



Sci. and Tech. note

یادداشت علمی و فنی

طراحی و ساخت نوع جدیدی از نگهدارنده برای هدفهای جامد در شتابدهنده‌های سیکلوترون IBA-Cyclone 30

پژمان روشن‌فرزاد^{۱*}، محمدتقی بحرینی طوسی^۲، حسین آفریده^۳، مهشید ثابت^۱
۱- مرکز تحقیقات کشاورزی و پزشکی هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی ایران، صندوق پستی: ۴۹۸-۳۱۴۸۵، کرج - ایران
۲- گروه فیزیک پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی مشهد، صندوق پستی: ۹۱۷۳۵-۱۵۳، مشهد - ایران
۳- دانشکده فیزیک، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، صندوق پستی: ۴۴۱۳-۱۵۸۷۵، تهران - ایران

واژه‌های کلیدی: هدفهای جامد، شتابدهنده‌ها، نگهدارنده‌های کشویی،
نگهدارنده‌های نمونه، سیکلوترون، ساخت، طراحی

Design and Manufacturing of New Target Holders for Solid Targets in IBA-Cyclone 30 Accelerators

P. Rowshanfarzad^{*1}, M.T. Bahreyni², H. Afarideh³, M. Sabet¹

1- Nuclear Research Center for Agriculture and Medicine, AEOI, P.O. Box: 31485 - 498, Karaj - Iran

2- Medical Physics Dpt., Mashhad University of Medical Sciences, P.O. Box: 91735-153, Mashhad - Iran

3- Faculty of Physics, Amirkabir University of Technology, P.O. Box: 15875-4413, Tehran - Iran

Abstract: In this article, different types of cyclotron solid targets and their advantages and disadvantages are discussed and a new design is introduced for solid targets of IBA-Cyclone 30 cyclotrons for the first time. In this new targetry, the number and depth of the back grooves for coolant passage were changed. The target material was placed behind an aluminum drawer for bombardment. For this reason the new targetry was named drawer backings. Thus we were able to bombard powders of the target material. These backings have unique capabilities: metallic salts can be bombarded behind the drawer holders and chemical separation may be performed with higher yields and lower costs with respect to other methods. The bombardment may be repeated many times with the same backing. The drawer avoids the presence of contaminant nuclides in the final product.

Keywords: solid targets, accelerators, Drawer backings, sample holders, cyclotron, manufacturing, design

*e-mail:

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۸۲/۱۲/۲ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۸۳/۱۰/۲۱
prowshanfarzad@nrcam.org

انرژی‌های ۱۵ و ۳۰ مگا الکترون
ولت دارد. این شتابدهنده به
منظور تولید رادیوایزوتوپ‌های
مورد استفاده در پزشکی نصب و

۱- مقدمه
شتابدهنده سیکلوترون سازمان
انرژی اتمی ایران قابلیت شتابدهی
دوترون و پروتون را به ترتیب تا



استفاده از روش‌های شیمیایی دقیق‌تر و طولانی‌تر ضروری است، در نتیجه هزینه بالاتر می‌رود و مقدار پرتوگیری کاربر بیشتر می‌شود.

۲-۱) لایه‌نشانی تبخیری

در روش لایه‌نشانی تبخیری، فلز مورد نظر تصعید می‌شود و بر روی زیرلایه می‌نشیند. شرایط لایه‌نشانی باید به گونه‌ای باشد که لایه از چسبندگی لازم برخوردار بوده و به صورت تاول یا پودر در نیاید [۱]. معایب این روش به شرح زیر است:

- لایه‌نشانی تبخیری فقط برای نشان دادن لایه‌های نازک مناسب است و برای هدف‌های ضخیم قابل استفاده نیست.

- در لایه‌نشانی تبخیری وجود ناخالصی حاصل از تماس محلول شوینده با زیرلایه، اجتناب ناپذیر است. بنابراین، معایب بندهای ستاره‌دار (*) مربوط به روش آبکاری در این شیوه نیز وجود دارند.

