

طراحی و ساخت فنجان فارادی جهت اندازه گیری جریان باریکه های الکترونی در شتاب دهنده رودوترون

سید خلیل موسوی* - علی محمد پورصالح - مجتبی مرتضوی - محمد عاطفی

سازمان انرژی اتمی، معاونت توسعه کاربرد پرتوها، مجتمع پژوهشی کاربرد پرتوهای یزد

چکیده:

در این مقاله با استفاده از نرم افزارهای *Simion 3D*، *Matlab* و *Solidworks* به بررسی هندسه الکترودهای فنجان فارادی جهت اندازه گیری جریان باریکه الکترونی در شتاب دهنده های الکترونی پرداخته شده است. برای بدست آوردن هندسه بهینه برای اندازه گیری جریان، در شبیه سازی عواملی از جمله اثرات بارفضایی، گسیل الکترون های ثانویه، شکل الکترودها و هم چنین پتانسیل الکترودها و توزیع این پتانسیل در نظر گرفته شده است بعد از طراحی، قطعات مختلف از جمله الکترودها، عایق ها و همچنین منبع ولتاژ برای اعمال پتانسیل بر الکترودها، ساخته و هندسه های مختلف از الکترودها مورد آزمایش قرار گرفت که نتایج حاصل از تست آن بر روی شتاب دهنده رودوترون بسیار رضایت بخش می باشد.

کلید واژه: فنجان فارادی، الکترودها، نرم افزار *Simion 3D*، باریکه الکترونی، شتاب دهنده رودوترون

مقدمه:

روش های گوناگونی برای اندازه گیری جریان در شتاب دهنده ها وجود دارد که می توان به فنجان فارادی و همچنین اثر هال اشاره کرد. اثر هال معمولا برای جریان های پالسی و فنجان فارادی برای جریان های DC با شدت پایین مورد استفاده قرار می گیرد [۱ و ۲]. فنجان فارادی دارای مدل های گوناگونی می باشد که می توان به مدل های CFC، FC-66، USR، DF 020، DF 060 اشاره کرد که با توجه به ویژگی های باریکه (انرژی، جریان باریکه و نوع ذره باردار) یکی از مدل ها به کار گرفته می شود [۳، ۴، ۵]. الکترون های ثانویه نقش بسزایی در اندازه گیری جریان باریکه الکترونی دارند. الکترون هایی که از برخورد باریکه الکترونی به یک الکترودها بوجود می آیند معمولا "سه نوع می باشند: الکترون های ثانویه، الکترون های برگشتی، الکترون اوره. شار الکترون های ثانویه متناسب با $\cos\theta$ می باشد که θ زاویه مسیر الکترون نسبت به سطح می باشد (الکترون های ثانویه تولید شده تقریبا دارای انرژی 50 eV می باشند) [۶]. رابطه ای که برای عمق نفوذ الکترون ها در مواد وجود دارد به صورت زیر بیان می شود [۷].

$$R_p = \left(\frac{A}{\rho Z}\right) (0.285E_0 - 0.137) \quad (1)$$

در رابطه (۱) A وزن اتمی، ρ چگالی [$g\ cm^{-3}$] و Z عدد اتمی مواد مورد نظر می باشد. از رابطه (۲) برای محاسبه انرژی انتقال یافته از باریکه فرودی به الکترون نگره دارنده باریکه استفاده می شود.

$$\frac{E_{rad}}{E_0} = \frac{ZE_0}{1600 + ZE_0} \quad (2)$$

در رابطه (۲)، Z عدد اتمی، E_0 انرژی باریکه الکترونی فرودی و E_{rad} انرژی تابشی می باشد. انرژی تابشی که باریکه الکترونی در هنگام نزدیک شدن به مواد از دست می دهد برای بعضی مواد در مرجع [7] آورده شده است. یکی از پارامترهای مهم در انتقال باریکه تطبیق امپدانس^۱ می باشد، امپدانس برای دو استوانه هم محور به صورت رابطه (۳) بیان می شود.

$$Z_0 = \frac{1}{2\pi} \left(\frac{\mu}{\epsilon}\right)^{1/2} \ln\left(\frac{a}{b}\right) \quad (3)$$

