



شبیه‌سازی یک تفنگ الکترونی انرژی- پایین

مجتبی مقبل‌الحسین، احسان بازوند*، عبدالمحمد قلمبر دزفولی

گروه فیزیک، دانشگاه شهید چمران، صندوق پستی: ۱۳۵، اهواز - ایران

چکیده: تفنگ‌های الکترونی ابزارهای بسیار مهم و پرکاربرد در پراکندگی الکترون هستند. مدل‌های مختلف و متنوعی از این تفنگ‌ها طراحی شده است. در این مقاله با استفاده از نسخه‌ی ۸٫۰ کد محاسباتی SIMION سه‌بعدی، یک تفنگ الکترونی انرژی- پایین، مناسب انجام مطالعه‌های برخورد الکترون طراحی و شبیه‌سازی شده است. از این کد محاسباتی برای تصحیح ویژگی‌های کانونی عدسی‌های الکترواستاتیکی و محاسبه‌ی ولتاژهای اعمال شده به آن‌ها استفاده می‌شود، و هم‌چنین تعیین محل و قطر روزنه‌ها (الکترودها) و مسیریابی عبور باریکه‌ی الکترونی از درون سیستم عدسی‌های الکترواستاتیکی با استفاده از این کد محاسباتی صورت می‌گیرد. سیستم تفنگ الکترونی طراحی شده، الکترون‌ها را از یک چشمه‌ی گرما- یونی به محیط برهم‌کنش (هدف) در گستره‌ی وسیعی از انرژی‌های نهایی متغیر متمرکز می‌نماید.

کلیدواژه‌ها: تفنگ الکترونی، عدسی‌های الکترواستاتیکی، کد محاسباتی SIMION شبیه‌سازی

Simulation of a Low Energy Electron Gun

M. Moghbelhossein, E. Bazvand*, A.M. Ghalambordefzouli
Department of Physics, Shahid Chamran University, P.O.Box: 135, Ahwaz – Iran

Abstract: Electron Guns are considered as important and useful devices in electron scattering studies. So far, different models of these guns have been designed. In this paper, using the computational code SIMION- 8.0 3D we simulate a low energy electron gun which is appropriate for the electron collision process. This computational code may be used to correct the canonical properties of electrostatic lenses and also to calculate the imposed voltages on the optical components of the electron gun. Moreover, by applying this code the location and diameter of all the apertures (electrodes) and also the tracing of the electron beams through the electrostatic lenses can be determined. The designed electron gun system accelerates and focuses the electrons leaving a thermionic emitter to an interaction domain (target) in a wide range of variable final energy.

Keywords: Electron Gun, Electrostatic Lenses, SIMION, Simulation

**۱. مقدمه**

ویژگی‌های کانونی دارد. علاوه بر این هدف دیگر ما در این کار، مناسب بودن طراحی برای مطالعه‌ی برخورد الکترون است. بنابراین انرژی برخورد الکترون‌های خروجی در گستره‌ی بین ۴ تا کم‌تر از ۵۰ الکترون ولت است.

ویژگی‌های پرتو الکترونی مورد نیاز برای منطقه‌ی برهم‌کنش، شامل محدوده‌ی انرژی متغیر، بزرگ‌نمایی ثابت و زاویه‌ی پرتو نزدیک به صفر در نقطه‌ی هدف است. در این کار از یک سیستم ۸ جزیی تشکیل شده از عدسی‌های الکترواستاتیکی برای شتاب‌دار کردن الکترون‌ها استفاده شده است.

مهم‌ترین شرایطی که برای بهبود عملکرد تفنگ ضروری است عبارت‌اند از

- جریان محدود شده به وسیله‌ی بار فضایی در تصویر نهایی، در مرکز پراکندگی به دست آمده، و نه در درون خود عدسی‌ها باشد؛
- واگرایی زاویه‌ای پرتو در تصویر نهایی کم‌تر از ۵ درجه باشد؛
- ضریب پراکندگی بیشینه‌ی لنزها، زیر ۶۰٪ نگه داشته شده باشد. این شرط برای کمینه کردن ابیراهی و به ویژه ابیراهی کروی بسیار مهم است؛
- عملکرد تفنگ حول محدوده‌ی وسیع انرژی با تغییر تنها یک تک پتانسیل امکان‌پذیر باشد [۱۱، ۱۳].

