

Л.В.Михайлов^{1*}, О.Й. Колосов¹, М. В.Маковський¹,

А.І. Піскарьов¹, Т.П. Руденко¹, В.М. Шевель¹,
Ю.В. Фальченко², Л.В. Петрушинець², В.Є. Федорчук²

¹ Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна

² ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України

*Відповідальний автор : Л.В. Михайлов

ОДЕРЖАННЯ ІЗОТОПУ ^{22}Na , ЗАСТАСОВУЮЧИ РОЗРОБЛЕНИЙ ПРИСТРІЙ ДЛЯ ОПРОМІНЮВАННЯ МІШЕНІ ВНУТРІШНІМ ПУЧКОМ ПРОТОНІВ ЦИКЛОТРОНА У-240

Розроблено установку для одержання ізотопів, використовуючи інтенсивний внутрішній пучок протонів циклотрона У-240. Сконструйована мішень для одержання ізотопу ^{22}Na у складних умовах теплових та радіаційних навантажень в обмеженому просторі прискорювальної камери циклотрону. Проведено радіохімічне виділення ізотопу ^{22}Na .

Ключові слова: радионуклід , протони, мішень, опромінення, період напіврозпаду, енергія гама-квантів , методи дифузійного зварювання та радіаційної хімії.

Ізотопи ^{22}Na широко застосовується в різних галузях науки у сільському господарстві, медицині.

У роботі [1]. розглядається отримання ізотопу ^{22}Na в результаті ядерних реакцій при взаємодії прискорених заряджених частинок (протонів енергією до 30 МеВ, дейтронів енергією до 25 МеВ та альфа-часток енергією до 50 МеВ) з ядрами мішені. Метою роботи є визначення оптимальних умов напрацювання

радіоактивного ізотопу ^{22}Na на внутрішньому пучку циклотрону У-150М інституту ядерної фізики НЯЦ РК, м. Алматы, Казахстан. У 1992 р. внутрішнім пучком протонів з енергією 70МеВ та струмом 75 мікроампер на циклотроні У-240, була опромінена експериментальна мішень RbCl, яка обертається. Опромінена здійснювалось протягом 35 годин. Через 10 днів після закінчення опромінена радіохімічним методом було зроблено виділення ^{82}Sr з мішені. [2].

Цей експеримент показав можливість враховуючі технічні характеристики циклотрона У-240 напрацювання на внутрішньому пучку протонів циклотрона різні радіонукліди .

Ізохронний циклотрон У-240 ІЯД НАН України – єдиний діючий прискорювач, який перекидає необхідний діапазон енергій на якому можна здійснювати напрацювання практично усіх циклотронних радіонуклідів, які широко застосовуються в науці та ядерній медицині. На циклотроні У-240 інтенсивність внутрішнього пучка протонів може досягати 100 та більше мікроампер.

. Така інтенсивність пучка протонів дозволяє ефективно напрацювати багато різних циклотронних радіонуклідів. Складність полягає в розробці мішеневих пристроїв, які б працювали в екстремальних умовах теплових і радіаційних навантажень в обмеженому просторі прискорювальної камери циклотрона та спроможних протягом всього часу опромінення (до кількох діб) витримувати без руйнації ці навантаження.

. Була проведена розробка та створення опромінювальної пристрою з мішенню, яка обертається, що забезпечує тривале опромінення мішені внутрішнім пучком протонів з інтенсивністю до 150 мкА та енергією не менше 70 МеВ. Створений пристрій дозволяє напрацювання радіонуклідів на внутрішньому пучку протонів циклотрона У-240.

Для напрацювання циклотронних радіонуклідів було застосовано розроблений пристрій для опромінювання мішеней внутрішнім пучком циклотрона. Детальний опис конструкції розробленого пристрою для опромінювання мішеней внутрішнім пучком циклотрона описано у роботі [3].