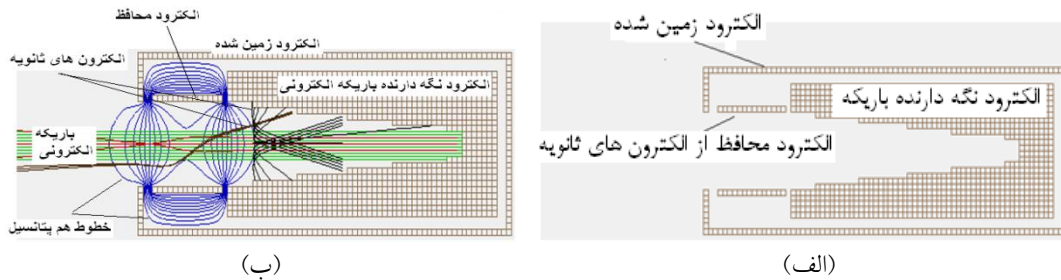
که Z_0 امپدانس خطوط هم محور، μ پذیرفتاری مغناطیسی محیط بین دو استوانه رسانا، ϵ ثابت دی الکتریک و $\frac{a}{b}$ نسبت قطر استوانه بیرونی نسبت به استوانه داخلی می باشد [8].

روش کار:

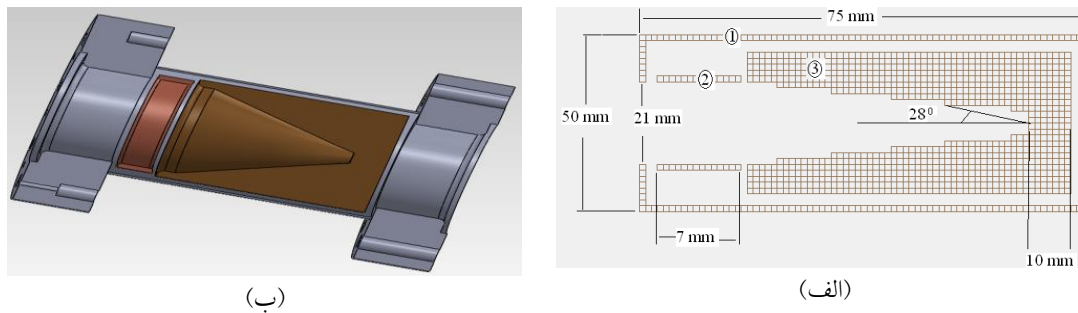
فنجان فارادی از سه الکترون نگره دارنده باریکه، الکترون زمین شده و الکترون محافظ (الکترونی برای جلوگیری از الکترون های ثانویه) تشکیل شده است با توجه به اهمیت هندسه، ولتاژ و جنس الکترونها بر روی اندازه گیری جریان باریکه، در این مقاله با استفاده از نرم افزارهای *simion 3D* و *Matlab* به طراحی الکترونها پرداخته شده و هندسه های مختلف از الکترونها ساخته و با اعمال پتانسیل به الکترونها و همچنین خلاء مناسب داخل فنجان در شتاب دهنده رودترون مورد آزمایش قرار گرفته شده است.

شکل (۱) فنجان فارادی شبیه سازی و طراحی شده با استفاده از نرم افزار *SIMION 3D* [9] را نشان می دهد. در این شبیه سازی انرژی باریکه الکترونی فرودی $50\ KeV$ و همچنین در این هندسه (شکل ۱) مسائلی از جمله توزیع میدان روی محور الکترونها، گسیل الکترون های ثانویه، پتانسیل و هندسه الکترونها مورد بررسی قرار گرفته شده است. در هنگام دادن پتانسیل به الکترونها این نکته مورد توجه قرار گرفته که حداکثر پتانسیلی که در خلاء می تواند بین الکترونها وجود داشته باشد $15\ kV/mm$ [10] و در هوا $3\ kV/mm$ [11] می باشد. با استفاده از شبیه سازی، ابعاد و پتانسیل در نظر گرفته شده برای الکتروهای فنجان فارادی در شکل (۲) آورده شده است. قطعات ساخته شده برای فنجان فارادی در شکل (۳) نمایش شده است.

