مطالعه تجربی اثر گاز بر یون‌های گسیل شده در دستگاه پلاسما کانونی مدر kj5

INC29-1375

نوشین پیش بین[1*]، علی نصیری[1]، داریوش رستمی فرد[1]، مریم اکبری نساجی[1]

پژوهشکده پلاسما و گداخت هسته‌ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، صندوق پستی۱۴۳۹۹-۵۱۱۱۳، تهران- ایران

چکیده:

یون‌های تولید شده در دستگاه‌های پلاسما کانونی به سبب داشتن ویژگی‌های خاص همواره کاربردهای زیادی در صنعت، پزشکی و پژوهش‌های علمی دارند. لذا مشخصه‌یابی این یون‌ها می‌تواند گامی مؤثر در راستای کاربرد هرچه بیشتر این دستگاه‌ها باشد. مؤلفه ولتاژ، فشار و نوع ترکیبات گاز کاری از مهمترین مؤلفه‌های عملکردی هستند که می-تواند بر مشخصه‌های یون‌های گسیلی از دستگاه پلاسمای کانونی اثر گذار باشد. در این مطالعه، یون‌های گسیل شده از دستگاه پلاسما کانونی مدر kj5 مشخصه یابی شده و در ادامه اثر نوع گاز بر یون‌های گسیل شده از این دستگاه مورد بررسی قرار گرفته است. به‌منظور آشکارسازی یون‌های گسیل شده از دستگاه پلاسما کانونی، آشکارساز فنجان فارادی طراحی و ساخته شده است. آشکارساز پیچه روگوفسکی نیز برای بررسی محل و کیفیت تنگش مورد استفاده قرار گرفته است. نتایج بررسی مؤلفه‌های به‌دست آمده نشان می‌دهد که در ولتاژ 12 kv قویترین شار یونی با گاز آرگون در فشار ۴/۵ تور و با گاز هیدروژن در فشار ۱/۵ تور حاصل شده است.

کلیدواژه‌ها: دستگاه پلاسما کانونی، یون، فنجان فارادی، ترکیب گازی

Experimental study of the effect of gas on the emitted ions in the Mather-type plasma focus device 5kj

Noushin Pishbin[1]*, Ali Nasiri[1], Dariush Rostamifard[1], Maryam Akbari Nasaji[1]

1.Plasma and Nuclear Fusion Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, P.O. Box: 14399-51113, Tehran, Iran.

Abstract:

The ions produced in plasma focus devices have many applications in industry, medicine and scientific research due to their special characteristics. Therefore, identifying these ions can be an effective step towards using these devices as much as possible. The parameters of voltage, pressure and type of working gas compounds are among the most important performance parameters that can affect the characteristics of the emitted ions from the plasma focus device. In this study, the ions emitted from the plasma focus device 5kj were characterized and the effect of gas type on the ions emitted from this device has been investigated. In order to detect the ions emitted from the plasma focus device, the Faraday cup detector is designed and built. The Rogovski coil detector has also been used to investigate the location and quality of its pinch. The results of the obtained parameters show that at the voltage of 12kv, the maximum ion flux is obtained with argon gas at a pressure of 4.5 torr and with hydrogen gas at a pressure of 1.5 torr.

Keywords: plasma focus device, ion, faraday cup, gas

۱. مقدمه

یکی از دستگاه‌هایی که در تحقیقات همجوشی هسته ای به کار گرفته می‌شود دستگاه پلاسمای کانونی نام دارد. این دستگاه در اوایل دهۀ ۱۹۶۰ میلادی به طور مستقل توسط فیلیپوف در اتحاد جماهیر شوروی سابق و مدر در ایلات متحده آمریکا اختراع گردید. اختلاف عمدۀ این دو طراحی در رابطه با نسبت منظر (HARP)، (نسبت طول به قطر آند) می‌باشد [۲،۱]. با وجود تفاوت ساختاری دستگاه‌های پلاسمای کانونی، در هنگام فشرده سازی نهایی پلاسما، هر دو مدل تا حد زیادی مشابه یکدیگر عمل می‌نمایند. مهم‌ترین شباهت ها عبارت اند از: یکسان بودن دینامیک تنگش (یا کانونی شدن) پلاسما، یکسان بودن قوانین حاکم بر گسیل پرتوها، و یکسان بودن نوع پرتوهای گسیل شده.

