

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА РАДИОНУКЛИДА ГЕРМАНИЯ-68 ПРИ  
ОБЛУЧЕНИИ ОБОГАЩЁННОГО ИЗОТОПА ЦИНКА-66 НА ЦИКЛОТРОНЕ Р7М**

Н. Вилья, Г.С. Модебадзе

Научный руководитель: Инженер. Б.А. Михайлович

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [nekros@sibmail.com](mailto:nekros@sibmail.com)

**DEVELOPMENT OF A GERMANIUM-68 RADIONUCLIDE PRODUCTION TECHNOLOGY BY  
IRRADIATION OF ENRICHED ISOTOPE ZINC-66 IN THE R7M CYCLOTRON**

N. Villa, G.S. Modebadze

Scientific Supervisor: Engineer. B.A. Mikhailovich

Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: [nekros@sibmail.com](mailto:nekros@sibmail.com)

***Abstract.** In the present study, we performed the evaluation and experimental determination of  $^{68}\text{Ge}$  production using alpha particle beams in the R7M cyclotron of the Tomsk Polytechnic University.*

**Введение.** Позитронно-эмиссионная томография (ПЭТ) является мощным диагностическим методом визуализации и стала доминирующим методом визуализации в области ядерной медицины. В связи с этим требуются новые радионуклиды, и их развитие вызвало значительный интерес [1]. Радионуклид германий-68 ( $^{68}\text{Ge}$ ) используют в позитронно-эмиссионной томографии. Распад  $^{68}\text{Ge}$  в  $^{68}\text{Ge}/^{68}\text{Ga}$  генераторе приводит к получению дочернего радионуклида  $^{68}\text{Ga}$ . Период полураспада  $^{68}\text{Ga}$ , равный 67,71 минуты, достаточен для синтеза множества РФП для ПЭТ на основе  $^{68}\text{Ga}$ . Препараты  $^{68}\text{Ga}$  применяют при оценке целостности гематоэнцефалитического барьера и для локализации злокачественных опухолей.  $^{68}\text{Ga}$  используют также как калибровочный источник для настройки сканеров ПЭТ. Период полураспада  $^{68}\text{Ge}$  – 270,8 дней. Для получения  $^{68}\text{Ge}$  можно использовать реакции  $\text{Zn}(\alpha, \text{n})^{68}\text{Ge}$  и по реакции  $\text{Ga}(\text{p}, \text{x})^{68}\text{Ge}$ . Выход  $^{68}\text{Ge}$  в реакции  $^{69}\text{Ga}(\text{p}, \text{x})^{68}\text{Ge}$  при энергии протонов 30 МэВ равен 2,46 (МБк/мкАч), в то время как выход в реакции  $^{66}\text{Zn}(\alpha, 2\text{n})^{68}\text{Ge}$  при энергии протонов 28 МэВ равен 0,0437 (МБк/мкАч). Однако, несмотря на относительно малый выход реакция  $^{66}\text{Zn}(\alpha, 2\text{n})^{68}\text{Ge}$  тоже может найти применение, если имеется дефицит  $^{68}\text{Ge}$ . Цель настоящей работы заключалась в том, чтобы дать ответ насколько такая возможность может быть использована как для получения  $^{68}\text{Ge}$  требуемого качества, так и для технико-экономического обоснования его производства.

**Материалы и методы исследования.** Облучения проводились в циклотроне Р7М Томского политехнического института, на котором можно получить пучок альфа-частиц с энергией до 28 МеВ и ток 50 мкА (Рис. 1. Циклотрон Р7М). Следует отметить, что в ускорительной камере циклотрона ток пучка, по крайней мере, в 2 раза больше.



Рис. 1. Циклотрон Р7М

Для измерения потока альфа частиц использовался материал подложки мишени – медь, материал вещества монитора - медная фольга (Рис. 2). Масса фольги - 0,4478 г, диаметр - 40,0 мм. Удельная плотность фольги – 0,03565 г/см<sup>2</sup>. Облучение производили на выведенном пучке альфа частиц в вакууме на 3 канале циклотрона Р7М. Режим настройки циклотрона: частота  $f = 11040000$  Гц, радиус вывода частиц  $r = 53$  см. Время облучения - 10 мин, ток альфа частиц 5 мкА. Энергия  $\alpha$ -частиц, рассчитанная исходя из частоты ускоряющего поля и радиуса вывода равна  $E\alpha = 8,2 \cdot 10^{-11} (f \cdot r)^2$ ;  $E\alpha = 8,2 \cdot 10^{-11} (11,04 \cdot 10^6 \cdot 53)^2 = 28,07$  МэВ:



Рис. 2. Мишень с фольгой, приклеенной на теплопроводную пасту КПТ-8 (ГОСТ 19783-74)

В качестве мишени мы изготавливали фольгу из природного металлического цинка (Рис.2). Масса фольги – 0,779 г., диаметр 40 мм, массовая толщина 0,061 г/см<sup>2</sup>. Фольга была припаяна к медной подложке на оловянный припой для облучения на выведенном пучке альфа-частиц на 3 канале циклотрона.