Пристрій складається із декількох функціональних частин:

- механічної частини, яка забезпечує кріплення мішені в мішеневому пристрої, доставку мішені в зону опромінення усередині прискорювальної камери, повернення мішені в початковий стан після опромінення та скидання мішені до контейнеру;
- системи водоохолодження, яка забезпечує подачу води і контроль тиску, розходу води та температури;
- системи вакуумної відкачки шлюзу;
- системи управління, яка включає засоби діагностики (вимірювання положення мішені, струму поглиненого мішенню пучка, вакууму в шлюзі, температури охолоджуючої води на вході в систему охолодження, витрат води), засобів управління технологічними системами (водяні та повітряні електроклапани, електромагнітні натікачі, засувки та ін.), пристрої захисту та

блокіровок. Для віддаленого моніторингу та управління виконуючими механізмами установки була розроблена програма “SIR” (SetupIRradiation).

Оскільки циклотронна зала є радіаційно-небезпечним приміщенням, то управління всіма виконавчими механізмами, двигунами приладами, вимірювання і контроль усіма параметрами повинні бути дистанційними. Була вибрана наступна загальна схема управління: для налаштування, налагодження та перевірки обладнання. Був створений місцевий пульт управління в циклотронній залі; для управління та контролю процесу опромінення і створена комп'ютерна система з основним комп'ютером, розташованим у пультовій циклотрона.

Комп'ютер головного пульта оператора по каналу мережі Ezernet з'єднаний з промисловим контролером місцевого пульта управління в магнітній залі. Контролер включає в себе об'єднану плату для установки модулів вводу - виводу, яка закріплена на DIN рейку в МПУ.

Програма “SIR” (SetupIRradiation) була розроблена для віддаленого моніторингу та управління виконуючими механізмами установки. Програма призначена для роботи на ПК під управлінням операційної системи Linux. Максимальна “дружність” та ефективність досягається при використанні сенсорного монітору великого розміру.