دستگاه های پلاسمای کانونی، نوعی مولد پالسی پلاسما هستند که پلاسمای آن ها توسط میدان مغناطیسی محصور گشته و تحت فشار قرار می‌گیرد. ساختار اینگونه دستگاه ها به صورتی است که فشار وارد شده به پلاسما، باعث تنگش (و یا کانونی شدن) پلاسما در محدوده ای نسبتاً کوچک می‌شود.

چگالی و دمای نسبتا زیاد این گونه پلاسما باعث گسیل پرتوهای پرانرژی می‌شود که مهمترین آن ها عبارت اند از: پرتو ایکس نرم، پرتو ایکس سخت، باریکه الکترونی، یونی و نیز نوترون های پر انرژی که تحت شرایط مناسب تولید می‌شوند. با استفاده از سامانه‌های تشخیصی می‌توان به مشخصه‌یابی مؤلفه‌های پلاسما و همچنین پدیده‌های فیزیکی که در پلاسما اتفاق می‌افتد را مورد بررسی و مطالعه قرار داد.

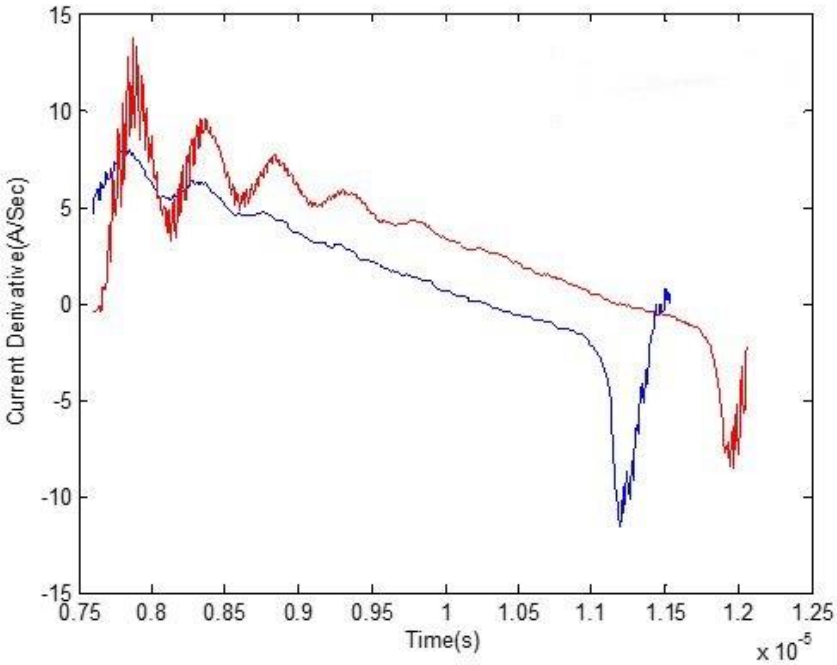
قابلیت‌های دستگاه‌های پلاسمای کانونی، باعث شده، تا این دستگاه‌ها مورد توجه بسیاری از پژوهشگران رشته‌های مختلف قرار بگیرد [۳]. نمونه‌هائی از این گونه پژوهش‌ها عبارت اند از: پژوهش‌های مرتبط با فیزیک پایه، اختر فیزیک و فیزیک موج ضربه [۴]، گداخت هسته ای با روش محصورسازی لختی [۵]، تامین سوخت سفینه‌های فضائی [۶]، پرتونگاری معروف به چاپ سنگی [۷]، بررسی خواص مواد [۸]، لایه نشانی [۹]، فشرده سازی مواد [۱۰]، و بالاخره بررسی های نظری و تجربی در راستای طراحی و ساخت دستگاه های پلاسمای کانونی بهینه [۱۱ و ۱۲].

تئوری:

مشخصه‌های تابش‌های گسیلی از دستگاه‌های پلاسما کانونی وابستگی شدیدی به مکانیزم‌های مختلف حاکم بر تشکیل و پایداری پلاسما دارد. بنابراین با مطالعه تابش‌های گسیلی می‌توانیم اطلاعات مفیدی از مکانیزم‌های حاکم به‌دست آوریم. مهمترین مؤلفه‌های قابل اندازه‌گیری در دستگاه پلاسمای کانونی جریان و ولتاژ سیستم هستند. بررسی این سیگنال‌ها اطلاعات مفیدی در رابطه با دینامیک و عملکرد سیستم می‌دهد.