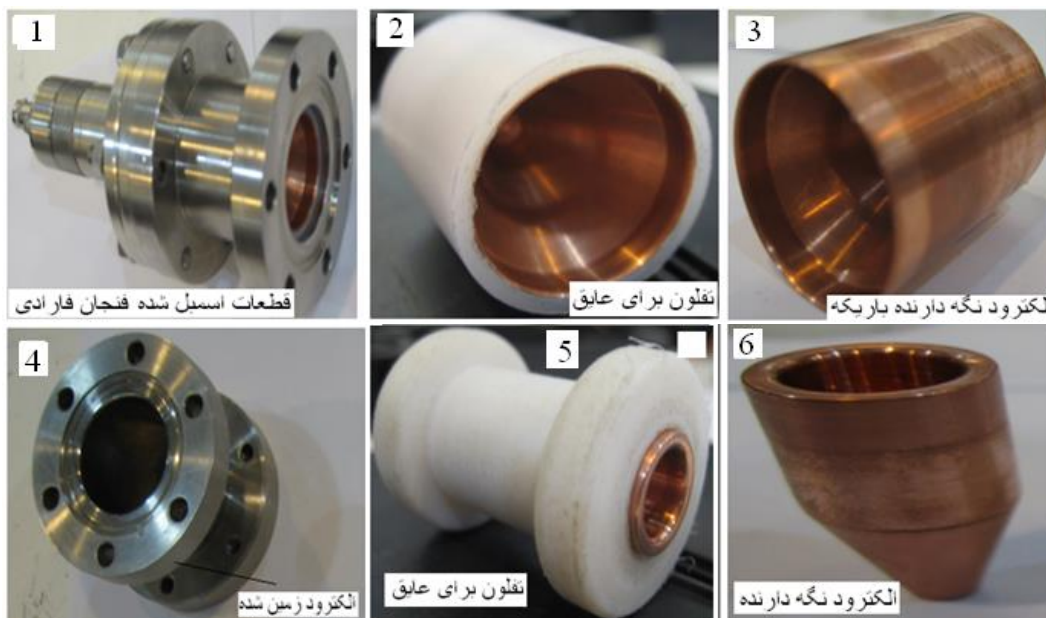
¹ Impedance Matching



شکل (۱): (الف) هندسه طراحی شده فنجان فارادی با استفاده از نرم افزار SIMION 3D. (الف) الکتروودهای بکار گرفته شده (ب) اپتیک باریکه به همراه الکترون‌های تانبویه و سطوح هم‌پتانسیل.



شکل (۲): (الف) هندسه فنجان فارادی (پتانسیل الکتروود 1، 2 و 3 به ترتیب برابر با 0، -500، 0 ولت می‌باشد). (ب) نمایش سه بعدی برش خورده فنجان فارادی طراحی شده با استفاده از نرم افزار Solidworks.



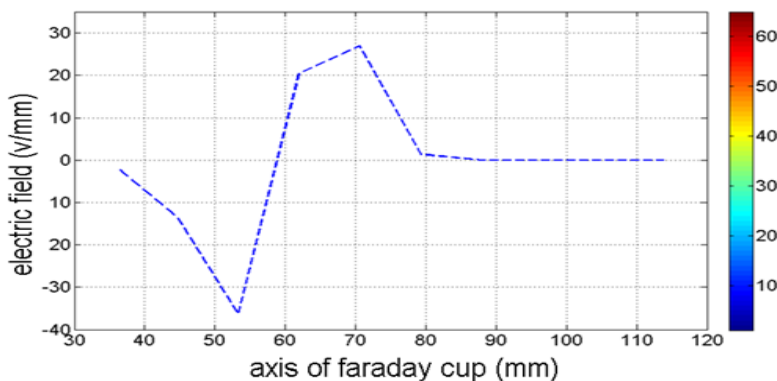
شکل (۳): قطعات ساخته شده برای فنجان فارادی

نتایج:

