

## **ВАКУУМНОЕ ОКНО ДЛЯ ПУЧКОПРОВОДА ЦИКЛОТРОНА ИВА С18 TWIN**

А.А. МАНУКЯН

Национальная Научная Лаборатория им. А. Алиханяна, Ереван, Армения

\*e-mail: a.manukyan@aanl.am

(Поступила в редакцию 27 ноября 2023 г.)

Приведены данные по разработке и созданию вакуумного окна, которое позволит вывести протонный пучок циклотрона С18 (ИВА, Бельгия) с энергией 18 МэВ из вакуумной среды в атмосферу. Модуль вакуумного окна сделан из алюминия и состоит из фланца с коллиматором и камеры гелиевого (He) охлаждения листов фольги. Модуль установлен на конце пучкопровода циклотрона. Произведены измерения профилей для различных значений тока протонного пучка от 1 до 30 мкА. Вакуумное окно показало свою работоспособность.

### **1. Введение**

Циклотрон С18 (ИВА, Бельгия) [1] предназначен для изготовления медицинских изотопов. Циклотрон установлен в ЗАО «Центр по Производству Изотопов» [2]. Для нужд экспериментаторов Национальной Научной Лаборатории им. А. Алиханяна ННЛА (Ереванский физический институт) организован вывод пучка в экспериментальный зал. С этой целью был оборудован пучкопровод, оканчивающийся модулем твердотельной мишени. Многие отделы и лаборатории ННЛА проводят на нем свои исследовательские проекты, от производства изотопов и ядерной физики до материаловедения [3–6].

Но также есть эксперименты, при которых нужен «открытый» пучок (в атмосфере), в том числе и эксперименты, связанные с исследованиями по получению радиоизотопов. Подобные эксперименты для получения медицинских радиоизотопов с выведенным пучком на самодельном мишенном модуле ставились и на линейном электронном ускорителе LUE-50/75 ННЛА [7–17]. Данная техника используется в мире уже давно. Приняв во внимание все эти аспекты, в «Отделе исследования и производства изотопов» ННЛА был разработан и создан модуль вакуумного окна, который позволяет вывести протонный пучок в атмосферу.

### **2. Вакуумное окно**

Вся система циклотрона и пучкопровода находится под вакуумом; это сделано для того, чтобы протонный пучок во время ускорения и облучения мишеней на своем пути встречал по возможности мало частиц. Вакуумное окно, которое позволит вывести пучок из вакуумной среды в атмосферу, должно соответствовать нескольким условиям: фольга окна должна быть максимально тонкой, для

того чтобы протонный пучок терял в ней минимальное количество энергии; материал всего модуля должен, по возможности, мало активироваться во время облучения для удобства последующего обслуживания; модуль должен быть оснащен коллиматором для формирования пучка; окно и коллиматор должны охлаждаться, поскольку пучок, падая на них, выделяет тепло, которое должно отводиться.

Взяв за основу вышеперечисленные критерии и опыт по работе и обслуживанию модуля твердотельных мишеней Nirta Solid Compact Model TS06 компании ELEX Comerce [18], было разработано вакуумное окно (оконный модуль). Модуль состоит из следующих частей (рис.1): Фланец с коллиматором, который позволяет подсоединить его к выходу пучкопровода, охлаждается с помощью воды и герметично закрыт крышкой. Фланец с коллиматором и вакуумное окно разделены тefлоновым изолятором, что позволяет считывать значения тока с коллиматора. Это нужно для регулирования пучка, для получения наилучшего выхода. Само окно состоит из двух листов фольги нержавеющей стали толщиной в 50 мкм каждая, а между ними находится камера гелиевого охлаждения. В качестве охладителя был выбран чистый гелий учитывая его теплообменную характеристику. Отверстие коллиматора, которое проходит через все вакуумное окно имеет диаметр в 12 мм.

Вакуумное окно разработано и произведено в ННЛА, и было установлено на пучкопровод для дальнейших испытаний.