۳. طراحی و شبیه‌سازی

برای شبیه‌سازی این تفنگ الکترونی از نسخه‌ی ۸٫۰ کد محاسباتی SIMION سه بُعدی استفاده شده است. می‌توان با این نرم‌افزار، مسیر پرتو الکترونی در میدان الکترواستاتیکی تولید شده به وسیله‌ی لنزهای الکترواستاتیکی را در سه بُعد تعیین کرد. برای افزایش سرعت و دقت، از روش واهلش با ضریب ۱٫۹۹ بدون در نظر گرفتن تقارن ساختاری استفاده و انتگرال مسیر براساس روش رانگ-کوتا محاسبه شد.

برای دست‌یابی به یک نقطه‌ی کانونی می‌توان از پرتو الکترونی یک تابش گرگرم-یونی اکسیدی استفاده کرد. این رشته‌ی مویی^(۱) از جنس تنگستن بوده، و دارای قطری به اندازه‌ی ۰٫۱ mm است، که به طور غیرمستقیم و با عبور جریان الکتریکی گرم می‌شود. توزیع انرژی الکترون‌های خروجی از گسیلیده براساس توزیع ماکسول-بولتزمن است. از تجمع الکترون‌های خارج شده از سطح گسیلیده که در جهت‌های مختلف گسیلیده شده‌اند، بار فضایی در اطراف رشته ایجاد می‌شود.

تفنگ‌های الکترونی انرژی-پایین با انرژی متغیر نقش مهمی در دست‌یابی به اطلاعات در زمینه‌ی پژوهشی ساختار مواد ایفا می‌کنند. یک پرتو الکترونی تکفام می‌تواند اطلاعات دقیق و قابل توجهی را در برهم‌کنش‌های ممکن بین الکترون-اتم، الکترون-مولکول و الکترون-سطح به ما بدهد [۱، ۲]. مدل‌های مختلفی از تفنگ‌های الکترونی طراحی و شبیه‌سازی شده‌اند. در این تفنگ‌ها پارامترهای پرتو خروجی مانند قطر و انرژی از اهمیت زیادی برخوردارند. در ساخت میکروسکوپ‌های الکترونی روبشی و عبوری، تفنگ‌های انرژی-پایین استفاده می‌شود. اندازه‌ی نقطه‌ی کانونی و قطر پرتو این تفنگ‌ها در حدود میکرومتر است [۳، ۴]. بیش‌تر تفنگ‌های الکترونی که در برخورد الکترونی مورد استفاده قرار می‌گیرند دارای قطر پرتو کانونی در حدود ۱-۲ میلی‌متر است [۵]. شبیه‌سازی حرکت پرتوهای الکترونی در عبور از الکترودهای شکل‌دهنده‌ی تفنگ الکترونی نقش مهمی در طراحی و بهینه‌سازی سیستم‌های نوری الکترونی دارد، این شبیه‌سازی‌ها باعث کاهش وقت و هزینه‌ی ساخت و توسعه‌ی سیستم‌ها می‌شود و می‌توان شرایط مناسبی را برای بهینه‌سازی کار تجهیزا فراهم کرد [۶]. به عنوان نمونه می‌توان به شبیه‌سازی تفنگ الکترونی با استفاده از برنامه‌ی EOD [۶، ۷] و کدهای محاسباتی SIMION و EBS [۸، ۹، ۱۰] اشاره کرد که اساس محاسبه در آن‌ها روش تفاضل محدود است. علاوه بر این می‌توان به طراحی و ساخت یک تفنگ الکترونی هفت جزیی متشکل از عدسی‌های زوم و لنزهای کانونی برای استفاده در آزمایش پراکندگی الکترون-یون [۱۱] و هم‌چنین طراحی یک تفنگ الکترونی انرژی-پایین که دارای انرژی خروجی متغیر بین ۵ تا ۴۰ الکترون ولت است [۱۲] اشاره کرد.

