

## بررسی تغییرات نوترون دهی دستگاه پلاسمای کانونی SBUMTPF1 با قرار دادن هدف دوتریومی جامد داخل دستگاه

شهبازی راد، زهرا- شهریاری، مجید- عباسی دوانی، فریدون\* - شیرانی، بابک

دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده مهندسی هسته‌ای، گروه کاربرد پرتوها

### چکیده:

هدف از این تحقیق بررسی تغییرات نوترون دهی دستگاه پلاسمای کانونی ( $10/4 \mu F$ ،  $25 kV$ ،  $3/2 kJ$ ) با قرار دادن هدف دوتریومی جامد داخل دستگاه از طریق افزایش احتمال اندرکنش باریکه-هدف است. برای این کار از هدف دوتریومی جامد با قطر  $2/5 cm$  استفاده شد. مقدار فشار و ولتاژ بهینه به ازای گاز دوتریوم به ترتیب  $1/5 mbar$  و  $24 kV$  تعیین شد. سپس مکان بیشترین چگالی یونی در هر ارتفاع با قرار دادن ورق آلومینیوم تعیین شد. با قرار دادن هدف دوتریومی جامد در ارتفاعات مختلف نسبت به سر آند داخل دستگاه تغییرات نوترون دهی دستگاه بررسی شد. همچنین امکان دوتریوم دار کردن هدف‌های تیتانیومی با استفاده از دستگاه SBUMTPF1 بررسی و تأیید شد.  
کلمات کلیدی: دستگاه پلاسمای کانونی، سازوکار باریکه-هدف، هدف دوتریومی جامد، نگه‌دارنده، شمارنده فعالسازی.

### مقدمه:

دستگاه های پلاسمای کانونی چشمه قوی از تابش های ایکس سخت و نرم، نوترون (زمانی که گاز دوتریوم به عنوان گاز پر کننده استفاده می شود)، الکترون، و یون می باشد. دستگاه پلاسمای کانونی به عنوان چشمه نوترون در کاربردهای زیادی مانند آشکارسازی آب با استفاده از پراکندگی نوترون، رادیوگرافی نوترون، سیستم ایمنی فرودگاه، درمان به روش BNCT و غیره استفاده می شود [۱-۴]. بنابراین افزایش نوترون دهی دستگاه پلاسمای کانونی از اهمیت قابل توجهی برخوردار است. عوامل مؤثر بر نوترون دهی دستگاه پلاسمای کانونی عبارتند از: انرژی بانک خازنی، فشار گاز، طول آند، طول عایق، شکل سر آند، جنس الکترودها و عایق، گاز افزودنی، پیش یونیزاسیون، قرار دادن هدف دوتریومی داخل دستگاه پلاسمای کانونی. تولید نوترون در دستگاه پلاسمای کانونی براساس سه مکانیزم اصلی، (۱) گداخت گرما هسته‌ای، (۲) برهم کنش باریکه-هدف و (۳) مدل GPM انجام می شود.  
"مو" و همکارانش [۵]، در یک تحقیق تغییرات نوترون دهی دستگاه پلاسمای کانونی با انرژی  $3/3 kJ$  و ولتاژ  $15 kV$  را با قرار دادن نگه‌دارنده مسی و هدف دوتریومی گزارش کرده‌اند. در آزمایش مورد نظر فشار گاز  $3 \text{ torr}$  است. در این تحقیق نیز هدف بررسی امکان افزایش نوترون دهی دستگاه پلاسمای کانونی با استفاده از قرار دادن هدف دوتریومی جامد از طریق افزایش احتمال اندرکنش باریکه - هدف در داخل دستگاه است.