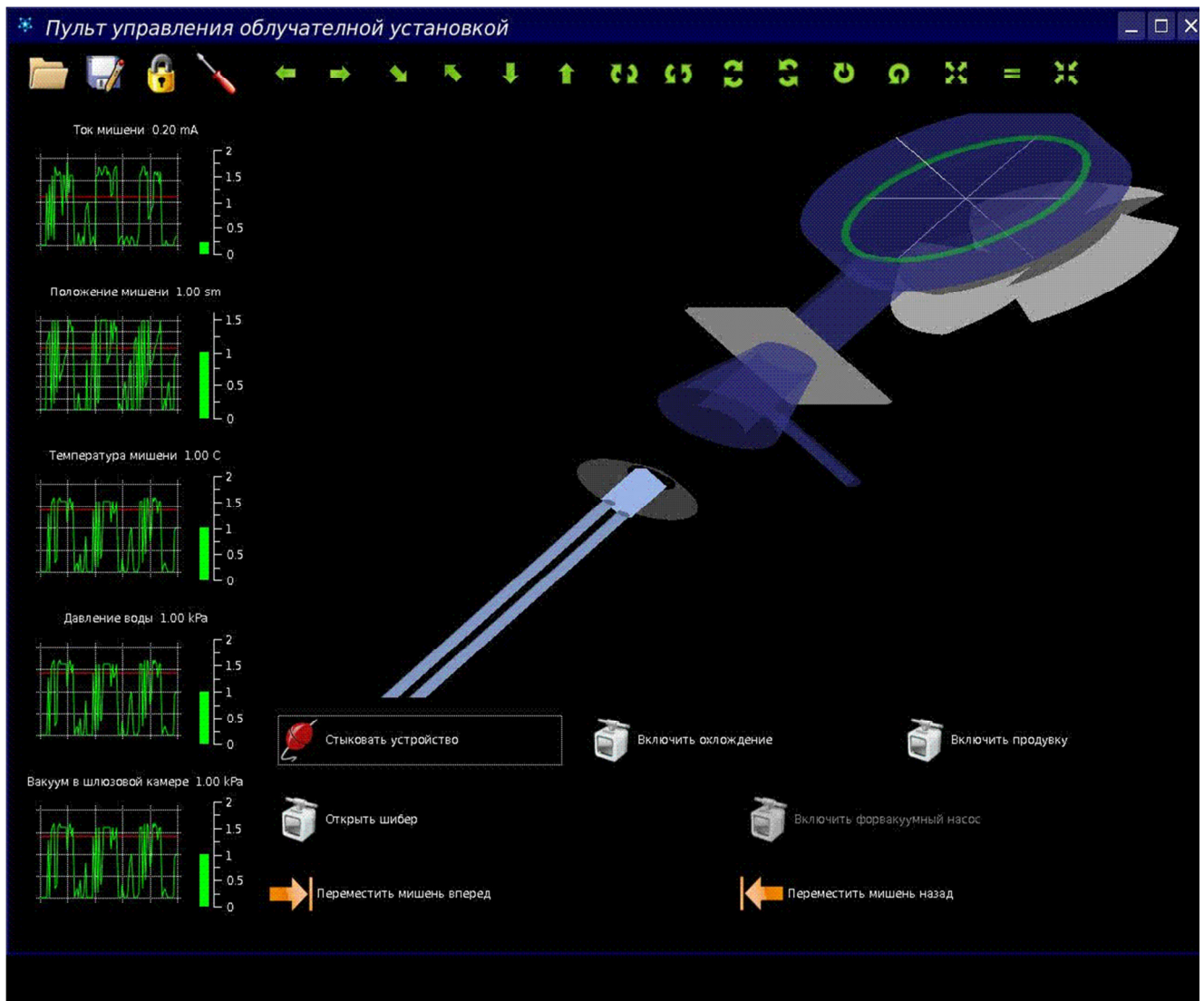


Рис.1. Головне вікно локального інтерфейсу програми “SIR”.

Головне вікно програми розділене на три частини: область поточних параметрів установки (датчики), 3D модель установки та зона елементів управління. Загальний вид головного вікна локального інтерфейсу програми “SIR” зображено на Рис. 1.

Розроблений пристрій для опромінювання мішеней внутрішнім пучком циклотрона було застосовано для напрацювання радіонукліда ^{22}Na .

Характеристика радіонукліду ^{22}Na : Період напіврозпаду-Т 1/2 - 2.6 року, енергія гамма-квантів E_{γ} - 1274 кеВ, енергія позитронів $E_{\beta+}$ - 511 кеВ. Відомі 23 ізотопу натрію з масовим числом від 17 до

39 і з числом нейтронів в ядрі від 6 до 28. Єдиний стабільний ізотоп - ^{23}Na . У більшості ізотопів період напіврозпаду менше однієї хвилини, лише один радіоактивний ізотоп - ^{22}Na - має період напіврозпаду більше року, і ще один - ^{24}Na більше години. ^{22}Na зазнає позитронний розпад з періодом напіврозпаду 2,6027 року, його використовують як джерело позитронів у наукових дослідженнях. ^{24}Na , з періодом напіврозпаду по каналу β -розпаду 15 годин, використовується в медицині для діагностики та для лікування деяких форм лейкемії.

Для напрацювання радіонуклідів ^{22}Na з ядерної реакції $^{24}\text{Mg}(p, ^3\text{He})^{22}\text{Na}$ сконструйована зварна мішень для опромінювання пучком протонів. Підбір енергії протонів для оптимального виходу радіонуклідів ^{22}Na було проаналізовано. Виходи ^{22}Na з реакції $^{12}\text{Mg}(p)^{22}\text{Na}$ наведено у таблиці [5].

Енергія протонів, МеВ	Вихід радіонукліда, МБк/(мкА·год)
60	$89,7^{-2}$
64	$10,5^{-1}$
68	$11,9^{-1}$
76	$14,9^{-1}$
84	$17,8^{-1}$
92	$20,8^{-1}$
100	$23,8^{-1}$

Аналіз супутніх ядерних реакцій показав, що найбільший вихід радіонуклідів ^{22}Na при опроміненні магнію протонами. Для отримання ^{22}Na з періодом напіврозпаду $T = 2,6$ року, активності 10мкКі застосовано режим опромінення протонами з енергією $E = 72\text{МеВ}$, струм $I = 30\text{мкА}$, час опромінення на циклотроні У-240 близько 30 хвилин. Згідно цього режиму опромінення була сконструйована мішень.

