

РАЗРАБОТКА МИШЕНЕЙ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ ^{82}Sr , ^{67}Cu НА РАДИОИЗОТОПНОМ КОМПЛЕКСЕ РИЦ-80

*В. Н. Пантелеев**, А. Е. Барзах, Л. Х. Батист, Ю. М. Волков,
В. С. Иванов, С. А. Кротов, П. Л. Молканов, Ф. В. Мороз,
С. Ю. Орлов, Д. В. Федоров

Петербургский институт ядерной физики им. Б. П. Константинова
Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», Гатчина, Россия

В ПИЯФ завершено строительство и произведен пуск циклотрона Ц-80, рассчитанного на получение пучков протонов с энергией 40–80 МэВ и интенсивностью до 200 мкА. Одна из главных задач Ц-80 — получение широкого спектра радионуклидов для медицинских целей как для диагностики, так и для терапии. К настоящему времени разработан проект комплекса РИЦ-80 (радиоактивные изотопы на Ц-80). Особенностью проекта является использование масс-сепаратора в комбинации с мишенно-ионным устройством для получения ионных пучков радиоизотопов высокой чистоты, что особенно важно для медицинских приложений. Представлены первые результаты разработки нового высокотемпературного метода выделения радиоизотопов ^{82}Sr , ^{67}Cu из облученных мишеней.

The high-current C-80 cyclotron capable of producing 40–80 MeV proton beams with a current of up to 200 μA has been constructed at PNPI (Petersburg Nuclear Physics Institute). One of the main goals of C-80 is the production of a wide spectrum of medical radionuclides for diagnostics and therapy. The project development of the radioisotope complex RIC-80 (Radioisotopes at the C-80 cyclotron) at the beam of C-80 has been completed. The peculiarity of the project is the mass-separator use at one of the target stations for on-line or semi on-line production of high-purity separated radioisotopes. The results of a new high-temperature method of radioisotopes ^{82}Sr , ^{67}Cu selection from the target material are presented.

PACS: 29.25.Rm; 87.56.bg

ВВЕДЕНИЕ

Технологии ядерной медицины, направленные как на диагностику, так и на терапию различных заболеваний, в основном базируются на использо-

*E-mail: vnp@pnpi.spb.ru

вании разных видов излучений радиоактивных нуклидов. При этом важно подчеркнуть, что только на ускорителях заряженных частиц можно производить радионуклиды, излучающие позитроны и используемые для ПЭТ — позитронной эмиссионной томографии. В ПИЯФ произведен пуск высокоэнергетического протонного циклотрона Ц-80, а также разработан проект радиоизотопного комплекса РИЦ-80 [1, 2]. Ускоритель Ц-80 рассчитан на получение выведенного пучка протонов с энергией 40–80 МэВ и интенсивностью до 200 мкА [3]. На РИЦ-80 планируется производить весь спектр наиболее востребованных в настоящее время медицинских радионуклидов, включая генераторный ПЭТ-радионуклид ^{82}Sr , используемый для диагностики сердечно-сосудистых заболеваний, а также заболеваний мозга. Проект включает три мишеневые станции, одна из которых соединена с масс-сепаратором для получения медицинских радионуклидов высокой чистоты.

РАЗРАБОТКА МИШЕНЕЙ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ^{82}Sr , ^{67}Cu

Для экспериментов по получению ^{82}Sr была использована мишень из порошка RbCl . Стронций-82 с периодом полураспада $T_{1/2} = 25,55$ сут является генератором изотопа ^{85}Rb ($T_{1/2} = 1,25$ мин), который широко используется в ПЭТ-диагностике [4]. Облученный на пучке синхроциклотрона ПИЯФ протонами 1 ГэВ хлорид рубидия помещался в танталовый контейнер, изготовленный как уменьшенный прототип мишенного устройства, которое будет использовано для получения ^{82}Sr и других радионуклидов на РИЦ-80. Затем контейнер помещался в нагреватель, где нагревался на вакуумном стенде для разделения мишенного вещества и полученных в реакции радионуклидов. Процесс разделения мишенного вещества (1 г облученного RbCl) и радионуклидов стронция осуществлялся следующим образом. На первом этапе мишенное вещество нагревалось до температуры 800–900 °С, в результате чего оно полностью испарялось из мишенного контейнера в специальный объем. При этом радиоактивные атомы стронция, имеющие при данной температуре значительно меньшую летучесть [5], чем хлорид рубидия, оставались в мишенном контейнере. На следующем этапе нагрева при температуре 1700–1800 °С из контейнера испарялся стронций и высаживался на охлаждаемый коллектор, расположенный в непосредственной близости от выходного отверстия мишенного контейнера. В обоих случаях время нагрева составляло около 1 ч. На рис. 1 представлена часть γ -спектра облученного образца RbCl до его нагревания и та же часть γ -спектра образца, высаженного на охлаждаемый коллектор, после двухэтапного нагрева мишенного вещества на вакуумном стенде.