مشخصات دستگاه پلاسمای کانونی SBUPF1 و ابزارهای اندازه‌گیری:

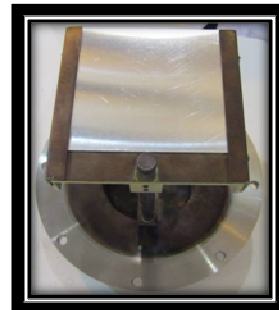
در این آزمایش دستگاه پلاسمای کانونی انرژی پایین نوع مدر SBUMTPF1 با بیشینه انرژی ۳/۲ kJ مورد استفاده قرار گرفت. دستگاه توسط خازن ذخیره کننده انرژی با ظرفیت  $10/4 \mu F$  و بیشینه ولتاژ کاری ۲۵ kV تغذیه می‌شود. جریان پیک در بیشینه ولتاژ ۱۶۸ kA با دوره تناوب  $10/2 \mu s$  می‌باشد. اندوکتانس کل سیستم ۲۵۳ nH است. آند دستگاه از جنس مس با قطر ۲۲ mm و ارتفاع مؤثر آن ۱۰/۵ cm است. کاتد دستگاه شامل ۱۲ میله‌ی مسی است که قطر هر کدام ۱ mm با ارتفاع ۱۱ cm است. آند و کاتد دستگاه توسط یک غلاف عایق از جنس پیرکس با ضخامت ۲mm و ارتفاع ۳/۵cm که در اطراف الکتروود آند قرار گرفته است، از هم ایزوله شده‌اند. اطلاعات بیشتر راجع به این دستگاه در مرجع [۶] بیان شده است. جریان تخلیه دستگاه توسط پیچه رگوفسکی با ثابت کالیبراسیون  $52/3 \text{ kA/V}$  اندازه‌گیری می‌شود که نحوه‌ی طراحی و ساخت این پیچه در مرجع [۷] ذکر شده است. مشتق جریان خروجی اندازه‌گرفته شده با پیچه رگوفسکی با استفاده از یک اسیلوسکوپ مدل TDS 1002B، با فرکانس نمونه‌برداری ۱Gs/s مشاهده می‌شود. برای اندازه‌گیری شمارش-های نوترون از دو شمارنده فعالسازی نقره استفاده شد. برای تعیین وجود یا عدم وجود دوتریوم در هدف-های تیتانومی از روش آشکارسازی ذرات پس‌زده‌ی کشسان (ERD) استفاده شد.

### چیدمان آزمایش:

برای تعیین مکان بیشترین چگالی یونی در ارتفاع‌های مختلف در بالای سر آند از نمونه‌های فلزی آلومینیوم استفاده شد. برای این کار نمونه‌های آلومینیوم با ابعاد ۱۲ cm طول، ۱۰ cm عرض و ۱ mm ضخامت در ارتفاع‌های مختلف نسبت به سر آند از ارتفاع ۲cm تا ارتفاع ۱۴ cm که بیشترین ارتفاع از سر آند است قرار می‌گیرد. نمونه‌های آلومینیوم مطابق شکل (۱) داخل دستگاه پلاسمای کانونی قرار می‌گیرد. به دلیل این‌که گاز دوتریوم گاز گرانی است و به راحتی در دسترس نیست، برای تعیین بیشترین مقدار چگالی یونی در هر ارتفاع از گاز هیدروژن که دارای عدد اتمی نزدیک به دوتریوم است استفاده شد. ابتدا فشار و ولتاژ بهینه دستگاه پلاسمای کانونی به ازای گاز هیدروژن به دست آمد. برای تعیین ولتاژ و فشار بهینه دستگاه پلاسمای کانونی به ازای گاز هیدروژن، گستره ولتاژ ۲۴kV-۲۰ به ازای هر ۱ kV و گستره فشار ۴-۱ mbar به ازای هر ۰/۵ mbar مورد بررسی قرار گرفت. به ازای هر ولتاژ و فشار ۵ بار گاز به داخل دستگاه تزریق شده و شات زده شد. در هر شات فاصله زمانی لحظه وقوع پینچ و زمان وقوع بیشینه جریان اندازه‌گیری شد و از این ۵ اختلاف زمانی میانگین‌گیری شد. ولتاژ و فشاری که این فاصله زمانی در آن‌ها کمترین مقدار است به عنوان ولتاژ و فشار بهینه انتخاب می‌شود. سپس به ازای هر نمونه آلومینیوم در هر ارتفاع مشخص ۸ شات زده شد. به این ترتیب اثر برخورد یون‌ها در هر ارتفاع بر روی نمونه مشاهده شد و مکان دقیق بیشترین چگالی یونی به دست آمد. در مرحله بعد با تزریق گاز دوتریوم به داخل دستگاه پلاسمای کانونی ولتاژ و فشار بهینه دستگاه به ازای گاز کاری دوتریوم به دست آمد. برای این منظور مقدار نوترون‌دهی دستگاه به ازای تزریق گاز دوتریوم به داخل دستگاه در گستره ولتاژ ۲۴-۲۱ kV به ازای هر ۱ kV و در گستره فشار ۳-۰/۵ mbar به ازای هر ۰/۵ mbar مورد بررسی قرار گرفت. به ازای هر ولتاژ و فشار ۵ بار گاز به داخل دستگاه تزریق شد و به ازای هر تزریق گاز ۵ بار پیاپی شات زده شد. نوترون‌های تولید شده داخل دستگاه با استفاده از دو شمارنده فعالسازی نقره که یکی در ارتفاع ۰ درجه و دیگری در زاویه ۹۰ درجه هر دو در فاصله ۳۶ سانتی‌متر نسبت به سر آند قرار گرفته‌اند (مطابق شکل (۲)) اندازه‌گرفته می‌شود.