- ساختار لایه نشانده شده به روش تبخیر ایجاب می‌کند که از جریان‌های باریکه‌ای کمتر استفاده شود، زیرا در این روش یونها به صورت کاتوره‌ای بدون ایجاد شبکه بلوری منظم بر روی هم قرار می‌گیرند، این امر در کیفیت لایه ایجاد شده نقش مهمی دارد.

۳-۱) هدف‌های آلیاژی

در هدف‌های آلیاژی، درصد مشخصی از عنصر مورد نظر با فلزات دیگر ترکیب می‌شود و آلیاژ حاصل ماده هدف را تشکیل می‌دهد. این آلیاژ بر روی زیرلایه ذوب شده و هدف را تشکیل می‌دهد. هدف‌های آلیاژی مزیت‌های زیر را دارند:

- به سبب مناسب بودن ضریب انبساط آلیاژها، هدف از زیرلایه جدا نمی‌شود.

- به سبب اتصال کامل هدف با زیرلایه، انتقال حرارت بطور مطلوب انجام می‌گیرد، در نتیجه

راه‌اندازی شده و تاکنون رادیوایزوتوپ‌های متعددی در این مجموعه تولید شده است.

یکی از مهمترین مراحل تولید رادیوایزوتوپ در شتابدهنده‌ها، طراحی و ساخت هدف است. ماده هدف در سیکلوترون ممکن است به صورت جامد، مایع یا گاز باشد. هدف‌های جامد خود به روش‌های گوناگونی تهیه می‌شوند که از آن جمله می‌توان به لایه‌نشانی تبخیری (۱)، آبکاری (۲)، لایه‌نشانی تبخیری (۲)، هدف‌های آلیاژی (۳) و هدف‌های فشرده (۴) اشاره کرد.

۱-۱) روش آبکاری

در روش آبکاری، فلز مورد نظر بر روی نگهدارنده هدف (که معمولاً از جنس مس است) آبکاری می‌شود. مزیت روش آبکاری قابلیت تحمل جریان‌های بالا است، اما معایب و محدودیت‌هایی نیز دارد که از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- تنها تعداد کمی از فلزات را می‌توان بر روی زیرلایه آبکاری کرد.

- برای دستیابی به بیشینه بهره تولید (آکتیویته حاصل به ازای واحد جریان باریکه پرتو)، لایه آبکاری شده باید ضخیم باشد که تهیه آن در بیشتر موارد دشوار است.

*- در مرحله جداسازی رادیوشیمیایی، تماس محلول شوینده با فلز زیرلایه اجتناب ناپذیر است. بنابراین، جداسازی یون‌های فلز زیرلایه نیاز به ساز و کار خاص خود دارد، زیرا وجود این یونها در جداسازی رادیوشیمیایی محصل، اختلال ایجاد می‌کند.

*- بر اثر واکنش پرتابه با فلز زیرلایه، تعدادی رادیوایزوتوپ ناخواسته تولید می‌شود که جداسازی آنها از محصول نهایی ضروری است.

*- در مورد عناصر گرانبه‌تر برای بازیابی (۵) ماده هدف به دلیل وجود مقدار زیادی یون فلزی،



نگهدارنده‌های هدف^(۱) از جنس مس به ابعاد تقریبی $۱۲*۳*۰/۷$ سانتی متر ساخته می‌شوند. نمونه‌ای از این هدف‌های جامد در شکل ۱ نشان داده شده است.

به دلایل پیش گفته، ساخت هدف‌هایی با ضخامت مناسب و شرایط مطلوب، برای تولید رادیوایزوتوپ‌های جدید، ضروری به نظر می‌رسید. بنابراین، پس از بررسی‌های لازم تصمیم به ساخت این هدف‌ها گرفته شد، و هدف‌های کشویی برای نخستین بار در بخش سیکلوترون سازمان انرژی اتمی ایران ساخته شدند که در نوع خود بین هدف‌های جامد بی‌نظیرند. در طراحی این نوع هدف‌ها، پس از چندین مرحله آزمون و خطا،