۲. توصیف روش

برای مطالعه‌ی فرایند برخورد الکترون ابتدا باید انرژی الکترون را افزایش دهیم. یکی از راه‌های شتاب‌دار کردن الکترون، استفاده از عدسی‌های الکترواستاتیکی قرار گرفته در یک پتانسیل مناسب است. هدف اصلی ما در این کار دست‌یابی به یک طراحی است که در آن مختصه‌های فضایی و انرژی الکترون‌های پرتو خروجی به وسیله‌ی متمرکزکننده‌های (عدسی‌های هندسی) الکترونی و اعمال پتانسیل بر روی الکترودهای مختلف سیستم، کنترل می‌شود، و تغییر انرژی پرتو خروجی کم‌ترین اثر را بر روی



$$P = IV^{-3/2} \quad (2)$$

$$I = PV^{3/2} = 1.57 \times 10^{-6} \left(\frac{r_\alpha}{d}\right)^2 (V^{3/2}) \quad (3)$$

که در آن، ولتاژ اعمالی به عنصر شبکه نسبت به محفظه‌ی رشته است. با استفاده از این رابطه می‌توان بیش‌ترین جریان خروجی از شبکه را در هر ولتاژ معین حساب کرد. به طور مثال، کم‌ترین جریان خروجی از تفنگ طراحی شده با توجه به رابطه‌ی فوق، برای $V=50V$ ، $r_\alpha=0.1\text{ mm}$ و $d=8\text{ mm}$ ، برابر $I=19.1\text{ }\mu\text{A}$ خواهد بود.

برای جلوگیری از پهن‌شدگی پرتو از یک چارقطبی که در راستای عمودی و افقی بعد از شبکه قرار گرفته، استفاده شد، که ابتدای آن در فاصله‌ی 1 cm از رشته قرار داشت، و دارای طولی به اندازه‌ی 9 cm و شعاع دهانه‌ی آن 2 cm بود. صفحه‌های این چارقطبی در ولتاژ بهینه‌ی $\pm 10V$ قرار داده شد [1]. بر اساس قانون هلمهولتز- لاگرانژ این زاویه (θ) با $E^{1/2}$ متناسب است. بزرگ‌نمایی لنز با پرتو شعاع در محل جسم I_1 و تصویر I_2 متناسب است $(M=I_2/I_1)$.

ولتاژهای اعمال شده به اجزای تفنگ الکترونی در شکل 1 نمایش داده شده است. نگه‌دارنده‌ی رشته و پیرس در یک ولتاژ منفی قرار داده شده‌اند، که خود باعث کاهش تجمع بار فضایی در اطراف رشته شده و به افزایش جریان کمک می‌کند. با توجه به قرار گرفتن رشته در دهانه‌ی پیرس و قرار گرفتن دو جزء انتهایی تفنگ الکترونی در ولتاژ زمین، با تغییر ولتاژ پیرس انرژی پرتو خروجی تغییر می‌کند. برای کاهش بازگشت الکترون‌های خروجی از چارقطبی، یک لنز استوانه‌ای به شعاع داخلی 1.25 cm و به طول 2 cm در فاصله‌ی 13 cm از رشته قرار گرفته است. در این جزء تغییری در مسیر ذرات باردار صورت نمی‌گیرد. افزایش انرژی الکترون‌ها، تنها مانع بازگشت آن‌ها به درون چارقطبی شده و از پهن‌شدگی بیش‌تر آن‌ها در خروجی چارقطبی جلوگیری می‌کند. قدرت لنزهای الکترون نوری به اختلاف ولتاژ بین آن‌ها وابسته است، که این، هم‌ارز تغییر انرژی الکترون‌ها در عبور از لنزهای الکترواستاتیکی است. به همین دلیل ولتاژ اعمالی به این جزء باید از ولتاژ اعمال شده به شبکه بیش‌تر باشد، تا با افزایش انرژی الکترون‌ها مانع بازگشت آن‌ها به درون چارقطبی شود.