شکل ۲: شمارنده‌های فعالسازی نقره در زوایای ۰ و ۹۰ درجه نسبت به سر آند



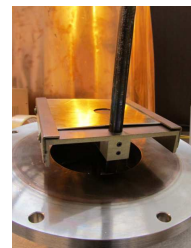
شکل ۱: گیره نگه‌دارنده نمونه‌های آلومینیوم

در مرحله بعد بدون قرار دادن نگه‌دارنده و هدف، ۵ بار گاز دوتریوم در فشار و ولتاژ بهینه به داخل دستگاه تزریق شد و به ازای هر تزریق گاز ۴ بار شات زده شد. از بین این ۲۰ شات ۱۵ تا از بهترین شات‌ها (بیشترین مقدار نوترون‌دهی) انتخاب شد و از آن‌ها میانگین‌گیری شد و بهره‌ی نوترونی دستگاه و هم‌چنین ضریب ناهمسانگردی دستگاه به‌دست آمد. سپس برای تعیین بهره نوترونی در هر ارتفاع ورقه‌های آلومینیومی که مکان بیشترین چگالی یونی روی آن مشخص شده است در مکان بیشترین چگالی یونی مطابق شکل (۳) به اندازه قطر مؤثر هدف دوتریومی سوراخ شد و داخل نگه‌دارنده قرار گرفت. از آنجایی که هدف بررسی تغییرات نوترون‌دهی دستگاه پلاسمای کانونی با قرار داشتن هدف است، ابتدا مقدار نوترون‌دهی دستگاه پلاسمای کانونی با قرار داشتن نگه‌دارنده و بدون هدف اندازه‌گیری شد. برای این منظور مجموعه نگه‌دارنده و ورق آلومینیومی در ارتفاع‌های ۳، ۵، ۸، ۱۱ و ۱۴ cm از سر آند قرار داده شد. باز هم به همان روش قبل ۱۵ شات خوب انتخاب شد و مقدار نوترون‌دهی دستگاه در این حالت تعیین شد.

سپس هدف دوتریومی را درست پشت ورق آلومینیومی که در مکان بیشترین چگالی یونی سوراخ شده است مطابق شکل (۴) چسبانده و باز هم مثل قبل ۲۰ شات با گاز دوتریوم زده و از بین آن‌ها ۱۵ شات موفق انتخاب شد. سپس از این ۱۵ شات میانگین‌گیری شد و مقدار نوترون‌دهی دستگاه به‌دست آمد.