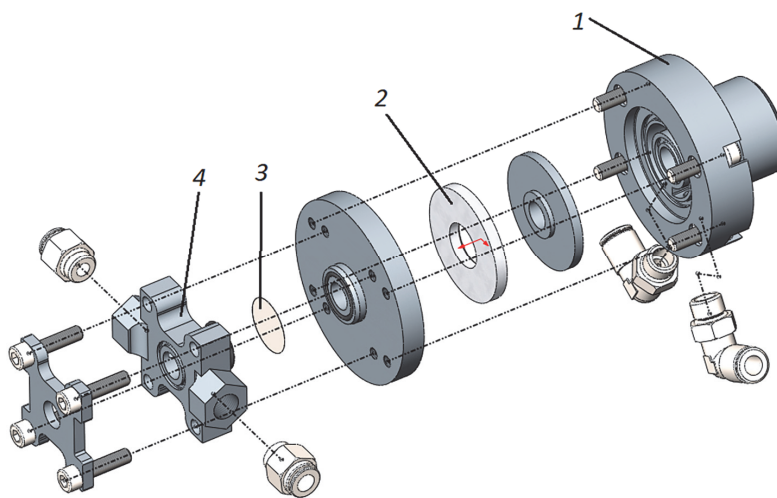


Рис.1. Конструкция вакуумного окна: 1 – коллиматор-фланец, 2 – изолятор, 3 – окно (фольга) из нержавеющей стали, 4 – камера гелиевого охлаждения.

### 3. Выбор материалов и испытания

Корпус модуля сделан из алюминия, поскольку алюминий очень мало активируется под протонным пучком данной энергии. В нем производится только два радиоактивных изотопа:  $^{26}\text{Al}$  с периодом полураспада в  $7.17 \times 10^5$  года и  $^{27}\text{Si}$  периодом полураспада в 4.15 сек (рис.2). Для расчетов были взяты за основу данные веб ресурса «TALYS-based evaluated nuclear data library TENDL-2019» [19].

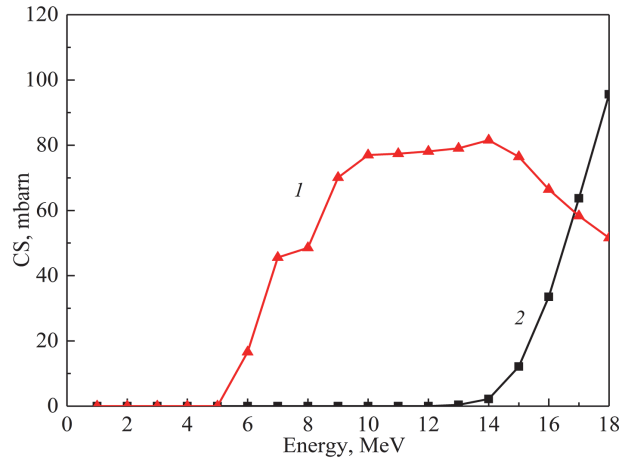


Рис.2. Сечения всех возможных радиоизотопов, которые производятся в алюминии с помощью реакции  $^{27}\text{Al}(p,x)$  при энергии до 18 МэВ: 1 –  $^{27}\text{Si}$  ( $T_{1/2} = 4.7$  сек), 2 –  $^{26}\text{Al}$  ( $T_{1/2} = 7 \times 10^5$  года).

Все соединения и фитинги выполнены из нержавеющей стали, а прокладки из материала NBR (nitrile butadiene rubber), который не производит газов под вакуумом. Выбор фольги пал на имеющуюся в наличии нержавеющую сталь толщиной в 50 мкм. Согласно расчетам и симуляции программой TRIM/SRIM [20], протонный пучок, проходя через два листа фольги и гелиевый слой, теряет около 1.5 МэВ энергии.

После инсталляции, модуль был протестирован под пучком 1 мкА и выдержал нагрузки. Не было замечено деформаций или повреждений фольги, теплообмен прошел нормально, не было утечки воды из коллиматора, была замечена только маленькая утечка гелия, которая впоследствии была устранена. После всех тестов был измерен профиль пучка, с помощью станции вибрирующих струн [21]. Измерения были проведены на расстоянии в 62 мм от конца модуля, результаты приведены на рис.3.