Из рис. 1 можно видеть, что в результате двухэтапного нагрева мишенного вещества удалось испарить полностью мишенное вещество, о чем говорит от-

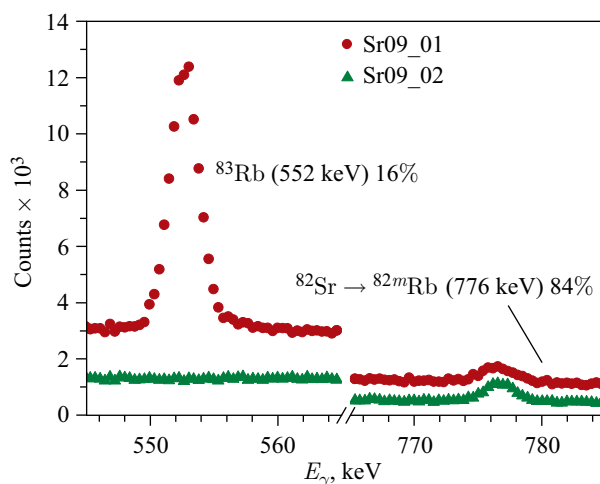


Рис. 1. Часть γ -спектра облученного образца RbCl до нагревания (верхний спектр) и часть γ -спектра образца, высаженного на охлаждаемый танталовый коллектор, после двухэтапного нагрева мишенного вещества (нижний спектр)

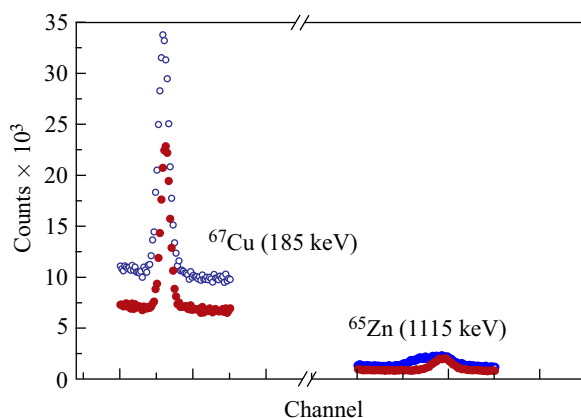


Рис. 2. Часть γ -спектра облученного образца металлического цинка до нагревания (верхний спектр) и часть γ -спектра образца, высаженного на охлаждаемый коллектор, после двухэтапного нагрева мишенного вещества (нижний спектр) на вакуумном стенде при температуре 500 и 1200 °С

существование в нижнем спектре γ -линии 552 кэВ из распада ^{83}Rb , и выделить на коллектор ^{82}Sr (нижний спектр, γ -линия 776 кэВ) с эффективностью около 90%. Дополнительный контроль испарения мишенного вещества проводился путем взвешивания мишенного контейнера до и после первого этапа

нагрева и также показал отсутствие мишенного вещества с точностью 0,1 %. Для получения радионуклида ^{67}Cu , использование которого считается очень перспективным в терапии онкологических заболеваний, был использован тот же высокотемпературный метод разделения мишенного вещества. В качестве мишенного вещества применялся металлический цинк, имеющий значительно более высокую упругость паров в диапазоне температур 500–900 °С, чем медь.

На рис. 2 представлена часть γ -спектра облученного образца цинка до его нагревания и та же часть γ -спектра образца, высаженного на охлаждаемый коллектор, после двухэтапного нагрева мишенного вещества на вакуумном стенде.

Как видно из рис. 2, в результате двух нагревов (нижний спектр) удалось полностью отделить мишенное вещество, о чем говорит отсутствие в нижнем спектре γ -линии 1115 кэВ из распада ^{65}Zn . Взвешивание до и после первого нагрева также показало полное испарение цинка (с точностью 0,2 %). Из γ -спектра образца после второго нагрева мишенного вещества (нижний спектр) видно, что ^{67}Cu практически без потерь (эффективность $(94 \pm 5)\%$) высаживается на охлаждаемый коллектор.

ВЫВОДЫ

В ПИЯФ произведен пуск циклотрона Ц-80 со следующими планируемыми параметрами: энергией протонов 40–80 МэВ и интенсивностью пучка до 200 мкА. Одной из основных задач Ц-80 станет получение широкого спектра радиоизотопов для медицинских целей. К настоящему времени закончена разработка проекта комплекса РИЦ-80. Отличительная особенность предлагаемой установки состоит в использовании масс-сепаратора для получения ионных пучков радиоизотопов высокой чистоты. Значительная часть работы посвящена разработке нового высокотемпературного метода выделения произведенных радионуклидов из облучаемых мишеней. При использовании данного метода для небольшого количества мишенных веществ порядка 1 г при выделении радионуклидов Sr и Cu получена достаточно высокая эффективность, равная 80–90 %. Следующий этап — создание и исследование полноразмерного прототипа мишенного устройства с количеством мишенного материала несколько десятков грамм, достаточным для получения максимальных выходов целевых радионуклидов на РИЦ-80.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ, грант № 14-03-01079-а, и НИР СПбГУ, тема № 12.38.218.2015.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Panteleev V. N., Barzakh A. E. et al.* Project of the Radioisotope Facility RIC-80 at PNPI // High Energy Physics Division: Main Scientific Activities. Gatchina, 2013. P. 278.

2. *Panteleev V. N., Barzakh A. E., Batist L. Kh., Fedorov D. V., Ivanov V. S., Moroz F. V., Molkanov P. L., Orlov S. Yu., Volkov Yu. M.* The Radioisotope Complex Project «RIC-80» at the Petersburg Nuclear Physics Institute // *Rev. Sci. Instr.* 2015. V. 86. P. 123510.
3. *Artamonov S. A., Ivanov E. M., Mikheev G. F. et al.* Design Features of the 80 MeV H^- Isochronous Cyclotron in Gatchina // *High Energy Physics Division: Main Scientific Activities.* Gatchina, 2013. P. 332.
4. *Chatal J.-F., Rouzet F., Haddad F. et al.* Story of Rubidium-82 and Advantages for Myocardial Perfusion PET Imaging // *Front. Med.* 2015. V. 2. P. 65.
5. *Kirchner R.* An Ion Source with Bunched Beam Release // *Nucl. Instr. Meth. B.* 1987. V. 26. P. 204–212.