شکل ۱- نمونه‌ای از هدف‌های متداول در سیکلوترون (آبکاری Zn بر روی زیرلایه مسی)

تغییراتی در نگهدارنده سیستم هدف‌های جامد سیکلوترون Cyclone-30 Mark II به عمل آمد. بطوری که در شکل ۲ مشاهده می‌شود در هدف‌های متداول، سطح رویی نگهدارنده هدف صاف است و فلز هدف روی این سطح آبکاری می‌شود. در سطح پشتی، ۶ شیار هر یک به عمق ۳ میلی‌متر وجود دارد. این شیارها به منظور افزایش سطح مؤثر برای خنک کردن هدف با جریان آب به هنگام بمباران پیش‌بینی شده‌اند. عمق شیارها به اندازه‌ای است که تنها ۱ میلی‌متر با سطح رویی هدف فاصله دارند.

هدف جریان‌های باریکه‌ای بالا را تحمل می‌کند.

- این نوع هدف‌ها اشکالاتی هم دارند، از جمله:

- دشوار بودن جداسازی شیمیایی محصول به دلیل وجود عناصر دیگر، موجب می‌شود که برای این منظور از روش‌های دقیقی مانند ترموکروماتوگرافی و کروماتوگرافی معادله آنیونی استفاده شود [۲].

- به دلیل وجود عناصری غیر از عنصر مورد نظر در آلیاژ (هدف)، رادیوایزوتوپ‌های ناخواسته‌ای تولید می‌شوند که باید پس از شناسایی، با روش‌های جداسازی شیمیایی دقیق از محصول جدا شوند.

۱-۴ هدف‌های فشرده

در این نوع هدف‌ها، یک ترکیب شیمیایی حاوی ایزوتوپ مورد نظر به صورت پودر بر روی نگهدارنده هدف فشرده می‌شود. بعد از فشردن پودر، در مواردی مجموعه در دمای بالا (مثلاً ۹۰۰°C در مورد WO_3) حرارت داده می‌شود تا به درجه استحکام لازم برسد [۳ و ۴]. پودر فشرده شده پس از بمباران، به وسیله محلول شوینده از نگهدارنده جدا می‌شود. مزایای هدف‌های فشرده عبارتند از:

- امکان ساخت هدف‌های متنوع با ترکیب‌های مختلف
- سهولت ساخت هدف
- انتقال حرارتی نسبتاً مناسب بین ماده هدف و نگهدارنده آن
- معایب این هدف‌ها به طور خلاصه عبارتند از:
- احتمال جدا شدن هدف از زیرلایه به علت تفاوت ضریب انبساط آنها
- مشکلات مربوط به انحلال زیرلایه در مرحله جداسازی شیمیایی که در روش آبکاری موجود است، در این روش نیز وجود دارد.

۲- روش کار

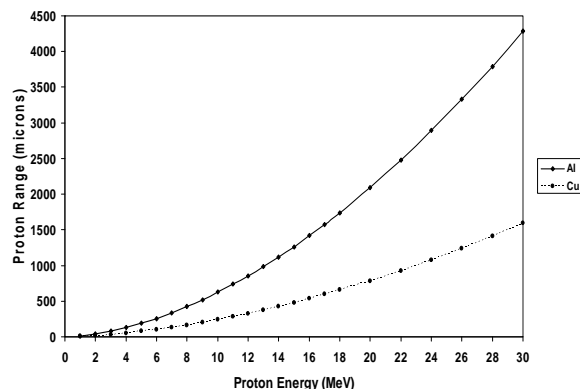
هدف‌های جامد به‌منظور بمباران در سیکلوترون سازمان انرژی اتمی ایران، به طور معمول به روش آبکاری لایه ضخیم تهیه می‌شوند.