После того как модуль доказал свою работоспособность было решено модернизировать его, что позволит также измерять интенсивность пучка, который будет проходить через него. Модуль был оснащен вторым токосъемником,

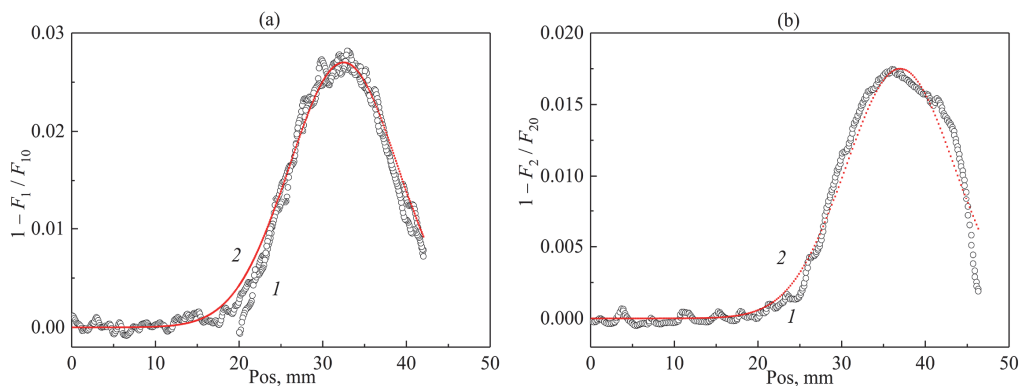


Рис.3. Профиль пучка (а) в горизонтальной и (б) в вертикальной плоскостях: 1 – экспериментальные данные, 2 – фитирование по Гауссу.

который считывает ток с выходного окна для того, чтобы экспериментаторы имели всю информацию о пучке. С такой конфигурацией было произведено тестовое облучение длительностью три часа, ток пучка менялся от 1 до 30 мкА шагом 1 мкА каждые 5–6 минут. Модуль выдержал все нагрузки, листы фольги не были повреждены. В течение облучения также был измерен профиль пучка с разными интенсивностями. Было замечено, что без каких-либо вмешательств оператора в коррекцию положения пучка, его центр, при включении циклотрона, смещен влево и вверх, если смотреть на пучок (рис.4).

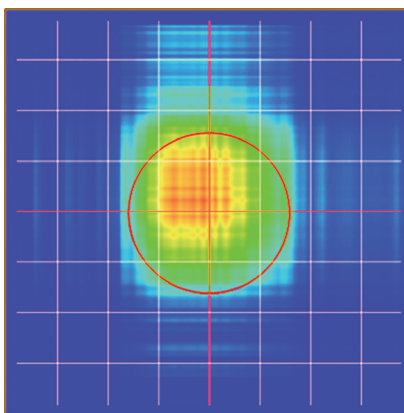


Рис.4. Реконструкция профиля пучка при токе  $I_p = 5$  мкА.

#### 4. Заключение

Разработан и испытан модуль вакуумного окна для вывода протонного пучка из пучкопровода циклотрона С18 (IBA, Belgium) в атмосферу с энергией 18 МэВ. Материалы, такие как алюминий, для корпуса модуля, все прокладки и фитинги были выбраны правильно, но в будущем планируется испытать другие материалы вместо нержавеющей стали для фольги. Произведенные облучения показали, что модуль выдерживает пучок интенсивностью до 30 мкА. Данный модуль — это первый шаг в разработке специального оборудования для циклотрона и пучкопровода отделом по Исследованию и производству изотопов. Опыт, полученный во время работы над этим устройством, помог нам понять возможные проблемы, которые могут появиться во время проектирования следующих устройств, таких как модули с автозагрузкой мишенных материалов и других специальных мишенных модулей.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Комитета по высшему образованию и науке МОНКС РА в рамках научного проекта № 21Т-2G279.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. <https://www.iba-radiopharmasolutions.com/cyclotrons>.
2. <https://www.petct-armenia.am/en/>.
3. G.H. Hovhannisyan, T.M. Bakhshiyani, G.V. Martirosyan, R.K. Dallakyan, A.R. Balabekyan. *The European Physical Journal A*, **59**, 161 (2023).
4. R.V. Avetisyan, A.G. Barseghyan, Yu.A. Garibyan, A.V. Gyurdjinyan, I.A. Kerobyan, H.A. Mkrtchyan. *J. Contemp. Physics*, **56**, 1 (2021).
5. C.R. Ader, M.L. Alvarez, J.S. Batko, R. Campos, M.W. McGee, A.C. Watts.

