

بکارگیری طیف سنج سهموی تامسون به عنوان یک ابزار تشخیصی برای یون‌ها در

دستگاه پلاسمای کانونی

محسن نیکبخت - فریدون عباسی دوانی* - غلامرضا اطاعتی - بابک شیرانی بید آبادی

دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده مهندسی هسته‌ای، گروه کاربرد پروتوها

چکیده

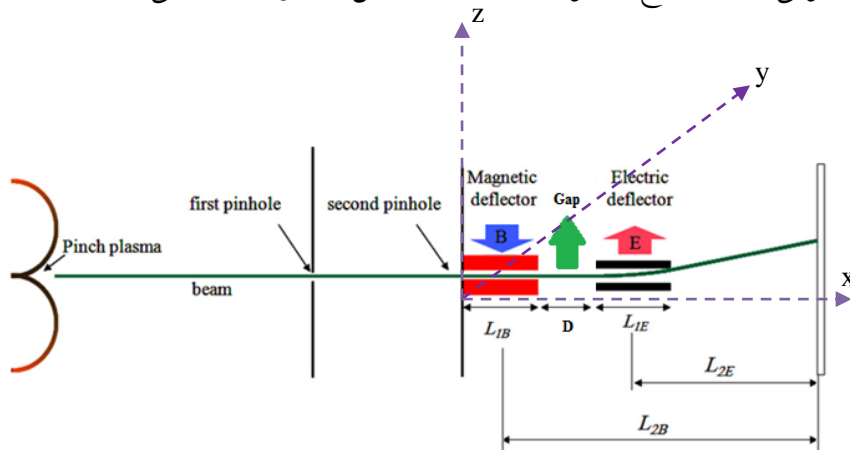
یکی از نیازهای اصلی در تحقیقات پلاسمای کانونی، اندازه‌گیری نوع و محدوده انرژی یون‌های تولیدی در این دستگاه به منظور استفاده از یون‌های حاصل در کاربردهای عملی یا تحقیقات نظری بر روی دستگاه پلاسمای کانونی می‌باشد. در این تحقیق با طراحی و ساخت یک طیف‌سنج سهموی تامسون و سپس با تزریق مخلوط گاز هوا و دوتریوم در دستگاه پلاسمای کانونی $5kJ$ ، سه نوع یون (N_2^+, N^+, D^+) قابل تفکیک و شناسایی بود و در طی دو آزمایش مختلف با اعمال میدان‌های الکتریکی $(300kV/m, 412.2kV/m)$ و میدان مغناطیسی ثابت $(0.201 T)$ محدوده انرژی یون‌های برای آزمایش اول $(D^+((114keV - 237keV)), N^+((300keV - 725keV)), N_2^+((525keV - 1150keV))$ و برای آزمایش دوم $(D^+((130keV - 231keV)), N^+((300keV - 900keV)), N_2^+((525keV - 1150keV))$ بدست آمد که شبیه‌سازی‌های انجام شده نیز این نتایج را با تقریب خوبی تایید می‌کند.

کلید واژه: دستگاه پلاسمای کانونی، طیف‌سنج سهموی تامسون، طیف انرژی یون‌ها

۱- مقدمه

طیف‌سنج سهموی تامسون ابزاری است جهت اندازه‌گیری طیف انرژی یون‌ها در میدان‌های آمیخته‌یونی، ذرات خنثی یا فوتون‌ها. این ابزار اندازه‌گیری با استفاده از دو میدان الکتریکی و مغناطیسی عمود برهم و با استفاده از یک آشکارساز حساس به یون، با انحراف‌های متفاوت یون‌ها در میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی که متناسب با نسبت بار به جرم و انرژی یون‌ها است، موجب انحراف‌های متفاوت یون‌ها شده و سهمی‌هایی

روی آشکارساز تشکیل می‌دهد که هر سهمی مربوط به یک یون مشخص (نسبت بار به جرم یون‌ها یکتاست) می‌باشد و انتها و ابتدای سهمی تشکیل شده مربوط به کمترین و بیشترین انرژی یون مربوطه است [۱، ۲، ۳].
شکل ۱ نمایی مفهومی از طیف‌سنج تاسون ساخته شده در این تحقیق را نشان می‌دهد.



