

طراحی هدف تنگستن برای تولید رنیوم-۱۸۶ از طریق واکنش $^{186}\text{W}(p,n)^{186}\text{Re}$

خالقی، مریم*^(۱) - میرزایی، محمد^(۲) - کاکاوند، طیب^(۱) - رجبی فر، سعید^(۲) - آردانه، خسرو^(۲) -
فضائلی، یوسف^(۲)

۱- دانشگاه زنجان، دانشکده علوم پایه، گروه فیزیک

۲- سازمان انرژی اتمی ایران، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، پژوهشگاه تحقیقات کشاورزی، پزشکی و صنعتی

چکیده:

رنیوم-۱۸۶ با نیمه عمر ۹۱ ساعت، ایزوتوپ گسیل کننده‌ی بتا است که از جمله ایزوتوپ های مهم در پزشکی هسته ای محسوب می شود. از جمله استفاده های این رادیو دارو درمان و تسکین درد متاستازهای استخوانی و درمان رماتیسم می باشد. تولید این رادیو ایزوتوپ در کشور تنها از طریق واکنش $^{186}\text{W}(p,n)^{186}\text{Re}$ امکان پذیر می باشد. در این پروژه، به طراحی هدف تنگستن، برای تولید رنیوم-۱۸۶ پرداخته شد و در نهایت با بکارگیری دو روش جدید لایه نشانی به روش رسوب دهی و روش قرصی، رنیوم-۱۸۶، در شتابدهنده سیکلوترون مرکز تحقیقاتی صنعتی، پزشکی، کشاورزی سازمان انرژی اتمی کشور، با بهره‌ی تولید نسبتا بالا تولید شد.

کلید کلیدی: رادیوایزوتوپ، شتابدهنده، سطح مقطع، Sedimentation، روش قرصی

مقدمه:

رنیوم-۱۸۶ با ۹۱ درصد واپاشی بتا منفی ایزوتوپ مناسبی در رادیو ایمونو تراپی محسوب می شود [۱،۲]، این ایزوتوپ را می توان از طریق واکنش نوترونی در راکتور تولید کرد [۳]، اما از آنجایی که اکتویته‌ی ویژه این ایزوتوپ در تولید با راکتور پایین است، تلاش می شود تا راهی مناسب برای تولید در شتابدهنده، پیدا شود. با توجه به محاسبات انجام شده با کدهای محاسباتی و امکانات موجود در کشور، واکنش $^{186}\text{W}(p,n)^{186}\text{Re}$ تنها روش مناسب برای تولید رنیوم-۱۸۶ محسوب می شود. در این پروژه‌ی تحقیقاتی به بررسی طراحی هدف تنگستن، جهت بمباران پروتونی در شتابدهنده پرداخته شد. قبل از پرداختن به طراحی هدف، محاسبات مربوط به سطح مقطع واکنش، جهت یافتن بازه‌ی انرژی مناسب برای شتابدهی پروتون انجام گرفت. با استفاده از این اطلاعات و با به کار گیری کدهای محاسباتی، ضخامت مورد نیاز هدف برای بمباران پروتونی، محاسبه شد. بر اساس داده‌های کد محاسباتی SRIM-2006، ضخامت مورد نیاز تنگستن، ۴۲۰ میکرون تخمین زده شد. پس از انجام محاسبات، باید ماده‌ی هدف را برای بمباران آماده کرد. زمانی که ماده ای تحت تابش ذرات پرانرژی قرار می گیرد، بخش عمده‌ای از انرژی ذرات باردار در اثر برخورد با ماده-