- Accelerator Vacuum Windows. Int. Particle Accelerator Conf. (10th), 2237–2239 (2019).
6. **V.V. Arzumanyan**. Armenian Journal of Phys., **15**, 7 (2022).
  7. **R.H. Avagyan, A.E. Avetisyan, I.A. Kerobyan, S.P. Taroyan, A.S. Danagulyan, R.M. Mirzoyan, K.S. Bunyatov, R.Ts. Sargsyan, S.A. Galumyan, V.S. Yeganov, A.A. Ogan- esyan, H.S. Vartanyan, V.B. Gavalyan, V.Ts. Nikogosyan, V.S. Ayrapetyan, A.Z. Ba- bayan, A.A. Matosyan, S.V. Jamkochyan, R.K. Dallakyan**. J. Contemp. Phys., **47**, 5 (2012).
  8. **R.K. Dallakyan**. Armenian Journal of Physics, **6**, 45 (2013).
  9. **R.H. Avakian, A.E. Avetisyan, R.K. Dallakyan, I.A. Kerobyan**. Armenian Journal of Physics, **6**, 35 (2013).
  10. **R.H. Avagyan, A.E. Avetisyan, R.K. Dallakyan, I. A. Kerobyan**. Nuclear Medicine and Biology, **41**, 705 (2014).
  11. **A.S. Danagulyan, G.H. Hovhannisyan, T.M. Bakhshiyani, R.H. Avagyan, A.E. Avetisyan, I.A. Kerobyan, R.K. Dallakyan**. Physics of Atomic Nuclei, **77**, 1313 (2014).
  12. **R.H. Avagyan, A.E. Avetisyan, I.A. Kerobyan, R.K. Dallakyan, G.H. Hovhannisyan, A. Melkonyan**. EPJ Web of Conferences, **93**, 08001 (2015).
  13. **A.S. Danagulyan, G.H. Hovhannisyan, T.M. Bakhshiyani, R.H. Avagyan, A.E. Avetisyan, I.A. Kerobyan, R.K. Dallakyan**. Physics of Atomic Nuclei, **78**, 447 (2015).
  14. **R.H. Avagyan, A.E. Avetisyan, R.K. Dallakyan, I. A. Kerobyan, G.S. Harutyunyan, G. Avdalyan, N. Dobrovolsky, V. Gavalyan**. Nuclear Medicine and Biology, **47**, 44 (2017).
  15. **G.H. Hovhannisyan, T.M. Bakhshiyani, R.K. Dallakyan**. Nuclear Instruments and Meth- ods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms., **498**, 48 (2021).
  16. **R.V. Avetisyan, A.E. Avetisyan, A.G. Barseghyan, R.K. Dallakyan, Yu.A. Gharibyan, A.V. Gyurjinyan, I.A. Kerobyan, H.A. Mkrtychyan**. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms., **507**, 7 (2021).
  17. **M. Krmar, N. Jovančević, D. Maletić, Ž. Medić, D. Knežević, M. Savić, Yu. Teterev, S. Mitrofanov, K. D. Timoshenko, S. I. Alexeev, H. Marukyan, I. Kerobyan, R. Avetisyan, L. Poghosyan, R. Dallakyan, A. Hakobyan, L. Vahradyan, H. Mkrtychyan, A. Petrosyan**. The European Physical Journal A, **59**, 170 (2023).
  18. <https://www.elexcomm.com/product/539d84643beb6ec14b00000d>.
  19. [https://tendl.web.psi.ch/tendl\\_2019/tendl2019.html](https://tendl.web.psi.ch/tendl_2019/tendl2019.html).
  20. <http://www.srim.org>.
  21. **M.A. Aginian, A.P. Aprahamian, S.G. Arutunian, G.S. Harutyunyan, E.G. Lazareva, L.M. Lazarev, A.V. Margaryan, L.A. Shahinyan, R.K. Dallakyan, A.A. Manukyan, V.K. Elbakyan, G.A. Hovhannisyan, G.E. Elbakyan, M. Chung, D. Kwak**. J. Contemp. Physics, **56**, 297 (2021).

## VACUUM WINDOW FOR IBA C18 TWIN CYCLOTRON'S BEAMLINER

A.A. MANUKYAN

This article provides data on the development and creation of a vacuum window module, which will bring out the proton beam of the C18 cyclotron (IBA, Belgium) with energy of 18 MeV from a vacuum environment into the atmosphere. The module is made of aluminum and consists of a flange with collimator and a helium (He) cooling chamber for foil. It was installed at the end of the cyclotron's beam line. Profile measurements were made for proton beam various current values from 1 to 30  $\mu\text{A}$ . The window module showed its functionality.