شکل ۱ نمایی مفهومی از یک طیف‌سنج سهموی تاسون

با توجه به شکل ۱ و استفاده از قانون دوم نیوتون می‌توان معادله حرکت ذره باردار را در عبور از این طیف‌سنج بدست آورد که در نهایت با نوشتن این معادلات، می‌توان معادله مکان نهایی ذره بر روی آشکارساز را به صورت رابطه زیر بدست آورد.

$$Z = \frac{mE}{qB^2} \frac{L_{1E}L_{2E}}{(L_{1B}L_{2B})^2} y^2 \quad (1)$$

۲- طراحی و شبیه‌سازی طیف‌سنج تاسون

طیف‌سنج ساخته شده در این تحقیق از نوع طیف‌سنج تاسون با انحراف‌دهنده‌های مجزا می‌باشد که با استفاده از نرم‌افزارهای CST, COMSOL, SRIM قسمت‌های مختلف آن از نظر مناسب بودن خلاء، بررسی شدت میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی و ترابرد باریکه در گذر از این میدان‌ها به همراه نقش موازی‌سازی روزنه‌های به کار رفته و در نهایت تاثیر امواج الکترومغناطیسی ایجاد شده در اثر تخلیه الکتریکی بر روی باریکه یونی، مورد شبیه‌سازی و بررسی قرار گرفت.

برای بررسی میزان واگرایی و از دست رفتن یون‌ها از لحظه ایجاد تا رسیدن به آشکارساز در عبور از قسمت‌های مختلف دستگاه، با استفاده از نرم‌افزار SRIM میزان این واگرایی و پراکندگی در هر قسمت بررسی

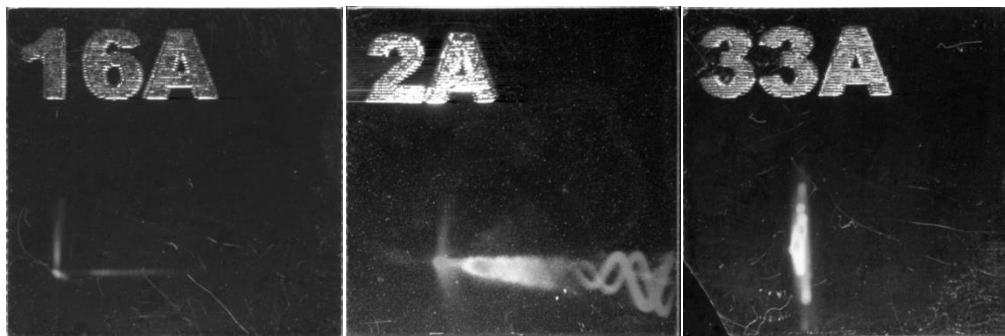
شد و نتایج نشان می‌داد خلاء فراهم شده در محفظه طیف‌سنج ($0/0011\text{mabr}$) و در قسمت میانی دو روزنه ($0/028\text{mbar}$) مطلوب بوده و تاثیر قابل توجهی بر روی باریکه یون پلاسمای کانونی ندارد.

در نهایت با استفاده از نرم‌افزار COMSOL شبیه‌سازی به جهت بررسی تاثیر امواج الکترومغناطیس بر روی حرکت ذرات صورت گرفت که نشان می‌داد در این آزمایش‌ها، حفاظ‌سازی الکترومغناطیسی ضروری است.

۳- آزمایش‌ها

در این تحقیق از یک دستگاه پلاسمای کانونی 5kJ برای تولید باریکه یونی استفاده شد. در ساخت این دستگاه پلاسمای کانونی، از دو عدد خازن با ظرفیت $14\ \mu\text{F}$ ؛ حداکثر ولتاژ قابل تحمل $28\ \text{kV}$ و اندوکتانس $20\ \text{nH}$ استفاده شده است. این دو خازن، بطور موازی با هم در مدار قرار می‌گیرند و هر کدام، $2/5\ \text{kJ}$ از انرژی لازم برای تخلیه را فراهم می‌کنند.

در مرحله اول آزمایش‌ها، بدون حفاظ‌سازی الکترومغناطیس ابتدا با اعمال میدان الکتریکی به طور منفرد و سپس با اعمال میدان مغناطیسی به صورت منفرد دو آزمایش انجام شد که هر دو آزمایش تاثیر سوار شدن امواج الکترومغناطیس حاصل از تخلیه الکتریکی در گاف‌های جرقه را تایید می‌کرد (شکل ۲-الف و ب).