Мішень складається з опромінюваної протонами смужки магнію (99,9%) привареної до охолоджуваного водою корпусу зі сплаву алюмінію. В роботі вперше успішно застосовано розроблений метод зварювання магнію з алюмінієм [4]. Було застосовано метод дифузійного зварювання чистого магнію МГ1 зі сплавом алюмінію (Д16, система Al-Cu-Mg) що проводили в умовах вакууму.

Дослідження по дифузійному зварюванню чистого магнію МГ1 зі сплавом алюмінію (Д16, система Al-Cu-Mg) проводили в умовах вакууму. Зварювання проводили з використанням установки дифузійного зварювання П115, яка має радіаційну систему нагрівання. Два молібденові нагрівачі для рівномірності теплового потоку у вигляді півкільць знаходяться навколо деталі, що підлягає зварюванню. Тиск зварювання забезпечують за допомогою пневмогідравлічного циліндру.

З урахуванням того, в системі магній – алюміній в температурному інтервалі $438-453\text{ }^{\circ}\text{C}$ спостерігається декілька евтектичних реакцій з плавленням компонентів, то зварювання проводили при температурі $420-430\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Для локалізації пластичної деформації та забезпечення утворення фізичного контакту поміж магнієм та алюмінієм використовували перфоровані прошарки з чистого алюмінію, товщиною 1 мм. В прошарку робили отвори діаметром 1,5 мм з шагом 1,5 x 1,5 мм.

Зварювання деталей проводили на масивній сталевій опорі, на котрій для контролю температури процесу закріплювали хромель-алюмелеву (ХА) термопару. Після зварювання охолодження деталі до кімнатної температури відбувалось в вакуумі разом з установкою. ^{22}Na виділявся після опромінення методами радіаційної хімії. Одержання натрію-22 з опроміненої протонами мішені, яка складається з металевого магнію включає процес з 7 етапів, що приведений на рис 3.