داد که ضریب انتقال حرارتی مس حدود دو برابر آلومینیوم است ($k_{Al} = 48$ و $k_{Cu} = 93 \text{ cal/m} \cdot \text{C} \cdot \text{s}$). علاوه بر این، آلومینیوم بر اثر بمباران، کمتر آکتیو می‌شود و نیمه عمر محصولات واکنش آن با پرتابه پروتون در گستره انرژی $0-30 \text{ MeV}$ کوتاهتر است [۵ و ۶ و ۷]. مقایسه توان بازداري (۷) مس و آلومینیوم با اجرای کد هسته‌ای SRIM انجام شد [۸]. نتایج به دست آمده از این کد در شکل ۴ نشان داده شده است و حاکی از کمتر بودن توان بازداري آلومینیوم نسبت به مس می‌باشد. با توجه به همه موارد مورد نظر، آلومینیوم به عنوان مناسبترین فلز برای ساخت کشو انتخاب شد.



شکل ۳- تغییرات اعمال شده در ابعاد و تعداد شیارهای پشت نگهدارنده



شکل ۴- نمودار نتایج کد SRIM برای مقایسه برد پرتابه در مس و آلومینیوم

د- ساخت قالب مخصوص شکل‌دهی (سنبه - ماتریس) به ابعاد متناسب با کشو:

تغییرات انجام شده در طراحی نگهدارنده‌ها به طور خلاصه به شرح زیر است:

الف- تغییر در ابعاد و تعداد شیارهای مسیر خنک‌کننده:

با توجه به نازک بودن ضخامت بین شیارها و سطح رویی نگهدارنده، ابتدا ایجاد خزینه‌ای برای قرار دادن کشو حاوی پودر ماده هدف غیرممکن به نظر می‌رسید. پس از چند بار تغییر در طراحی سیستم، عمیق شیارهای پشتی نگهدارنده کاهش داده شد



شکل ۵- نمایی از سطح‌های رویی و پشتی نگهدارنده

و تعداد آنها از ۶ به ۱۰ شیار افزایش یافت. در نتیجه، کاهش حجم جریان آب با افزایش تعداد شیارها جبران شد. تغییرات اعمال شده در ابعاد و تعداد شیارها در شکل ۳ نشان داده شده است.

ب- ایجاد فضایی بر روی نگهدارنده هدف به منظور جای دادن کشو:

در دو طرف نگهدارنده شیار تعبیه شد بطوریکه بتوان ورقه‌ای به شکل کشو به ضخامت ۱ میلی‌متر به آسانی در آن جای داد.

ج- ساخت کشو:

جنس کشو می‌بایست به گونه‌ای انتخاب می‌شد که ضریب انتقال حرارتی بالایی داشته باشد تا در اثر بمباران کمتر آکتیو شود و توان بازداري کمتری در برابر باریکه پروتون نشان دهد تا اتلاف انرژی باریکه قبل از رسیدن به هدف کمتر باشد. از بین متداولترین و ارزانترین فلزات، مس و آلومینیوم واجد این شرایط بودند. مقایسه این دو ماده نشان



نگهدارنده‌های جدید به طور خلاصه به شرح زیر است:

- امکان بمباران کلیه مواد جامد بدون نیاز به آبکاری یا هر گونه عملیات ویژه
- امکان استفاده از نمکهای فلزی به جای فلز خالص در مواردی که مقرون به صرفه باشد
- سهولت جداسازی شیمیایی به لحاظ انحلال سریعتر و راحتتر نمکهای فلزی در حلالهای معدنی
- امکان انحلال قرص هدف در حلال بدون تماس آن با مس یا آلومینیوم کشو، که به سبب جلوگیری از ورود ناخالصیهای آکتیو و غیرآکتیو به محصول، موجب سهولت جداسازی شیمیایی میشود و مقرون به صرفه است.
- تکرارپذیری بمباران با یک نگهدارنده، که موجب صرفه‌جویی در هزینه‌ها میشود.