در اولین مرحله از شبه‌سازی از یک دو قطبی پیرس و الکتروود به نام شبکه استفاده شد، ولتاژ اعمالی به پیرس منفی بود. الکتروود پیرس با شکل دهی میدان‌های الکتریکی، باعث کانونی شدن پرتوها در نزدیکی کاتد می‌شود. مؤلفه‌ی محوری شیب پتانسیل الکتریکی، یک میدان الکتریکی شعاعی به وجود می‌آورد، نیروی حاصل از این میدان الکتریکی، نیروی واگرایی لبه‌ی باریکه را خنثی می‌کند، که برای متعادل نمودن اثر واگرایی حاصل از نیروی بار فضایی در باریکه کافی است. شعاع دهانه‌ی کوچک تر پیرس 0.7 cm و شعاع دهانه‌ی بزرگ تر آن 3 cm در نظر گرفته شد.

شبکه، الکترون‌ها را از صفحه‌ی گسیلیده با پتانسیل $V=20V$ بیرون کشیده و باعث تولید پرتوی از الکترون‌های استخراج شده می‌شود. زاویه‌ی خروج الکترون از سطح یک رشته‌ی مویی چنین به دست می‌آید [13]

$$\alpha_p = (r_\alpha / d) V_1^{-1/2} \quad (1)$$

که در آن، V_1 اختلاف پتانسیل بین رشته و پیرس، r_α شعاع رشته، و d فاصله‌ی مرکز رشته از مرکز دهانه‌ی پیرس است. این دهانه، در تفنگ نقش اولین پنجره را دارا است. زاویه‌ی فوق را می‌توان زاویه‌ی مدادی برای جسم (رشته) در نظر گرفت. در اثر ابراهیی هندسی، نیروی وارد بر ذرات، متناسب با زاویه‌ی ورود آن‌ها به میدان الکترواستاتیکی متفاوت است. بنابراین، پرتوهای محوری دارای مکان و تصویری متفاوت نسبت به پرتوهای نامحوری هستند. برای جلوگیری از این ابراهیی باید تا حد ممکن سعی شود زاویه‌ی خروج الکترون‌ها از سطح گسیلیده در رابطه‌ی (1) کوچک شود. بدین منظور در نخستین رشته‌ی تفنگ، انرژی الکترون‌های خروجی را به 20 الکترون ولت رساندیم. جریان الکترون‌های خروجی بر اساس قانون چایلد- لانگمیر است [2]. چندین عامل وجود دارد که بیش‌ترین جریان قابل حصول از رشته را در یک ناحیه‌ی خاص محدود می‌کنند؛ مهم‌ترین این عامل‌ها توزیع بار فضایی است. چگالی بار در پرتو الکترونی یک نیروی عمود بر محور پرتو تولید می‌کند که باعث پهن‌شدگی در پرتو می‌شود. جریان خروجی از شبکه را با استفاده از رابطه‌ی زیر، که به پرویانس تفنگ یا اثر بار فضایی معروف است، و با در نظر گرفتن قانون چایلد- لانگمیر می‌توان محاسبه نمود [14]