علاوه بر مؤلفه ولتاژ و فشار گاز، نوع و ترکیبات گاز کاری یکی از مؤلفه‌های عملکردی است که می‌تواند بر مشخصه‌های ایکس گسیلی از دستگاه اثر گذار باشد. در صورت ثابت نگه داشتن سایر مؤلفه‌ها، تنها مؤلفه‌ی که اثر نوع گاز را نشان می‌دهد، چگالی جرمی خواهد بود.

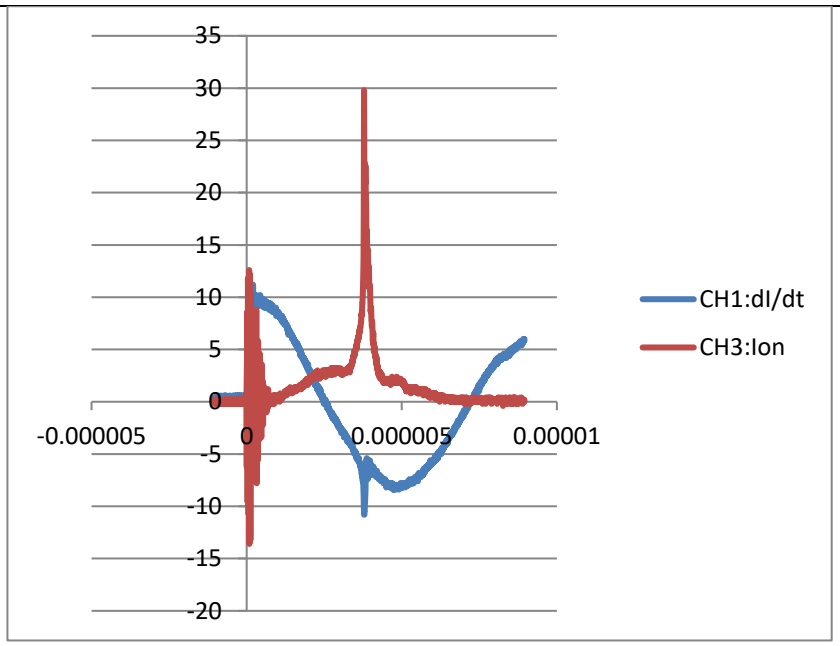
در شکل ۱ سیگنال مشتق جریان برای دو گاز هیدروژن و آرگون با چگالی جرمی یکسان نمایش داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود سرعت افت مشتق جریان برای گاز هیدروژن بیشتر از گاز آرگون می‌باشد. این امر می‌تواند نشان دهنده بالاتر بودن سرعت رو به داخل پلاسما (dr_p/dt) در گاز هیدروژن، ناشی از تأثیر فرایند یونیزاسیون بر دینامیک پلاسما باشد.



شکل ۱: سیگنال مشتق جریان برای گازهای هیدروژن (آبی) و آرگون (قرمز) در دستگاه پلاسما کانونی ۵kj در ولتاژ ۱۲ kV

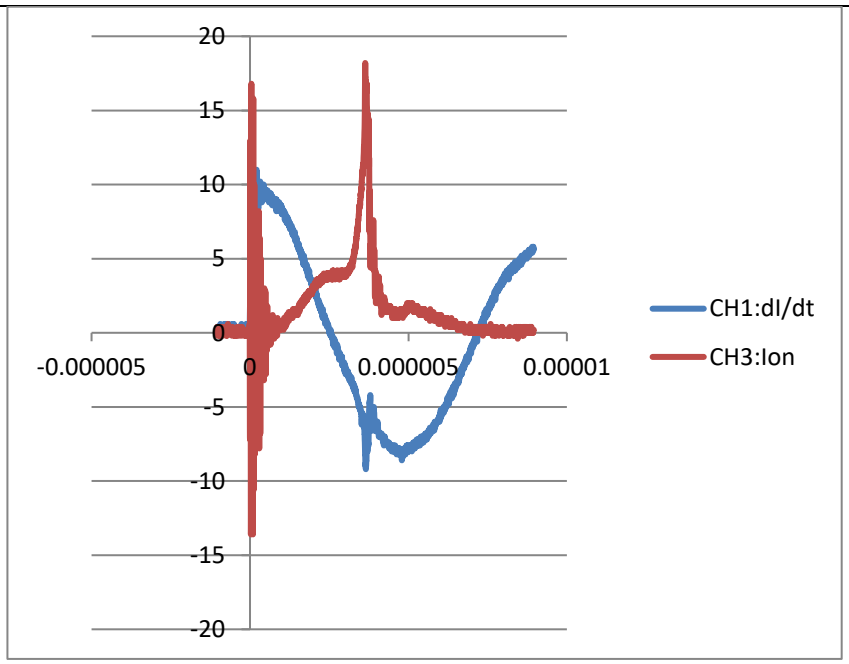
در این مطالعه به‌منظور مشخصه یابی یون های گسیل شده در دستگاه پلاسما کانونی، آشکارساز فنجان فارادی طراحی و ساخته شده است. آشکارساز فنجان فارادی از یک الکترود جمع‌کننده یون که عموما با ولتاژ منفی بایاس می‌شود و یک الکترود زمین شده تشکیل شده است. این دو الکترود به وسیله یک صفحه عایق که معمولا از جنس تفلون است از یکدیگر جدا شده‌اند. الکترود داخلی یا همان جمع‌کننده به اسیلوسکوپ متصل می‌گردد و نمودار ولتاژ- زمان را بر روی صفحه اسیلوسکوپ نمایش می‌دهد.