ی هدف ، به آن انتقال پیدا می‌کند. هر چه شدت جریان ذرات فرودی بیشتر باشد، انرژی انتقال یافته به ماده-
ی هدف افزایش می‌یابد و احتمال تخریب هدف ، بیشتر می‌شود. از طرفی دیگر، بهره‌ی تولید نسبت مستقیم
با شدت جریان ذرات فرودی دارد و برای بالا بردن اکتیویته ، باید جریان را بالا برد از اینرو باید تمهیداتی در
نظر گرفت که این انتقال انرژی ، سبب تخریب ماده‌ی هدف و از دست رفتن محصول نگردد. در نتیجه
انتخاب روش مناسب برای آماده سازی ماده‌ی هدف ، در روند تولید رادیوایزوتوپ مورد نظر ، از اهمیت
بالایی برخوردار است. روش های مختلفی برای آماده سازی هدف ، جهت تولید ایزوتوپ مورد نظر در
شتابدهنده وجود دارد. روش آبرکاری ، روش کاشت یونی ، لایه نشانی به روش رسوب دهی و روش قرصی
از جمله روشهای آماده سازی هدف می باشد.

روش کار:

در پژوهشکده‌ی پزشکی هسته‌ای سازمان انرژی اتمی ، برای آماده سازی ماده‌ی هدف به صورت جامد ،
باید ماده‌ی هدف را با روشی مناسب بر روی زیرلایه‌ی مسی نشانند. انتخاب مس به عنوان زیر لایه به دلیل
ارزان بودن و انتقال حرارت بسیار بالای آن است. از آنجایی که روش آبرکاری با ایجاد پیوند محکم شیمیایی
ذرات ماده‌ی هدف با زیر لایه ، امکان افزایش جریان و زمان بمباران را فراهم می کند و در نتیجه سبب
افزایش بهره‌ی تولید می شود، غالباً بهترین روش برای تولید محسوب می شود. که متاسفانه به علت ویژگی
های تنگستن امکان آماده سازی هدف با این روش وجود نداشت. علاوه بر این آزمایشاتی برای لایه نشانی
به روش کاشت یونی هم انجام گرفت که به دلیل دمای ذوب بسیار بالای تنگستن ، امکان لایه نشانی با این
روش نیز وجود نداشت.

روش لایه نشانی به روش رسوب دهی (Sedimentation):

روش دیگری که برای نشانندن تنگستن روی مس به کار گرفته شد، روش لایه نشانی به روش رسوب دهی
است [۴،۵،۶]. در این روش ، برای ایجاد یک لایه‌ی هدف روی زیرلایه‌ی مسی ، سوسپانسیون یکنواخت
حاوی ماده‌ی هدف ، اتیل سلولز به عنوان چسب و استون به عنوان حلال اتیل سلولز تهیه شد و پس از قرار
دادن محلول روی زیر لایه‌ی مسی به آن زمان داده می‌شود تا خود به خود تبخیر شود. با تغییر پارامترها و
رسیدن به شرایط بهینه ، می‌توان در نهایت به لایه‌ای با ضخامت مطلوب از ماده‌ی هدف بر روی زیرلایه‌ی
مسی رسید. نتایج حاصل از آزمایشات مختلف که در آنها تاثیر میزان اتیل سلولز و استون در کیفیت
چسبندگی ماده هدف بر روی زیر لایه بررسی شد، به ترتیب در جدول ۱ و ۲ آورده شده است. پس از

انجام آزمایشات و رسیدن به شرایط مطلوب برای لایه نشانی تنگستن روی زیر لایه مسی، هدف برای بمباران درون شتابدهنده‌ی سیکلوترون آماده شد.

روش قرصی:

