

**РАЗРАБОТКА НАУЧНЫХ ОСНОВ ПОЛУЧЕНИЯ RE-186 НА ЦИКЛОТРОНЕ ДЛЯ
ЯДЕРНОЙ МЕДИЦИНЫ**

А.А. Баулин, В.М. Головков, А.М. Большаков

Научный руководитель: кандидат физико-математических наук В.М. Головков

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

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

E-mail: baulin.91@mail.ru

**DEVELOPMENT OF THE SCIENTIFIC FOUNDATIONS OF THE OBTAINED RE-186 ON THE
CYCLOTRON FOR NUCLEAR MEDICINE**

A.A. Baulin, V.M. Golovkov, A.M. Bolshakov

Scientific Supervisor: candidate of Physical and Mathematical Sciences V.M. Golovkov

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

E-mail: baulin.91@mail.ru

***Annotation.** The article is devoted to the complex research on the development of the scientific foundations of Re-186 cyclotron for nuclear medicine. Described in detail experimental technique for obtaining Re-186 with high specific activity. Experimentally measured reaction cross section $W-186(d, 2n)Re-186$ in the energy range of deuterons from the reaction threshold to 13 MeV. Displaying experimental substantiation of possible obtaining Re-186 in sufficient quantities for the synthesis of a radiopharmaceutical (RFP). Are shown a comparison with the results of other studies.*

Выбор изотопа, который будет использоваться в ядерной медицине, зависит от характеристик опухоли: α -излучатели будут хорошо подходить для микроскопического заболевания, тогда как β -излучатель будет использоваться для миллиметровой опухоли. Многие изотопы рассматриваются для такого применения, среди них Re-186[1,2].

Целью работы является обоснование возможности наработки в достаточном количестве для синтеза в РФП Re-186, путем экспериментального исследования сечения реакции и определения выхода Re-186 при облучении дейтронами для использования в ядерной медицине.

В ряде работ [2,3,4] было показано, что использование дейтронов позволяет увеличить выход продукции, чем с использованием протонов. ^{186}Re в основном производится в ядерном реакторе, используя обогащенную мишень ^{185}Re , но этот метод приводит к получению ^{186}Re с низкой удельной активностью. Альтернативным, более эффективным, является метод ускорения дейтронов с вольфрамовой мишенью на циклотроне, который позволяет выделить нуклид без носителей.

Для измерения сечения реакции $^{nat}\text{W}(d,2n)^{186}\text{Re}$ использовали пластину из металлического вольфрама толщиной 1,55 мм и площадью 6,9387 см² природного изотопного состава. Мишень облучали пучком дейтронов с энергией 13,6 МэВ и током 4 мкА в течение 15 минут на циклотроне Р7М. После облучения мишень выдерживали 20 минут. Для нахождения флюенса дейтронов использовали титановую фольгу, толщиной 40 мкм и площадью 6,9387 см², которую помещали перед вольфрамовой пластиной.

Эффективное сечение реакции $^{nat}\text{Ti}(d,x)^{48}\text{V}$ приняли за 290 мбарн, которое соответствует энергии 13,6 МэВ[5,6].

После облучения, мишень послойно стравливали смесью азотной и плавиковой кислот в соотношении 1:2 при температуре 100°C. Режим травления подбирался исходя из химических свойств вольфрама[7]. Активность каждого слоя, которую определяли на полупроводниковом спектрометре «InSpector 2000». В таблице 1 приведены данные эксперимента.

Таблица 1

Данные эксперимента

№	Масса стравленного слоя ΔМ, г	Активность слоя А, КБк	Эффективное сечение σ, мБарн	Энергия дейтронов ΔE _d , МэВ	Выход ^{186}Re , МБк·мкА ⁻¹ ·ч ⁻¹
1	0,174	79,38	4,35E+02	12,63/10,98	0,282
2	0,9607	429,52	4,27E+02	10,98/10,55	1,532
3	0,2362	89,1	3,60E+02	10,55/9,93	0,318
4	0,3309	117,28	3,38E+02	9,93/9,05	0,417
5	0,4475	116,56	2,49E+02	9,05/8,50	0,414
6	0,2681	48,73	1,73E+02	8,50/7,89	0,171
7	0,2825	32,19	1,09E+02	7,89/7,13	0,114
8	0,3407	23,70	6,64E+01	7,13	0,082

Как было указано ранее, было стравлено восемь слоев облученной мишени, после чего рассчитано эффективное сечение и потеря энергии налетающих дейтронов для каждого слоя. На рисунке 1 показана зависимость эффективного сечения σ от энергии налетающих дейтронов ΔE_d по реакции $^{186}\text{W}(d,2n)^{186}\text{Re}$, а так же показано сравнение с результатами других работ.