در این پژوهش با انجام آزمایش‌های متعدد، بهترین فاصله آشکارساز و نیز ولتاژ بایاس برای هر دستگاه مشخص شده و سیگنال‌های مورد نظر در این شرایط دریافت و تحلیل شد. به منظور تحلیل سیگنال‌های بدست آمده، به تمام سیگنال‌ها در بازه زمانی رویداد تنگش و گسیل یون، با استفاده از نرم افزار متلب منحنی گاوسی برازش شده است.
شکل ۲ و ۳ به ترتیب سیگنال‌های یون و مشتق جریان دریافت شده از دستگاه پلاسما کانونی ۵kj با دو گاز آرگون و هیدروژن را نشان می‌دهد. در ادامه جدول ۱ و ۲ نیز بیانگر مؤلفه‌های این سیگنال های یونی می‌باشد.



Gas	Argon
Bias Voltage	12 kV
Pressure	3.9 t
Faraday Cap Voltage	60 V
Distance of faraday cap from anod	35 cm

شکل ۲ : سیگنال یون و مشتق جریان دستگاه پلاسما کانونی ۵ kj با گاز آرگون در فشار ۳/۹torr، ولتاژ ۱۲ kV.



Gas	hydrogen
Bias Voltage	12 kV
Pressure	1.5 t
Faraday Cap Voltage	60 V
Distance of faraday cap from anod	35 cm

شکل ۳ : سیگنال یون و مشتق جریان دستگاه پلاسما کانونی ۵ kj با گاز هیدروژن در فشار ۱/۵ torr و ولتاژ ۱۲ kV.

جدول۱: نتایج پردازش سیگنال یونی پلاسمای کانونی ۵ kj با گاز آرگون در ولتاژ ۱۲kV

Pressure (torr)	3	3.5	4	4.5
Mean FWHM	0.7896*10-7	0.6675*10-7	0.2951*10-6	0.4347*10-6
Mean Hi[۱]	6.21	7.46	8.04	11.29
Mean Ai[۲]	8.7581*10-6	6.3265*10-6	1.1491*10-5	3.1284*10-5
Mean Energy (keV)	26.14	30.40	33.08	35.85

جدول۲: نتایج پردازش سیگنال یونی پلاسمای کانونی ۵ kj با گاز هیدروژن در ولتاژ ۱۲kV

Pressure (torr)	1	1.5	2	2.5
Mean FWHM	0.7278*10-7	0.2697*10-6	0.4369*10-7	0.3685*10-7
Mean Hi[۳]	7.38	10.82	8.91	6.54
Mean Ai[۴]	5.9675*10-6	6.7659*10-5	2.1468*10-5	4.5382*10-6
Mean Energy (keV)	10.65	15.67	12.89	10.74

FWHM پهنای کامل در عمق نیم بیشینه و معیاری از طول عمر ستون پلاسما است. نماد Ai نشانگر سطح زیر نمودار سیگنال یونی و Hi ارتفاع نمودار برازش شده است. بیشتر بودن ارتفاع و پهنای سیگنال یونی (مساحت زیر سیگنال) بیانگر بیشتر بودن شار یون‌های گسیل شده است. افزایش عدد اتمی گاز منجر به افزایش انرژی یون‌های تولید شده و افزایش میزان انرژی تزریق شده به درون پلاسما می‌شود. بنابراین انرژی یونه‌ای حاصل از گاز آرگون بیشتر از انرژی یونهای گاز هیدروژن می‌باشد. قابل ذکر است که انرژی یون‌ها به روش زمان پرواز محاسبه شده است.