شکل ۴: هدف دوتریومی که در پشت ورق آلومینیومی در مکان بیشترین چگالی یونی چسبانده شده است



شکل ۳: نگه‌دارنده به همراه ورقه آلومینیومی که در مکان بیشترین چگالی یونی به اندازه قطر هدف دوتریومی سوراخ شده است.

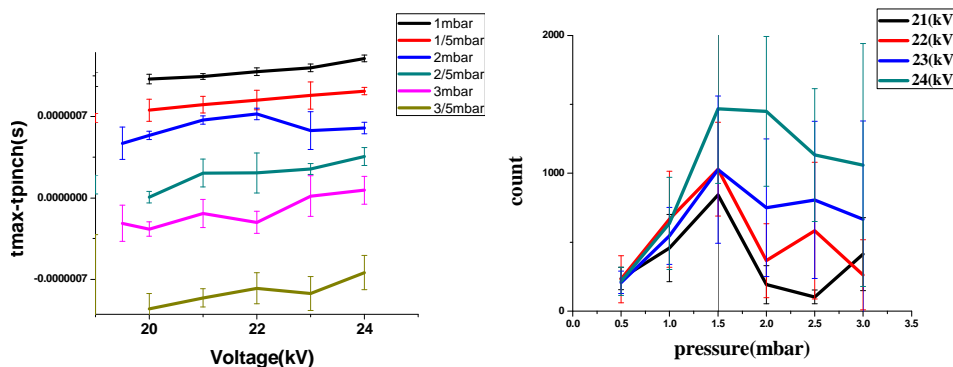


## 18<sup>th</sup> Iranian's Nuclear Conference

برای بررسی امکان دوتریوم‌دار کردن هدف‌های تیتانیومی با استفاده از دستگاه پلاسمای کانونی یک هدف تیتانیومی داخل دستگاه قرار داده شد و به ازای ۷۵ شات توسط یون‌های دوتریوم پرتو دهی شد. برای تعیین نفوذ دوتریوم به داخل دستگاه، نمونه تحت تست ERD قرار گرفت.

### نتایج آزمایش و تحلیل نتایج:

ولتاژ و فشار بهینه گاز هیدروژن مطابق شکل (۵-الف) به ترتیب برابر ۲۳ kV و ۳ mbar و ولتاژ و فشار بهینه گاز دوتریوم همان‌گونه که در نمودار شکل (۵-ب) مشاهده می‌شود به ترتیب برابر ۲۴ kV و ۱/۵ mbar به دست آمد.



شکل ۵: الف) نمودار فاصله‌ی زمانی وقوع تنگش و بیشینه جریان تخلیه در گستره ولتاژ ۲۰-۲۴ و گستره فشار ۱-۶ mbar برای گاز هیدروژن ب) منحنی تغییرات نوترون‌دهی دستگاه بر حسب فشار در گستره ۰/۵-۳ mbar در گستره ولتاژهای ۲۱-۲۴ kV

نمونه‌ای از آلومینیوم‌هایی که در ۴ ارتفاع ۱، ۴، ۱۰، ۱۴ سانتی‌متری از سر آند قرار گرفته‌اند در شکل (۶) قابل مشاهده است. با توجه به شکل سطح اثر برخورد یون‌های هیدروژن برای نمونه‌هایی که در فاصله‌ی نزدیک‌تری نسبت به سر آند قرار دارند متمرکزتر و کوچک‌تر است. با فاصله گرفتن از سر آند سطح اثر یون‌ها متناسب با افزایش ارتفاع گسترده‌تر می‌شود. در نمونه‌هایی که نزدیک‌تر به سر آند قرار دارند، اثرات ذوب-شدگی و تبخیر سطحی بیشتر از نمونه‌هایی است که در فاصله دورتر از آند قرار دارند.



شکل ۶: نمونه‌های آلومینیوم که توسط گاز هیدروژن +۱٪ کریتون هر کدام به ازای ۸ شات مورد پرتو دهی قرار گرفته‌اند.