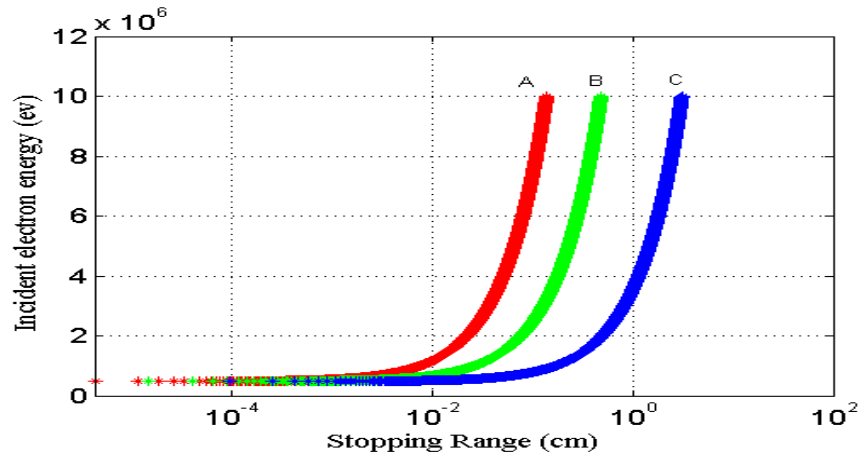
شکل (۴) میدان الکتریکی در راستای محور الکترودها را نشان می‌دهد. همان‌طور که از شکل (۴) دیده می‌شود مقدار میدان در بین الکترودها محافظ با الکترودها زمین شده (۵۰-۵۵ میلی‌متر) و همچنین بین الکترودها محافظ با الکترودها نگه‌دارنده باریکه (۶۷-۷۳ میلی‌متر) بیشترین مقدار را دارد. البته هدف از گذاشتن الکترودها محافظ ایجاد یک میدان بین الکترودها محافظ با الکترودها نگه‌دارنده باریکه بوده تا از فرار الکترون‌های ثانویه و حتی الکترون‌هایی که برخورد الاستیک با الکترودها نگه‌دارنده باریکه دارند جلوگیری شود.

عمق نفوذ بر حسب انرژی باریکه فرودی برای بعضی از مواد در شکل (۵) داده شده است. همان‌طور که از شکل (۶) دیده می‌شود با ثابت نگه‌داشتن پتانسیل‌های الکترودهای نگه‌دارنده باریکه و الکترودها زمین شده و با افزایش پتانسیل الکترودها محافظ، جریان بدست آمده کاهش می‌یابد.

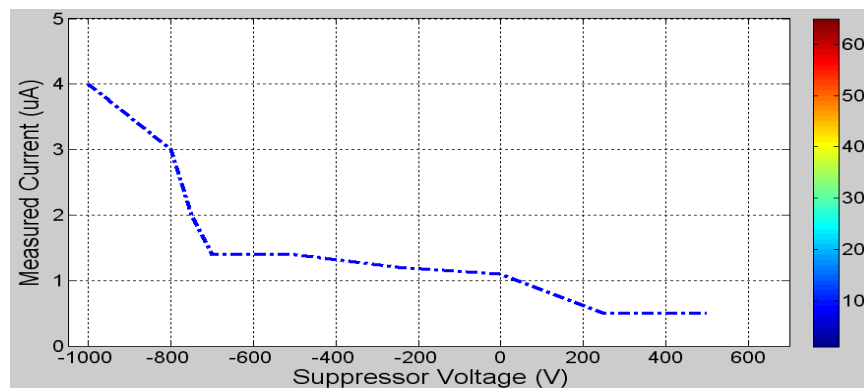
هنگامی که از الکترودها نگه‌دارنده باریکه با هندسه شماره ۳ (شکل (۳)) استفاده می‌شود پتانسیل اندازه‌گیری شده برای الکترودها نگه‌دارنده باریکه بر حسب زمان تغییرات زیادی دارد یا به عبارت دیگر حالت شارژ و دشارژ در فنجان فارادی ایجاد می‌شود شکل (۷-الف) را ملاحظه فرمائید. اما در شکل (۷-ب) تقریباً پتانسیل ثابتی برای الکترودها نگه‌دارنده باریکه اندازه‌گیری می‌شود که علت این امر تطبیق امپدانس بین کابل کوآکسیال و الکترودها زمین شده - الکترودها نگه‌دارنده باریکه می‌باشد البته جنس و همچنین زاویه مخروطی الکترودها نگه‌دارنده باریکه مهم می‌باشد که در ساخت مورد توجه قرار گرفته شده است.



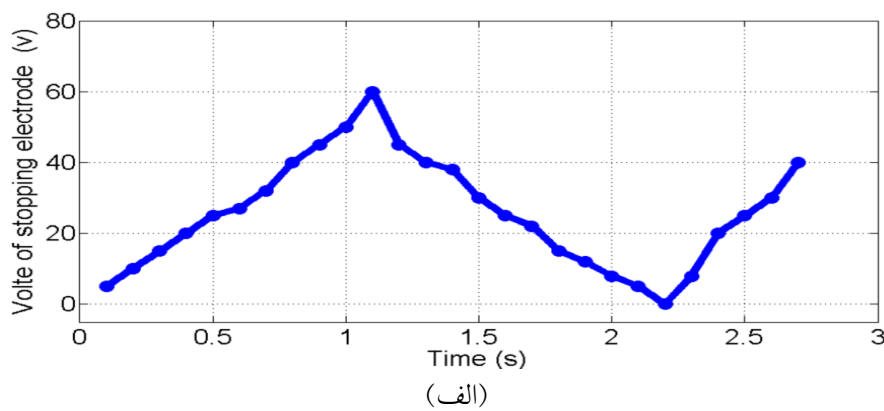
شکل (۴): میدان الکتریکی در راستای محور الکترودها