(ج)

(ب)

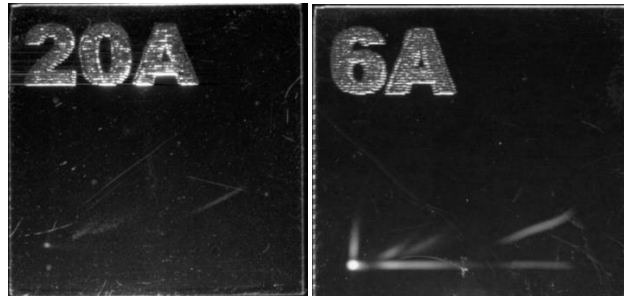
(الف)

شکل ۲ (الف) ایجاد ردی خطی شکل بر روی آشکارساز CR-39 بعد از یک شات با اعمال الکتریکی به طور منفرد (ب) ایجاد دو منحنی سینوسی مانند بر روی آشکارساز CR-39 بعد از دو شات پی در پی با اعمال میدان مغناطیسی به طور منفرد (ج) تصویر خط‌های عمودی و افقی حاصل از اعمال میدان الکتریکی و مغناطیسی به صورت مجزا در طیف‌سنج تاسون بعد از

حفاظ‌گذاری الکترومغناطیسی

بعد از اعمال حفاظ‌سازی مناسب، عملکرد دستگاه اصلاح و در دو شات پی در پی که در هر کدام به ترتیب میدان الکتریکی و مغناطیسی به طور منفرد اعمال می‌شد دو خط افقی و عمودی از رد یون‌ها در برخورد با آشکارساز CR-39 حاصل شد (شکل ۲ - ج).

در نهایت دستگاه در دو حالت با اعمال میدان‌های الکتریکی (300kV/m , 412.2kV/m) و میدان مغناطیسی ثابت (0.201 T) در حالتی که گاز کاری، ترکیبی از دوتریم و هوا تا فشار $2/1\text{ mbar}$ بود مورد آزمایش قرار گرفت (شکل ۳).



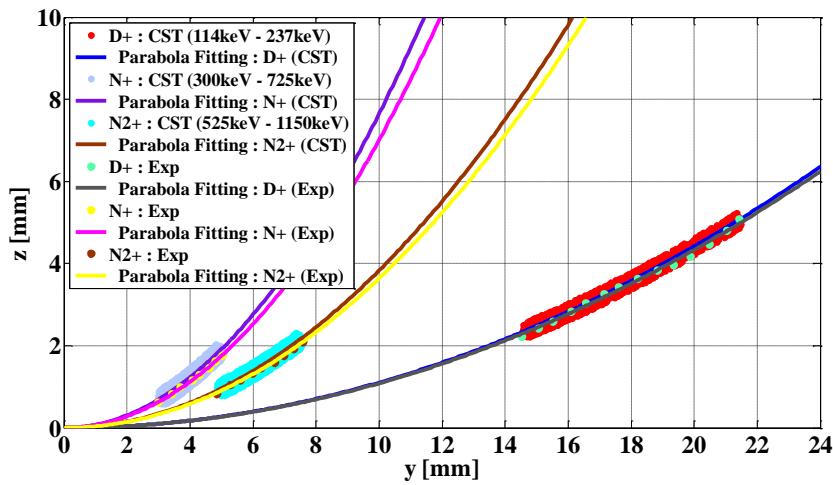
(ب)

(الف)

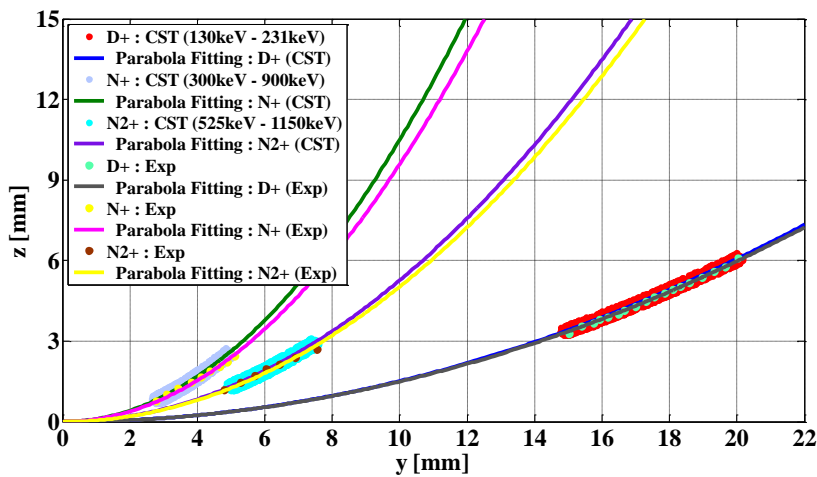
شکل ۳ ظهور ردهای سهمی شکل بر روی آشکارساز CR-39 (الف) با اعمال میدان الکتریکی 300 kV/m (ب) با اعمال میدان الکتریکی $412,2\text{ kV/m}$