زمانی که هدف به صورت قرصی پرس شده ساخته می‌شود و تحت بمباران قرار می‌گیرد، به صورت عمودی در مقابل بیم قرار گرفته و تابش دهی می‌شود. این شرایط هم میزان مصرفی ماده‌ی هدف را، افزایش می‌دهد و هم با کاهش امکان انتقال حرارت مناسب، سبب کاهش مقاومت هدف در برابر پرتو دهی می‌شود. طبق اطلاعات بدست آمده از پروژه‌هایی که پیش از این برای تولید ^{186}Re با این روش، انجام شده است، [۷،۸،۹] چون در این روش جریان ذرات فرودی را نمی‌توان بالا برد (بین ۱ تا ۴ میکروآمپر)، بهره‌ی تولید هم افزایش چندانی نمی‌یابد. در این پروژه، از روش جدیدی برای ساخت قرص های پرس شده استفاده شد. در این روش با بکارگیری تمهیداتی، مقاومت هدف در برابر پرتوهای فرودی، افزایش یافت و بدین ترتیب توانستیم با افزایش جریان و زمان بمباران، بهره‌ی تولید را افزایش دهیم. برای افزایش مقاومت پودر تنگستن پرس شده در مقابل جریان پروتونی، قرص درون یک محفظه‌ی آلومنیومی قرار می‌گیرد، جریان پروتونی پس از عبور از درپوش محفظه‌ی آلومنیومی به تنگستن برخورد می‌کند و واکنش‌های مورد نظر درون این محفظه انجام می‌گیرد. از آنجایی که محفظه با جریان آب خنک می‌شود، انتقال حرارت به خوبی انجام می‌گیرد و این انتقال حرارت مناسب، در نهایت افزایش بهره‌ی تولید را سبب می‌شود.

بمباران هدف:

پس از آماده سازی هدف های تنگستن، هدف ها درون شتابدهنده سیکلوترون مرکز تحقیقاتی پزشکی، صنعتی، کشاورزی سازمان انرژی اتمی قرار گرفتند تا تحت بمباران پروتونی قرار گیرند. هدفهای تنگستن آماده شده با روش Sedimentation با پروتون هایی با انرژی ۱۵ مگا الکترون ولت و جریان ۲۰ میکرو آمپر به مدت یک ساعت بمباران شد. خوشبختانه افزایش جریان تا این مقدار، تغییری در شکل ظاهری هدف ایجاد نکرد و موجب بر هم زدن خلاسیستم نشد. هدف های قرصی با پروتونهایی با انرژی ۲۳ مگا الکترون ولت بمباران شدند. این قرص ها با جریان ۳۰ میکروآمپر به مدت ۲ ساعت بمباران شدند. پیش‌بینی می‌شود با بکارگیری تمهیداتی برای هر دو روش، بتوان جریان را بیش از این نیز افزایش داد.

نتایج:



18th Iranian's Nuclear Conference

بر اساس آزمایشات انجام شده نسبت ۲۵ درصدین تنگستن و اتیل سلولز به همراه ۵ میلی لیتر استون ، بهترین شرایط را برای آماده سازی هدف فراهم می‌کند. لازم به ذکر است که برای رسیدن به شرایط بهینه ، دمای محیط آزمایشگاه، نحوه‌ی آماده سازی سوسپانسیون، زمان مناسب برای تبخیر محلول و سایر عوامل تاثیر گذار در آماده‌سازی هدف ، با انجام آزمایشات متعدد مورد بررسی قرار گرفت.

جدول ۱: نسبت‌های مختلف برای تنگستن و اتیل سلولز

Ethyle Cellolos (mg)	W/E.C %	Acetone (ml)	Tenacity	description
۲۰۰	۲۰	۵	متوسط	سطح ناهموار
۳۰۰	۳۰	۵	غیر قابل قبول	سطح بسیار ناهموار
۱۵۵	۱۷	۵	غیر قابل قبول	چسبندگی کم
۲۵۰	۲۵	۵	قابل قبول	چسبندگی مناسب

جدول ۲: مقادیر مختلف استون برای نسبت ۱ به ۴ تنگستن به اتیل سلولز

Ethyle Cellolos (mg)	W/E.C %	Acetone	Tenacity
۲۵۰	۲۵	۴	خوب
۲۵۰	۲۵	۵	عالی
۲۵۰	۲۵	۷	خوب
۲۵۰	۲۵	۱۰	نا مناسب

مشخصات جریان پرتونی، انرژی ذرات فرودی و زمان بمباران برای هدف های آماده شده با روش های ذکر شده در جدول ۳ آمده است.