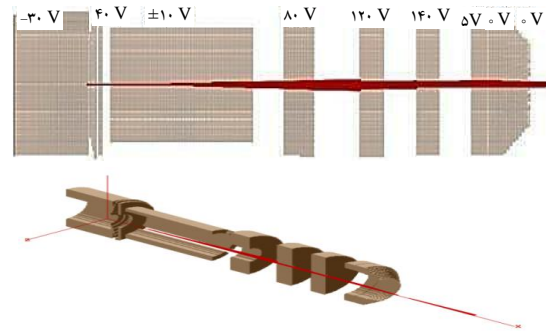
ولتاژ بهینه شده‌ی چارقطبی در یک مرحله و به طور مجزا از سایر جزءها بهینه‌سازی شد. ولتاژ سایر جزءهای به کار رفته در ساختار تفنگ، در یک گروه مجزای دیگر بهینه‌سازی شد. شکل ۲ مسیر محاسبه شده برای پرتو الکترونی از میان لنزهای الکترواستاتیکی در انرژی‌های خروجی متفاوت از تفنگ را نشان می‌دهد؛ مشاهده می‌شود که این تغییر با جابه‌جایی فاصله‌ی کانونی همراه است. این تغییرها در شکل ۳ نشان داده شده‌اند.

زوم لنزها توانایی تولید کانون با فاصله‌های کانونی متفاوت در انرژی ثابت را دارد. هدف از به کار بردن زوم لنز در ساختار تفنگ الکترونی، افزایش مساحت ناحیه‌ی برهم‌کنش پرتو خروجی از تفنگ در انرژی ثابت است، که با استفاده از این ویژگی‌ها تفنگ الکترونی می‌تواند تمام سطح برهم‌کنش را پوشش دهد. خطوط میدان زوم لنز نباید در دو جزء دیگر که در پتانسیل زمین قرار دارند نفوذ کرده و آن‌ها را تحت تأثیر قرار دهد، زیرا در آن صورت انرژی پرتو خروجی ثابت نخواهد ماند. بدین ترتیب، با کنترل پتانسیل زوم لنز امکان تغییر محل کانون (بدون تغییر در انرژی پرتو خروجی) در تمام گستره‌ی انرژی ۵ تا ۴۵ V برای تفنگ الکترونی طراحی شده وجود دارد. در شکل ۴ تغییر مکان کانون با انرژی پرتو خروجی نمایش داده شده است. به عنوان نمونه در انرژی ۵ eV، با تغییر ولتاژ اولین جزء زوم لنز از ۵ V به ۲۰ V محل کانون پرتوهای خروجی که در ۳۳۴ mm از رشته است، بدون تغییر در انرژی پرتو خروجی به فاصله‌ی ۳۳۵ mm از رشته منتقل می‌شود.

واضح است که افزایش پتانسیل زوم لنز تا هر مقدار دلخواهی ممکن نیست.

یکی دیگر از کمیت‌هایی که در عملکرد تفنگ الکترونی بسیار مهم است ثابت بودن بزرگ‌نمایی در زمان تغییر کم‌ترین قطر پرتو در نقطه‌ی کانون مربوط به پتانسیل اعمال شده‌ی ۱۰ V است، که مقداری در حدود ۰/۷ mm دارد. بیش‌ترین قطر در پتانسیل ۷۹ V با مقداری در حدود ۱/۹ mm است (شکل ۵).

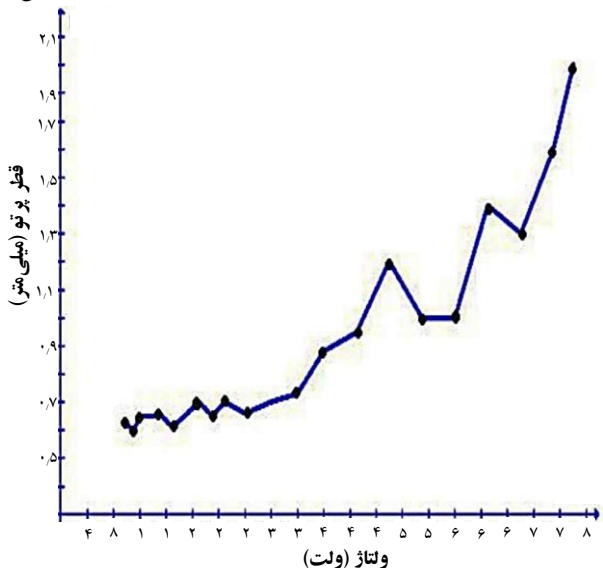
برای بررسی واگرایی زاویه‌ای، در هر انرژی به طور جداگانه با میانگین‌گیری از زاویه‌ی قطبی و زاویه‌ی سمتی تک‌تک الکترون‌های رسیده به کانون، واگرایی زاویه‌ای در آن نقطه محاسبه شد که همواره زیر ۵ درجه بود که از مناسب بودن عملکرد این پرتو حکایت داشت. در شکل‌های ۶ و ۷، به ترتیب، تغییر زاویه‌ی قطبی و زاویه‌ی سمتی با انرژی پرتو خروجی، نمایش داده شده است.