زمانی که نگه‌دارنده و هدف داخل دستگاه قرار ندارد، مقدار بهره نوترونی  $19/84 \pm 10^4 \times 1/41$  و مقدار ضریب ناهمسانگردی  $0/53 \pm 1/9$  به ازای فشار و ولتاژ بهینه گاز دوتریوم به دست آمد. مقدار نوترون‌دهی دستگاه زمانی که فقط نگه‌دارنده داخل دستگاه است مطابق جدول (۱) است.

جدول ۱: شمارش‌های نوترون و انحراف معیار استاندارد به ازای قرار گرفتن نگه‌دارنده در ارتفاع‌های مختلف نسبت به سر آند

ارتفاع از سر آند (cm)	۱۴	۱۱	۸	۵	۳
میانگین نوترون‌دهی	۸۳۲/۵۳۳۳	۵۵۹/۳۷۳۳	۴۴۶	۲۴۰/۲۶۶۷	۱۶۱/۸۱۳۳
انحراف معیار	۳۵۵/۶۸۸۸	۳۵۵/۳۴۸۳	۱۳۹/۲۲۸۶	۹۴/۲۷۰۷۹	۶۴/۶۶۱۱۶

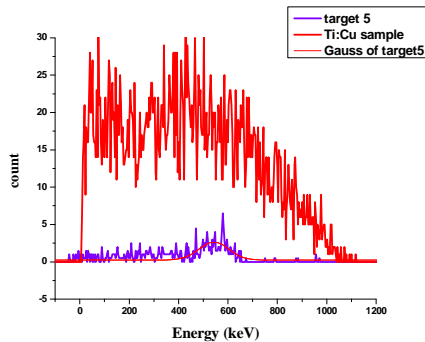
جدول (۲) مقدار نوترون‌دهی دستگاه پلاسمای کانونی و انحراف معیار استاندارد زمانی که دو هدف شماره (۱) و شماره (۵) به همراه نگه‌دارنده داخل دستگاه قرار دارد.

جدول ۲: شمارش‌های نوترون و انحراف معیار استاندارد به ازای دو هدف مختلف

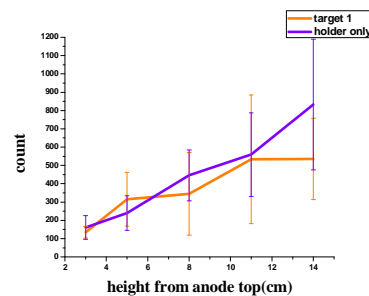
ارتفاع از سر آند (cm)	میانگین نوترون‌دهی برای هدف شماره ۵	انحراف معیار برای هدف شماره ۵	میانگین نوترون‌دهی برای هدف شماره ۱	انحراف معیار برای هدف شماره ۱
۱۴	۹۳۷	۵۸۴/۱۰۵۳	۵۳۳/۶	۳۵۱/۶۹۱۷
۱۱	۴۴۶/۳۳۷۷	۲۳۶/۴۳۴۵	۵۳۴/۸۶۶۷	۲۲۲/۳۹۳
۸	۳۷۳/۲	۱۰۵/۶۰۷۲	۳۴۵/۲۴۹	۲۲۶/۲۰۴۹
۵	۲۳۷/۲۶۶۷	۹۲/۳۲۲۳۱	۳۱۵/۹۲۸۶	۱۴۶/۵۱۳
۳	۱۶۵/۴۲۸۶	۸۴/۶۵۴۷	۱۳۵/۵	۳۱/۸۱۹۸۱

شکل (۷) منحنی تغییرات نوترون‌دهی دستگاه زمانی که هدف دوتریومی به همراه نگه‌دارنده داخل دستگاه قرار دارد و زمانی که نگه‌دارنده به تنهایی داخل دستگاه قرار دارد، به ازای ارتفاع‌های مختلف از سر آند را نمایش می‌دهد. شکل (۸) طیف EDR نمونه هدف که توسط ۷۵ شات مورد پرتو دهی قرار گرفته است به همراه طیف ERD نمونه مرجع را نمایش می‌دهد. در شکل (۸)

مشاهده می‌شود که در طیف ERD هدف، انرژی قله با انرژی لبه دوتریوم برابر است. بنابراین با استفاده از دستگاه پلاسمای کانونی امکان دوتریوم‌دار کردن هدف‌های تیتانیومی تأیید می‌شود.