نتیجه گیری

در این پژوهش با انجام آزمایش‌های متعدد در شرایط بهینه بر روی دستگاه پلاسما کانونی ۵kj، گسیل یون مورد بررسی قرار گرفته است. به منظور اندازه گیری یون‌های گسیل شده در دستگاه های پلاسما کانونی مذکور، آشکارساز فنجان فارادی طراحی و ساخته شده است. نتایج حاصل از اندازه گیری این آشکارساز نیز پس از برازش منحنی گاوسی ارائه شده است. همان طور که مشاهده می‌شود بیشینه انرژی، FWHM و ارتفاع با گاز آرگون مربوط به فشار ۴/۵ تور و با گاز هیدروژن مربوط به فشار ۱/۵ تور است. علاوه براین، سیگنال یونی حاصل شده از گاز آرگون دارای انرژی، پهنای FWHM و ارتفاع زیادتری نسبت به گاز هیدروژن در شرایط بهینه کاری است.

[۱] ارتفاع سیگنال یونی
[۲] مساحت زیر پالس یونی
[۳] ارتفاع سیگنال یونی
[۴] مساحت زیر پالس یونی

مراجع

[1] Filippov NV, Filippova TI, Vinogradov VP (1962), Dense high temperature plasma in the region of non-cylindrical z-pinch compression. Nucl Fusion, Suppl Pt 2:577–587 (in Russian).

[2] Mather JW (1964) Investigation of the high energy acceleration mode in the coaxial gun. Phys Fluids Suppl:S28–S34.

[3] L. Soto, New trends and future perspectives on plasma focus research, Plasma Control. Fusion, Vol 47, pp. A361-A381 (2005).

[4] N.V. Filippov, T.I. Filippova, A.N. Filippov, M.A. Karakin, E.Yu. Khautiev, V.I. Krauz, V.V. Mialton. S.A. Nikulin, V.P. Tykshaev, and V.P. vinogradov. Experimental simulation of the collisionless shock wave by plasma focus, Czech. J. of Physics, Vol. 50, Suppl. S3, p. 127 (2000).

[5] R. Gratton, A.R. Piriz, On the use of plasma foci as drivers for pellet implosions, Nuclear Fusion, Vol. 26, No. 4, p. 483, (1986).

[6] B. Temple, O. Barnouin, and G.H. Miley, Plasma focus device for use in space propulsion, Fusion Science and Technology, Vol. 19, Nr. 3P2A, pp. 846-851 (1991).

[7] E.P. Bogolyubov, V.D. Bochkov. V.A. Veretennikov, L.T. Vekhoreva, V.A. Gribkov, A.V. Dubrovskii, Yu.P. Ivanov, A.I. Isakov. O.N. Krokin. P. Lee, V.Ya. Nikulin. A. Serban. P.V. Silin, X. Feng, and G.X. Zhang, A powerful soft X-ray source for X-ray lithography based on plasma focusing, Physica Scripta, Vol. 57, pp. 488-494 (1998).

[8] L.I. Ivanov, V.N. Pimenov, S.A. Maslyaevet, Elena V. Dyomina, Vladimir A. Gribkov, Franco Mezzetti, Paola DeChiara, and Linda Pizzo, Influence of dense deuterium plasma pulses on materials in plasma focus device, Nukleonika, 45(3), pp. 203-207 (2000).

[9] Shaista Zeb, A. Qayyum, Mehboob Sadiq, M. Shafiq, A. Waheed, and M. Zakaullah, Deposition of diamond-like carbon films using graphite sputtering in neon dense plasma, Plasma Chemistry and Plasma Processing, Vol. 27, Issue 2, pp. 127-139 (2007).

[10] V. I. Krauz, M.G. Levashova, M.A. Karakin, O.N. Krokhin, V.S. Lisitsa, A.N. Mokeev, V.V. Myalton, V.Ya Nikulin, A.V. Oginov. V.P. Smirnov, and V.E. Fortov, Influence of the radiation of the plasma focus-current sheath on the impolsion dynamics of condensed targets, Plasma Physics Reports, Vol. 34, Issue 1, pp. 43-51 (2008).

[11] S. Lee, (2014), Plasma focus radiative mode: Review of the Lee model code, Journal of Fusion Energy, 33, 319-335.

[12] V. Siahpoush, M.A. Tafreshi, S. Sobhanian, and S. Khorram, Adaptation of Sing Lee's model to the Filippov type plasma focus geometry. Plasma Phys. and Control. Fusion 47, pp. 1065-1075 (2005).