Рис.3. Мишень с припаянной Zn пластиной

**Результаты.** Для измерения потока альфа частиц был выбран метод активация медной фольги (рис. 3). Потери энергии  $\alpha$  частиц при прохождении через медную фольгу, толщиной 0,03565 г/см<sup>2</sup>, находим используя таблицу пробегов  $\alpha$ -частиц в меди. Энергия альфа частиц на входе  $E\alpha_{in} = 28$  МэВ, и на выходе  $E\alpha_{out} = 22,65$  МэВ. Средняя энергия  $E\alpha = 24,32$  МэВ. Активность радионуклида  $A$  равна  $A = \sigma \cdot n \cdot F (1 - \exp(-\lambda t))$ , где  $n$  – число ядер Cu на кв.см.  $n = 6,02 \cdot 10^{23} \cdot 0,03565 / 63,54 = 3,37 \cdot 10^{20}$  см<sup>-2</sup>;  $\sigma \cdot n =$

$3,37 \cdot 10^{20} \cdot 113,3 \cdot 10^{-27} = 3,82 \cdot 10^{-5}$ ;  $t_b$  - время облучения 600 с. Отсюда получаем поток альфа-частиц:  $F = A / (\sigma \cdot n \cdot (1 - \exp(-\lambda t_b)))$ ,  $\text{см}^2$ . Измеренная активность  $^{66}\text{Ga}$  на ЕОВ оказалась равна  $A = 4,83 \text{ МБк}$ .  $F = 4,83 \cdot 10^6 \cdot 2,1366 / (3,82 \cdot 10^{-5} \cdot (1 - \exp(-2,03 \cdot 10^{-5} \cdot 600))) = 4,83 \cdot 10^6 \cdot 2,1366 / (3,82 \cdot 10^{-5} \cdot 0,0121) = 2,2 \text{ Е13 частиц/с}$ . Если принять, что ток 5 мкА возникает только от альфа-частиц, то число поток частиц будет равен  $5 \cdot 6,25 \cdot 10^{12} / 2 = 1,56 \cdot 10^{13} \text{ частиц/с}$ . Для измерения активности и выхода  $^{68}\text{Ge}$  в реакции  $\text{natZn}(\alpha, 2n)^{68}\text{Ge}$  мы использовали пучок альфа-частиц с энергией 28 МэВ. Время облучения 6 мин. Ток – 25 мкА. Заряд альфа частиц на мишени 2,5 мкАч. Измерение активности  $^{68}\text{Ge}$  в Zn фольге производили с помощью спектрометра гамма излучения Canberra. Типичный аппаратурный спектр гамма излучения от образцов приведён на рис. 4. Время набора спектра  $t_n = 3600$  с. Регистрировали  $\gamma$ -линию 1077,4 кэВ, возникающую при распаде  $^{68}\text{Ga}$ . Эффективность регистрации гамма квантов с энергией 1077,4 кэВ -  $\epsilon(1077,4)$  равна  $2,03 \cdot 10^{-3}$ , квантовый выход  $\gamma$ -линии (1077,4)  $\eta = 3,2\%$ , площадь под пиком  $S = 6275$  импульса. Активность  $^{68}\text{Ge}$  находили по формуле:  $A(\text{EOB}) = \frac{S}{\epsilon \cdot t_m \cdot \eta \cdot e^{-\lambda t_d}}$ ;  $A(^{68}\text{Ge}) = 6275 / (2,03 \cdot 10^{-3} \cdot 3600) = 28621 \text{ Бк}$ . Поделив активность на заряд альфа-частиц получим величину выхода  $^{68}\text{Ge}$  равной  $2,86 \cdot 10^{-4} / 2,5 = 1,15 \cdot 10^{-4} = 0,0115 \text{ МБк/мкАч}$ . По данным справочника П.П. Дмитриева выход  $^{68}\text{Ge}$  из толстой мишени для  $E_\alpha = 28 \text{ МэВ}$  равен  $0,0122 \text{ МБк/мкАч}$ , а для  $E_\alpha = 18 \text{ МэВ}$  равен  $0,00048 \text{ МБк/мкАч}$ .

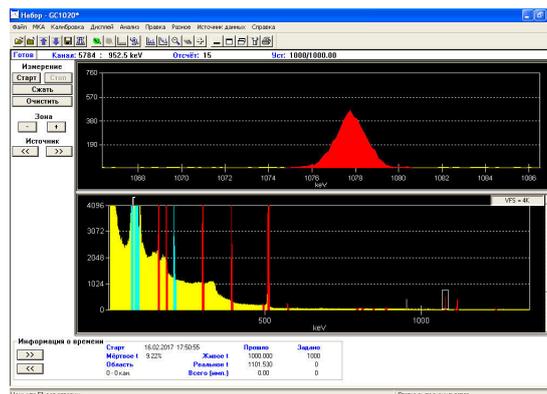


Рис.4. Типичный аппаратурный спектр гамма излучения образца №6 ( $R = 5 \text{ см}$ ). Дата и время измерения: 16.02.17 18:00. Время набора спектра 1000 с

**Заключение.** 1. В пределах погрешности наблюдается удовлетворительное согласие показаний измерителя тока и потока альфа-частиц, найденного из активации медной фольги, что позволяет доверять показаниям прибора, измеряющего ток с мишени. 2. Отличие выхода  $^{68}\text{Ge}$  из природного Zn при облучении пучком альфа-частиц по данным эксперимента и литературы не превышает 2%. 3. Примем, что выход  $^{68}\text{Ge}$  из толстой мишени цинка природного изотопного состава под действием альфа-частиц ускоренных в циклотроне Р7М равен  $0,0122 \text{ МБк/мкАч}$ . 4. Если в качестве мишени использовать цинк, обогащенный до 95% по изотопу  $^{66}\text{Zn}$ , то выход  $^{68}\text{Ge}$  будет  $(0,0122 \cdot 0,95 / 0,279) = 0,040 \text{ МБк/мкАч}$ .

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Brambilla T.P. Studies on the preparation of  $^{68}\text{Ge}$ - $^{68}\text{Ga}$  generator with inorganic materials // International Nuclear Atlantic Conference - INAC 2011.