۴- نتایج

با استخراج ردهای یونی در هر دو آزمایش و برازش سهمی‌های مربوط به هر یک از این سه دسته رد ایجاد شده نوع و گستره انرژی هر یک شناسایی و با نتایج حاصل از شبیه‌سازی مقایسه شد. شکل ۴ ردهای حاصل از آزمایش و شبیه‌سازی را به همراه سهمی‌های برازش شده بر روی هر یک از این داده‌ها نشان می‌دهد. همچنین جدول‌های ۱ و ۲ اطلاعات مربوط به سهمی‌های برازش داده شده بر داده‌های تجربی و شبیه‌سازی به همراه خطای نسبی آنها را بیان می‌کند.



(الف)



(ب)

شکل ۴ ردهای حاصل از انجام آزمایش و شبیه سازی به همراه سهمی های برازش شده مربوط به هر یک از این داده ها با اعمال میدان مغناطیسی ثابت $0.201 T$ و با (الف) اعمال میدان الکتریکی $300 kV/m$ (ب) اعمال میدان الکتریکی $412.2 kV/m$

جدول ۱ معادله سهمی های حاصل از برازش به داده های حاصل از آزمایش و نتایج شبیه سازی به همراه خطای نسبی

نوع یون	معادله سهمی (شبیه سازی)	معادله سهمی (آزمایش)	خطای نسبی
D^+	$y = 0.01104 \times z^2$	$y = 0.01084 \times z^2$	۱/۱۱٪
N^+	$y = 0.07647 \times z^2$	$y = 0.07009 \times z^2$	۸/۳۴٪

N^{2+}	$y = 0.03831 \times z^2$	$y = 0.03639 \times z^2$	۵/۰۱٪
----------	--------------------------	--------------------------	-------

جدول ۲ معادله سهمی‌های حاصل از برازش به داده‌های حاصل از آزمایش و نتایج شبیه‌سازی به همراه خطای نسبی

نوع یون	معادله سهمی (شبیه‌سازی)	معادله سهمی (آزمایش)	خطای نسبی
D^+	$y = 0.01516 \times z^2$	$y = 0.01494 \times z^2$	۱/۴۵٪
N^+	$y = 0.105 \times z^2$	$y = 0.09583 \times z^2$	۸/۷۳٪
N^{2+}	$y = 0.05263 \times z^2$	$y = 0.05028 \times z^2$	۴/۴۶٪

بحث و نتیجه گیری

همان طور که از مقایسه نتایج حاصل از آزمایش اول و دوم بر می‌آید می‌توان گفت با اعمال میدان الکتریکی قوی‌تر گستره انرژی یون‌های سنگین‌تر دقیق‌تر تخمین زده خواهد شد و همچنین با توجه به خطاهای نسبی بدست آمده می‌توان گفت آزمایشات و شبیه‌سازی‌های صورت گرفته با دقت مناسبی مطابقت دارند.

مراجع

-
- [1] H. Herold, A. Mozer, M. Sadowski, and H. Schmidt, Design and calibration of a Thomson ion analyzer for plasma focus studies, Rev. Sci. Instrum. 52, 24 (1981); doi: 10.1063/1.1136441
- [2] R. F. Schneider, C. M. Luo, and M. J. Rhee, Resolution of the Thomson spectrometer, J. Appl. Phys. 57, 1 (1985); doi: 10.1063/1.335389
- [3] Rhee M.J, Compact Thomson Spectrometer, Review of Scientific Instruments, Vol. 55, No. 8, PP. 1229-1234, (1984).