شکل ۸: طیف ERD نمونه هدف شماره ۵ به همراه طیف ERD نمونه مرجع



شکل ۷: تغییرات شمارش نوترون با حضور هدف شماره ۱ و بدون حضور هدف فقط با حضور نگه-دارنده

### نتایج:

با توجه به آزمایش‌های انجام شده مقدار فشار و ولتاژ بهینه به‌ازای گاز هیدروژن به ترتیب برابر ۳ mbar و ۲۳kV و برای گاز دوتریوم ۱/۵ mbar و ۲۴ kV به دست آمد. با مشاهده اثر برخورد یون‌های هیدروژن با سطح آلومینیوم در هر ارتفاع مکان بیشترین چگالی یونی به دست آمد. مشاهده شد با قرار دادن هدف دوتریومی داخل دستگاه مقدار نوترون‌دهی دستگاه کاهش پیدا کرد که علت آن جنس و ابعاد نگه‌دارنده و هدف است. چون نگه‌دارنده دارای مساحت زیاد است و جنس آن آلومینیوم است در اثر برخورد یون‌ها به سطح آن، ناخالصی از سطح نگه‌دارنده کنده شده و وارد گاز می‌شود، در نتیجه به خاطر کاهش خلوص گاز مقدار نوترون‌دهی دستگاه کاهش می‌یابد. هم‌چنین در این آزمایش امکان دوتریوم‌دار کردن هدف‌های تیتانیومی با استفاده از دستگاه مورد بررسی قرار گرفت و تست ERD مورد تأیید قرار گرفت.

### مراجع:

- [1]. Gribkov, V.A. Technological Applications of Plasma Foculda ocus Facilities. in National Institute of Education, NTU. Nanyang Walk, Singapore.
- [2]. V. Benzi, F.M., F. Rocchi, M. Sumini, Feasibility analysis of a Plasma Focus neutron source for BNCT treatment of transplanted human liver. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research 2004. **B 213**: p. 611–615.
- [3]. A. Tartaglione, R.R., J. Gonzalez, A. Clausse, and C. Moreno, Detection of Water by Neutron Scattering Using a Small Plasma Focus. Brazilian Journal of Physics, 2004. **34**: p.4B.
- [4]. Ye.P.Bogolubov, M.V.K., B.D.Lemeshko, V.I.Mikerov, V.N.Samosyuk, P.P.Sidorov, D.I.Yurkov, Application of a plasma focus-based source for fast neutron and X-ray radiography. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research 2009. **605**: p. 62-64.
- [5]. S.P. Moo, C.K. Chakrabarty, and S. Lee, "An Investigation of the Ion Beam of a Plasma Focus Using a Metal Obstacle and Deuterated Target", IEEE Transactions on Plasma Science, vol. 19, no. 3, June 1991 515
- [6] B.Shirani and F.Abbasi, Brazilian Journal of Physics, vol. 40, no. 2, June, 2010

[7] شهبازی، زهرا؛ دارستانی، نیکو؛ شیرانی، بابک؛ دامیده، وحید؛ عباسی، فریدون؛ شهریاری، مجید؛ "طراحی و ساخت پیچهای روگوفسکی مناسب برای اندازه‌گیری جریان تخلیه الکتریکی در لحظه‌ی وقوع تنگش در دستگاه

پلاسمای کانونی "SBUMTPF1"، ایران، همدان، کنفرانس فیزیک ۱۳۸۹