

Реакции под действием альфа-частиц на ядрах европия-153 как способ наработки медицинских нуклидов тербия-152 и тербия-155

Wednesday 2 July 2025 18:50 (20 minutes)

Радионуклиды Tb-152 ($T=17.1$ ч, $\epsilon \beta^+ 100\%$) и Tb-155 ($T=5.32$ сут., $\epsilon \beta^+ 100\%$) являются диагностическими частями “тербиевого швейцарского ножа ядерной медицины”: Tb-152 подходит для диагностики при помощи ПЭТ, Tb-152 - для диагностики при помощи ОФЭКТ. Вместе с терапевтическими изотопами Tb-161 ($T=6.89$ сут, $\beta^- 100\%$) и Tb-149 ($T=4.12$ ч, $\epsilon \beta^+ 83.3\%$, $\alpha 16.7\%$) они закрывают все потребности в области ядерной медицины, обеспечивая при этом тераностический персонализированный подход. Таргетные радиофармпрепараты на основе Tb-161 уже проходят клинические испытания [1]. Одной из основных проблем при разработке радиофармпрепаратов на основе нуклидов тербия является сложность их наработки. В частности, в случае Tb-152 и Tb-155 все описанные подходы для производства имеют один из следующих недостатков:

- необходимо уникальное оборудование как высокоэнергетические ускорители и системы масс-сепарации. Такой подход реализован в CERN или TRIUMF.
- образуется значительное количество радиоактивных примесей, которые увеличивают дозовую нагрузку на пациента и снижают качество получаемых изображений ПЭТ или ОФЭКТ.
- необходимость использование высокообогащенного мишенного материала. Например, для реакции под действием протонов на ядрах Gd-155 необходима степень обогащения более 98%, а коммерчески доступен только с обогащением около 95% [2].

Данная работа посвящена исследованию сечений ядерных реакций под действием альфа-частиц с энергиями до 60 МэВ на ядрах европия-153, а так же определению применимости данной реакции для наработки Tb-152 и Tb-155 для нужд ядерной медицины.

Для исследования сечений был использован метод стопки фольг с последующим определением продуктов при помощи гамма-спектрометрии. Для этого были изготовлены тонкие слои из оксида европия-153 толщиной 200-240 мкг/см² методом электрохимического осаждения на подложку из титана. Были собраны стопки фольг, включающих фольги из Al и Cu для мониторинга параметров пучка и Al фольги в качестве поглотителей. Стопки облучали на изохронном циклотроне У-150 (НИЦ Курчатовский институт) альфа-частицами дважды: с начальной энергией 60 МэВ и током 750 нА и с начальной энергией 40 МэВ и током 146 нА. После облучения стопка разбиралась на составные части, каждая из которых 2-3 раза была измерена на гамма-спектрометре ORTEC GEM 35P4 HPGe. Для расчета сечений было использовано приближение тонкой мишени, а в случае продуктов Tb-154g, 154m1, 154m2 был дополнительно применен взвешенный метод наименьших квадратов из-за схожести периодов полураспада и сильного наложения гамма-линий.

Впервые были получены сечения образования изотопов тербия 152, 153, 154g, 154m1, 154m2, 155, 156 и гадолиния-153 на ядрах европия-153 под действием альфа-частиц с энергией 19.8-59.2 МэВ. По рассчитанным сечениям были определены выходы на толстой мишени, по которым затем подбирались оптимальные условия наработки Tb-152 и Tb-155.

Данная реакция не подходит для наработки Tb-152, т.к. в изученном энергетическом диапазоне образуется более 30% примесной активности.

Для наработки Tb-155 было показано, что если при входе в мишень альфа-частицы имели энергию 30.2 МэВ, а на выходе - 27.5 МэВ, то конечный продукт содержит около 2.1% примесной активности Tb-156, что удовлетворяет требованиям из работы [2]. Содержание других примесей, а именно Tb-154g, 154m1, 154m2, возможно путем подбора времени охлаждения мишени после облучения [3].

Изученная в данной работе реакции подходит для наработки Tb-155 для дальнейшего медицинского применения и ее можно назвать компромиссным решением описанных выше проблем с наработкой.

1. A.N. Moiseeva et al., Front.Nucl.Med.4 (2024).
2. F. Barbaro et al., EJNMMI Phys. 11, 26 (2024).
3. E.S. Kormazeva et al., Radiat. Phys. Chem. 234, 112809 (2025)

Primary author: КОРМАЗЕВА, Екатерина (НИЦ "Курчатовский институт")

Co-authors: ИЛЮЩЕНКО, Арина (НИЦ "Курчатовский институт"); ШПУНТОВ, Денис (НИЦ "Курчатовский институт"); ХОМЕНКО, Ирина (НИЦ "Курчатовский институт"); АЛИЕВ, Рамиз (НИЦ "Курчатовский институт")

Presenter: КОРМАЗЕВА, Екатерина (НИЦ "Курчатовский институт")

Session Classification: 9. Poster Session

Track Classification: Section 7. Nuclear medicine.