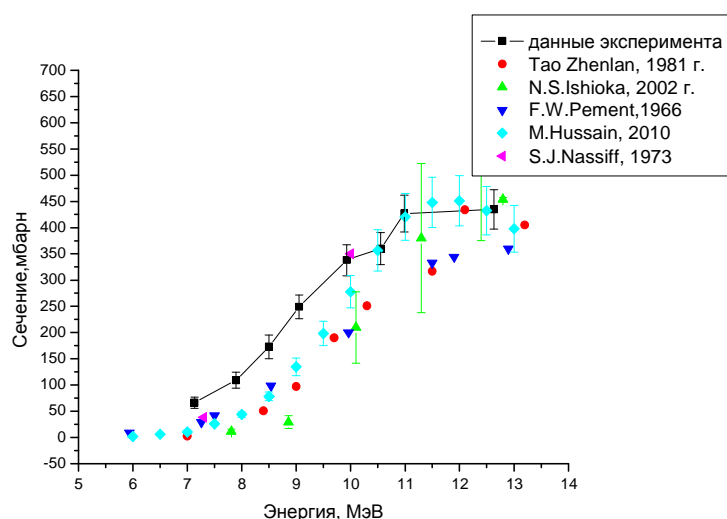


Рис.1. Зависимость эффективного сечения от энергии дейтронов

На графике видно, что сечение плавно убывает с уменьшением энергии налетающих дейтронов, максимальный пик сечения наблюдается в интервале энергий налетающих дейтронов 12 ÷ 13 МэВ, при значениях энергии дейтронов ниже 12 МэВ количество образовавшихся ядер рения будет плавно спадать. Отсюда можно сделать вывод, что наибольший выход ядер рения будет наблюдаться на той глубине, на которой дейтроны будут взаимодействовать с ядрами вольфрама в диапазоне энергий 12 ÷ 13 МэВ. В таблице 1 приведена энергетическая зависимость выхода Re-186. Суммарный выход целевого

изотопа Re-186 составляет 3,34 МБк·мкА⁻¹·ч⁻¹. Полученный результат хорошо согласуется с результатами полученными другими авторами в работах [8,9,10,11,12], целевой выход Re-186 является достаточным для наработки его для ядерной медицины.

В данной работе представлено экспериментальное обоснование возможности наработки Re-186 с высокой удельной активностью в достаточном количестве для синтеза в РФП. Измерение сечения реакции показало, что максимальный выход изотопов Re-186 будет наблюдаться в интервале энергии дейтронов 12 ÷ 13 МэВ. Проекционный суммарный выход, который составляет 3,34 МБк·мкА⁻¹·ч⁻¹, является достаточным для наработки Re-186 в медицинских целях. В работе предложена комплексная методика по наработке Re-186 включающая стадии изготовления и облучения мишени на циклотроне, а так же выделение нуклида без носителей, соответственно с высокой удельной активностью, чего нельзя добиться при наработке Re-186 на реакторе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Изотопы: свойство, получение, применение. Под ред. В.Ю. Баранов. В.2,Т. 2. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. – 728с.
2. Guertin A., Duchemin C., Haddad F., Michel B.N., Métiviera V. Measurements of ¹⁸⁶Re production cross section induced by deuterons on ^{nat}W target at ARRONAX facility // Elsevier - ScienceDirect. - 2014. – №41, дополнение.–С. e16–e18.
3. Tárkányi F., Hermanne A., Takács S., Ditrói F., Kovalev F., Ignatyuk A.V. New measurement and evaluation of the excitation function of the ¹⁸⁶W(p,n) nuclear reaction for production of the therapeutic radioisotope ¹⁸⁶Re // Elsevier - ScienceDirect. - Ноябрь 2007.– №2. – С. 389–394.
4. Gary J. Ehrhardt, Alan R. Ketring, Lynn M. Ayers. Reactor-produced radionuclide's at the University of Missouri Research Reactor // Elsevier - ScienceDirect. - Апрель 1998.– Т.49.– №4.– С. 295–297.
5. Немец О.Ф., Гофман Ю.Ф. Справочник по ядерной физике. - Киев: Наукова думка, 1975. – 390 с.
6. Recommended cross sections for ^{nat}Ti(d,x)⁴⁸V reaction // International Atomic Energy Agency (IAEA) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www-nds.iaea.org/medical/tid48v0.html> - 10.11.2014.
7. Рипан Р., Четяну И. Неорганическая химия. Химия металлов. — М.: Мир, 1972. — Т. 2. — 347 С.
8. Ishioka N.S., Watanabe S., Osa A., Koizumi M., Matsuoka H., Sekine T. Excitation functions of rhenium isotopes on the ^{nat}W(d,xn) reactions and production of No-carrier-added ¹⁸⁶Re // Journal of Nuclear Science and Technology. - 2002. - №2.–С.1334-1337.
9. Alekseev I.E., Lazarev V.V. Cyclotron Production and Radiochemical Isolation of the Therapeutical Radionuclide ¹⁸⁶Re // Radiochemistry. - 2006. - Т.48.– №5. - С. 497-500.
10. Pement F.W., Wolke R.L. Compound-statistical features of deuteron-induced reactions. II. The compound nucleus and stripping-evaporation mechanisms in (d,2n) reactions // Nuclear Physics. - 1966. - Т.2.– №86. - С. 429–442.
11. Hussain M., Sudar S., Aslam M.N., Ahmad R., Malik A.A., Qaim S.M. Evaluation of charged particle induced reaction cross section data for production of the important therapeutic radionuclide ¹⁸⁶Re // Radiochimica Acta. - 2010. - №98. - С. 385–395.
12. Nassiff S.J., Munzel H. CROSS SECTIONS FOR THE REACTIONS ⁶⁶Zn(d,n)⁶⁷Ga, ⁵²Cr(d,2n)⁵²GmN AND ¹⁸⁶W(d,2n)¹⁸⁶Re. // Radiochimica Acta. - 1973. - Т.19.– №3. - С. 97–99.