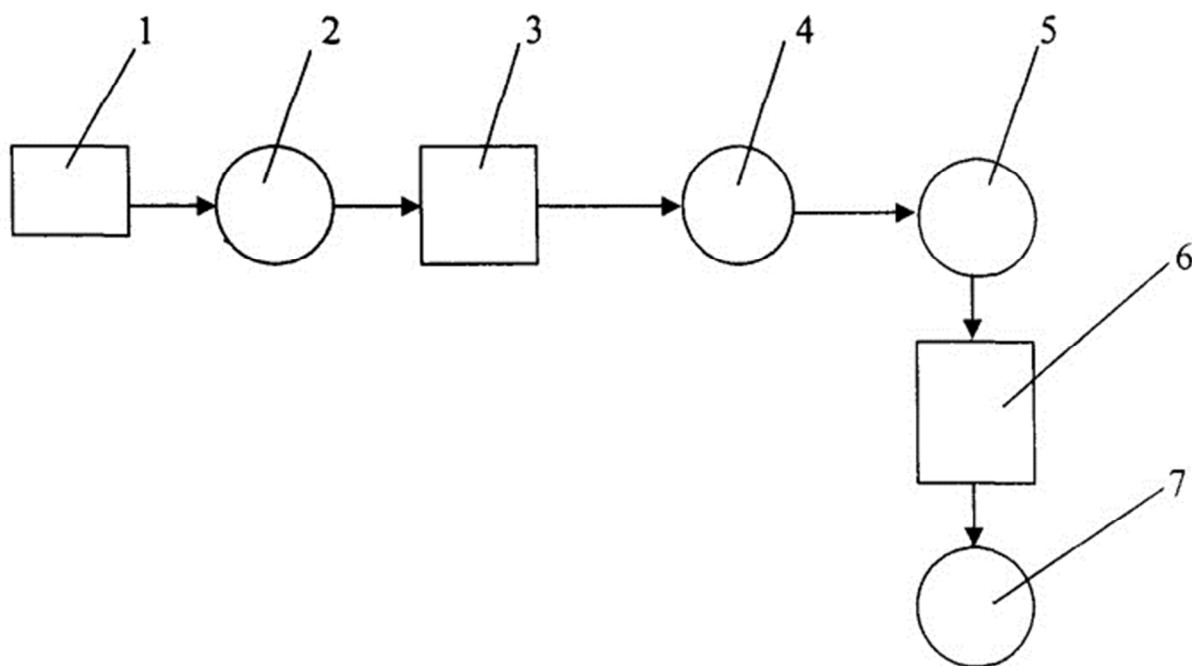


Рис. 2. Процес отримання натрію-22 з опроміненої протонами мішені

На Рис.2 прийняті такі позначення: 1 – опромінення мішені з Mg на У-240 2 – витримка мішені до розпаду короткоживучих радіонуклідів, 3 – вирізка центральної частини мішені в «гарячих» камерах реактора, 4 – вимірювання активності вирізаної частини мішені з визначенням радіонуклідного складу мішені з Mg, 5- центральна частина мішені з Mg, яка опромінена протонами, 6 - упарювання розчину до мінімального обсягу, 7 - нанесення упареного розчину на підкладку джерела, герметизація джерела, вимірювання його параметрів та розробка технічної документації.

У результаті отримано 10 мл розчину хлориду натрію -22 ($^{22}\text{Na Cl}$) активністю 10 мкКюрі.

Сконструйована зварна мішень дозволить робити напрацювання радіонуклідів ^{22}Na в екстремальних умовах теплових і радіаційних навантажень в обмеженому просторі прискорювальної камери циклотрона та спроможна протягом всього часу опромінення (до кількох годин) витримувати без руйнації ці навантаження.

Завдяки описаному вище пристрою з'явилась можливість напрацювання різних радіонуклідів після опромінювання мішеней інтенсивним внутрішнім пучком протонів циклотрона.

Автори висловлюють подяку колективу циклотрона У-240 за безперебійну роботу циклотрона протягом всього часу опромінення.

ЛІТЕРАТУРА

1. Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ Хабаршысы - Вестник ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, 2011, No 6

2. Yu.I. Vereshchagin, V.A. Zagryadskiy, and V.N. Prusakov
Cyclotron ^{82}Sr production for medical applications, Nuclear
Instruments and Methods in Physics Research, A.334(1993) 246-
248
3. Л.В. Михайлов, А.І. Устинов, Л.Г.Макаренко, А.І. Піскарьов,
О.М. Ковальов «Опромінювальна установка для напрацювання
ізоотопів стронцію-82 на ізохронному циклотроні У-240»,
Ядерна фізика та енергетика т.17, № 4, 2017 с. 425-429.
4. Г.К. Харченко, Ю.В. Фальченко, О.А. Навоминец, В.Ф.
Горбань «Диффузионная сварка в вакуумехрома с медью».
Автоматическая сварка № 7, 2022 с.41.
5. П.П. Дмитриев, Выход радионуклидов в реакциях с
протонами, дейтронами, альфа-частицами и гелием-3.
Справочник. Москва, Энергоиздат 1986. С. 52.

**L.V. Mykhailov^{1*}, A.Yo. Kolosov¹, M.V. Makovskyi¹,
A.I. Piskarev¹, T.P. Rudenko¹, V.M. Sheve¹, Yu.V. Falchenko²,
L.V. Petrushynets², V.E. Fedorchuk²**

*¹Institute of Nuclear Research of the National Academy of Sciences of
Ukraine, Kyiv, Ukraine*

*²E.O. Paton Electric Welding Institute of the National Academy of
Sciences of Ukraine*

* Corresponding author: L.V. Mikhailov

**RECEIVING THE ²²Na ISOTOPE USING THE DEVELOPED
DEVICE FOR IRRADIATION OF THE TARGET WITH THE
INTERNAL PROTON BEAM OF THE U-240 CYCLOTRON**

An installation for obtaining isotopes using the intense internal beam of protons on the U-240 cyclotron has been developed.

The designed target for obtaining the ²²Na isotope under difficult conditions of heat and radiation loads in the limited space of the cyclotron accelerator chamber. Radiochemical isolation of the ²²Na isotope was carried out.

Keywords: rfdionuclide, protons, target, irradiation, half-life period, energy of gamma quanta, diffusion welding methods, radiation chemistry methods.