طراحی و ساخت نگهدارنده‌های جدید، دریچه نوینی را به روی روشهای تولید رادیوایزوتوپها در سیکلوترونهای IBA-Cyclone 30 گشوده است. ویژگیهای خاص این نوع نگهدارنده‌ها متضمن سهولت کاربرد آنهاست و راه را برای ساخت هدفهای متنوع هموار میکند. تاکنون تحقیق در زمینه تولید تعدادی از رادیوایزوتوپها با استفاده از این نوع نگهدارنده‌ها با موفقیت انجام گرفته است و بررسی در این زمینه ادامه دارد. به این ترتیب امکان تحقیق در زمینه اثرات دوترون و پروتون در گستره وسیعی از مواد جامد و بررسی نمونه‌های زیست‌شناختی و تحقیقات کشاورزی، همچنین تولید رادیوایزوتوپهایی که به سبب دشواری ساخت هدف، تاکنون امکان تولید آنها در این سیکلوترونها وجود نداشته فراهم آمده است.

تشکر و قدردانی

بدینوسیله از حمایت‌های معاونت محترم بخش سیکلوترون و همچنین همکاری‌های بی‌دریغ آقای فرهاد صفری در کارگاه تراشکاری مرکز تحقیقات کشاورزی و پزشکی هسته‌ای تشکر و قدردانی می‌شود.

سنبه-ماتریس از جنس فولاد SPK ساخته شد. پودر ماده هدف در سنبه-ماتریس فشرده شده به صورت قرص درمی‌آمد و درون کشوی آلومینیومی قرار داده می‌شد. به منظور جلوگیری از اتلاف محصول و محفوظ ماندن آن، ورقه نازک مسی به ضخامت ۰/۶ میلی‌متر پشت ماده هدف را در بر می‌گرفت. به این ترتیب ماده هدف بین کشوی آلومینیومی و ورقه مسی قرار داشت. تصویر نگهدارنده، کشو و قرص هدف در شکل ۵ نشان داده شده است.



شکل ۵- تصویری از نگهدارنده، کشو و قرص هدف

این مجموعه در محل مورد نظر در نگهدارنده مسی قرار داده می‌شد. پس از بمباران هدف، در اتاق آکتیویته بالا^(۸)، کشو به وسیله دستک بیرون کشیده شده و قرص فشرده موجود در آن به ظرف جداسازی شیمیایی منتقل می‌شد.

۳- بحث و نتیجه‌گیری

در این طراحی جدید، با وجود این که جریان باریکه نسبت به هدفهای آبکاری شده در تراز پایین‌تری است، مزایای کاربرد



- ε - Pressed Targets
- ο - Recovery
- ϖ - Backings
- γ - Stopping Power
- λ - Hot Cell

پینوشتها :

- ۱ - Electrodeposition
- ۲ - Evaporation
- ۳ - Alloy Targets

References:

1. A. D. Nunn, "Techniques for the preparation of thick and thin Arsenic targets suitable for cyclotron irradiation," *Nuclear Instruments and Methods*, 251-254 (1972).
2. G. Blessing, S.M. Qaim, "An improved internal Cu₃As-alloy cyclotron target for the production of ⁷⁵Br and ⁷⁷Br and separation of by-product ⁶⁷Ga from the matrix activity," *Appl.Radiat.Isot.* **35**(10), 927-931 (1984).
3. F. Helus, "Preparation of carrier-free Bromine-77 for medical use," *Radiochem. Radioanal. Letters*, 45-50 (1970).
4. K. X. Nghiem, L. Lakosi, "Isomer activation by bremsstrahlung from a 4 MeV Linac for element analysis," *Journal of Radioanalytical Chemistry.* **230**, 143-147 (1998).
5. I. R. Williams, C. B. Fulmer, "Excitation functions for radioactive isotopes produced below 60 MeV on Al, Fe, and Cu," *Physical Review.* **162**, 1055-1061 (1967).
6. S. M. Kormali, D. L. Swindle, E. A. Schweikert, "Charged particle activation of medium Z elements II. Proton excitation functions," *Journal of Radioanalytical Chemistry.***31**, 437-450 (1967).
7. A. Grutter, "Excitation functions for radioactive isotopes produced by protons produced by protons bombardment of Cu and Al in the energy range of 16 to 70 MeV," *Nuclear Physics A.* **383**, 98-108 (1982).
8. J. F. Ziegler, J. P. Biersack, U. Littmark, "The stopping and range of ions in matter (SRIM Code)", Version 2000 XX.