جدول ۳: مشخصات بمباران هدف ها

زمان بمباران (h)	انرژی پروتون (MeV)	جریان پرتونی	هدف
۱	۱۵	۲۰	لایه نشانی روی مس
۲	۲۳	۳۰	قرص پرس شده

بحث و نتیجه گیری:

رنیوم-۱۸۶ را می توان در راکتور و شتابدهنده تولید کرد. از آنجایی که اکتویته‌ی ویژه در تولید با راکتور پایین است، تلاش شد تا این ایزوتوپ توسط شتابدهنده تولید شود.

در کارهای تحقیقاتی که تا کنون برای تولید رنیوم-۱۸۶ از طریق بمباران پرتونی تنگستن، انجام گرفته است، بهره‌ی تولید به علت طراحی هدف نامناسب، پایین بوده است. در این پروژه، با بکارگیری روشهای جدید لایه نشانی به روش رسوب دهی و روش قرص پرس شده درون محفظه‌ی آلومینیومی، هدف های تنگستن با مقاومت بالا آماده شدند. هدف های آماده شده به روش **Sedimentation** به مدت ۱ ساعت با جریان ۲۰ میکروآمپر تحت بمباران پرتونی با انرژی ۱۵ مگا الکترون ولت قرار گرفتند. هدف های قرصی با جریان ۳۰ میکروآمپر به مدت ۲ ساعت با پرتونهایی با انرژی ۲۳ مگا الکترون ولت بمباران شدند. با توجه به اینکه، پیش از این هدف های قرصی که برای تولید رادیو ایزوتوپها در شتابدهنده ساخته می شدند، مقاومت بسیار پایینی در برابر جریان ذرات فرودی داشتند، امکان افزایش جریان بیش از ۴ میکروآمپر وجود نداشت. از اینرو بهره‌ی تولید با این روش بسیار پایین بوده است. ساخت قرص های جدید در محفظه‌ی آلومینیومی، این امکان را فراهم می کند که جریان تا بیش از ۳۰ میکروآمپر افزایش یابد. بنابراین بهره‌ی تولید به مقدار قابل توجهی افزایش می یابد.

در این پروژه ایزوتوپ رنیوم-۱۸۶، با بهره‌ی تولید نسبتا بالایی تولید شد. بهره‌ی تولید این ایزوتوپ در استفاده از این روشها بیش از ۷۵٪ بهره‌ی تولید تئوری بوده است.

منابع:

1. Qaim. S.M , Therapeutic radionuclides and nuclear data, *Radiochim. Acta*, vol .89,pp. 297–302,2001.
2. Alekseev. I.E, Lazarev. V.V, Cyclotron Production and radiochemical isolation of the therapeutical ¹⁸⁶Re .*Radiochemistry* , vol .48 , Nombor.5 ,pp.497-500,2006.
3. Persico. E, Bonardi. M.L , Groppi. F, Canella. L. Cyclotrons and Their Applications. Eighteenth International Conference ,,2007.
4. Hassan.K.F, Qaim.S.M , Alpha-particle induced reactions on ^{nat}Sb and ¹²¹Sb, *Applied Radiation and Isotopes*, Vol.64, Issue1, p.101-109,2006.
5. Spahn.I, Takács.S, Shubin.N , Cross-section measurement of the ¹⁶⁹Tm(p,n) reaction, *Applied Radiation and Isotopes*, Vol.63, Issue.2, p.235-239,2005.
6. Kastleiner.S, S.M Qaim, Nortier.F, Excitation functions of ⁸⁵Rb(p,xn) ^{85m,g,83,82,81}Sr reactions, *Applied Radiation and Isotopes*, Vol.56, Issue5, P.685-695 ,2002.
7. Szelecse'nyi. F, Steyn.G. F, Kova, Production possibility of ¹⁸⁶Re via the ¹⁹²Os(p,a3n) ¹⁸⁶Re nuclear reaction. *Radioanal Nucl Chem*, vol. 252, p.261–263,2009.
8. Lapi. S, Mills. W , production and evaluation of high specific ¹⁸⁶Re., *Appl. Radiat. Isot*, vol. 65, p. 345-349,2007.
9. Saidi.P, Sadeghi.M, Fateh.B, Nuclear data messurment of ¹⁸⁶Re production via various reactions , vol.42, pp.600-602,2010.