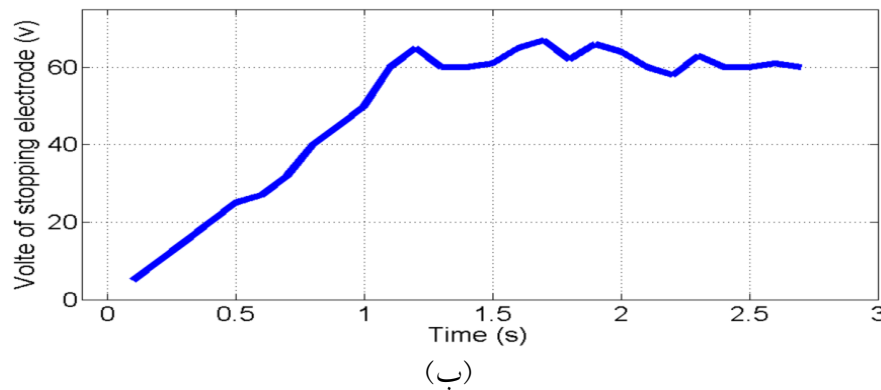


شکل (۵): عمق نفوذ الکترون برای انرژی‌های باریکه فرودی در مواد مختلف. نمودار (A) برای مس، نمودار (B) برای آلومینیوم، نمودار (C) برای گرافیت. نتایج با استفاده از رابطه (۱) بدست آمده است.



شکل (۶): الف): تغییرات جریان باریکه بر حسب پتانسیل الکتروود محافظ.





شکل (۷): تغییرات پتانسیل الکتروود نگه دارنده بر حسب زمان. نتایج برای حالتی که الکتروود نگه دارنده به کار برده شده در فنجان فارادی الف) هندسه ۳ در شکل (۳)، ب) هندسه ۶ در شکل (۳) باشد.

بحث و نتیجه گیری:

با نتایج بدست آمده از شبیه سازی و ساخت فنجان فارادی جهت اندازه گیری جریان باریکه الکترونی می توان گفت از عوامل مهم در در ساخت فنجان فارادی هندسه و جنس الکتروودها (بالاخص جنس و شکل الکتروود نگه دارنده باریکه) و همچنین پتانسیل اعمال شده به الکتروودها می باشد. فنجان فارادی ساخته شده بر روی باریکه الکترونی شتاب دهنده رودوترون مورد آزمایش قرار گرفت و نتایج رضایت بخش بود.

مراجع:

- [1] J. Harasimowicz, Faraday cup for low-energy, low-intensity beam measurements at the USR, Cockroft institute and Department of physics, USA, 2010.
- [2] P. Forck, Measurement of beam current, JUAS Archamps, 2003.
- [3] G. Balbinot, J. Bosser, M. Caldara, L. Lanzavecchia, M. Pullia, A. Parravicini, a "not-interceptive" faraday cup in the cnao low energy injection lines, 339-341, 2005.
- [4] Model fc-66 faraday cup, <http://www.kimballphysics.com>.
- [5] G. Andomain, P. Frigola, Low energy faraday cup, Radiabeam Technologies, 2007.
- [6] P. Strehl, Beam instrumentation and diagnostics, Springe, 2005.
- [7] Daniel H. McIntosh, Faraday Cup Beam Dumps for the UCLA PBPL, Particle Beam Physics-Los Angeles, 1994.
- [8] D. McIntosh, "Faraday Cup Beam Dumps for the UCLA PBPL", Los Angeles, CA (1994).
- [9] David A. Dahl, SIMION 3D 7.0 user's manual, Idaho, 2000.
- [10] M. Szilagy, Electron and ion optics, Pelenum, New Yourk, 1988.
- [11] W. Scharf, Particle accelerator and their uses, Hardwood Academic, 1978.