($^{32}\text{Si} \rightarrow ^{32}\text{P}$, $^{44}\text{Ti} \rightarrow ^{44}\text{Sc}$, $^{68}\text{Ge} \rightarrow ^{68}\text{Ga}$, $^{90}\text{Sr} \rightarrow ^{90}\text{Y}$, $^{194}\text{Hg} \rightarrow ^{194}\text{Au}$, $^{202}\text{Pb} \rightarrow ^{202}\text{Tl}$, $^{227}\text{Ac} \rightarrow ^{227}\text{Th} \rightarrow ^{223}\text{Ra}$, $^{229}\text{Th} \rightarrow ^{225}\text{Ra} \rightarrow ^{225}\text{Ac}$, $^{237}\text{Np} \rightarrow ^{233}\text{Pa}$, $^{238}\text{U} \rightarrow ^{234}\text{Th}$ и др., до 40–50 пар) в целях непрерывного обеспечения радионуклидами физических, химических и

радиофармацевтических исследований. В радиофармацевтическом и спектроскопическом направлениях также планируется развитие методов производства радиопрепаратов на доступных ядерных установках.

- 1 A. Vaimukhanova, et.al. *Nuclear Medicine and Biology*, 2022, V 112–113, P 35–43.
- 2 D. V. Filosofov, et.al. *Radiochemistry*, 2013, V 55, P 410–417.
- 3 E. S. Kurakina, et.al. *Nuclear Medicine and Biology*, 2022, V 104–105, P 22–27.
- 4 G. Marinov, et.al. Препринт ОИЯИ Е6-2019-11, 2019.
- 5 V. Radchenko, et.al. *Radiochimica Acta*, 2016, V 104, P 625–634.
- 6 D. V. Filosofov, et.al. *Radiochimica Acta*, 2010, V 98, P 149–156.
- 7 А. Е. Баймуханова, Диссертация на соискание ученой степени кандидата химических наук, РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2024.
- 8 J. Dadakhanov et.al. *Radiochemistry*, 2018, V 60, P 415-426.
- 9 А. Х. Иноятов, Диссертация на соискание ученой степени доктора физико-математических наук, ОИЯИ, 2011.
- 10 A. V. Rakhimov, et.al. *Radiochimica Acta*, 2013, V 101, P 653–659.
- 11 A. V. Rakhimov, et.al. *Radiochimica Acta*, 2020, V 108, P 87–97.
- 12 P. S. Fedotov, et.al. *Talanta*, 2019, V 192, P 395–399.
- 13 A. V. Rakhimov, et.al. *Radiochimica Acta*, 2015, V 103, P 673–678.