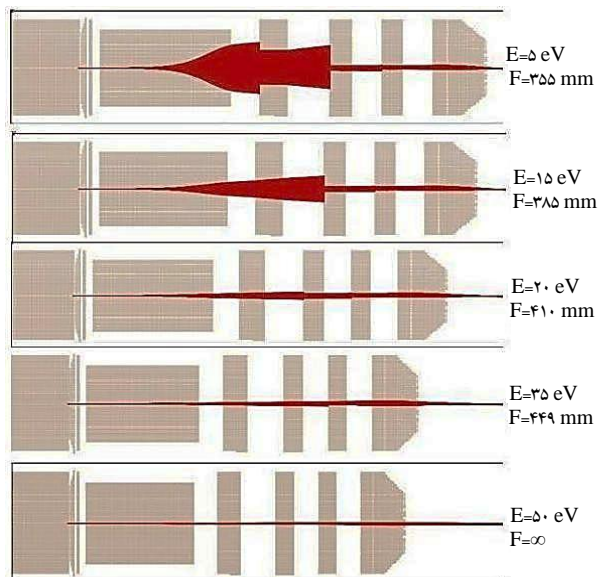
شکل ۱. عبور پرتو الکترونی از تفنگ الکترونی.

مطابق شکل ۱ از دو الکتروود استوانه‌ای، که برای جریان ذراتی که از درون چارقطبی ارسال می‌شوند نقش دو پنجره را دارا هستند، استفاده شد. این دو الکتروود استوانه‌ای، که دارای طولی برابر ۱/۵ cm هستند، در فاصله‌های ۱۸ cm و ۲۲ cm از رشته قرار دارند. شعاع درونی آن‌ها برای لنز نزدیک‌تر به رشته ۱ mm و برای لنز دورتر ۰/۵ mm است. با توجه به فاصله‌ی بین این دو لنز و فاصله‌ی آن‌ها تا لنز استوانه‌ای قبلی، برای جلوگیری از پهن‌شدگی فضایی پرتوهای ورودی باید روند افزایش انرژی در این دو جزء ادامه یابد. به همین دلیل این دو لنز در ولتاژهای ۱۲۰ V و ۱۴۰ V قرار می‌گیرند. مجموع سه الکتروود باقی‌مانده از این سیستم ۸ جزیی، یک زوم لنز را تشکیل می‌دهند. هدف از تعبیه‌ی این زوم لنز سه جزیی، تعیین دقیق محل کانون پرتو خروجی از تفنگ برای انتقال به تکفام‌کننده و یا ناحیه‌ی برهم‌کنش است. این مجموعه لنز، تصویری از پرتو کانونی شده در درون چارقطبی را در گستره‌ای از انرژی‌های نهایی الکترون در ناحیه‌ی هدف تولید می‌کند. اولین جزء این مجموعه‌ی سه لنزی را می‌توان یک مردمک کمکی برای پرتوهای که از پنجره‌ی قبلی می‌آیند، در نظر گرفت. این سه جزء، از دو الکتروود استوانه‌ای به طول ۱ cm و شعاع درونی روزنه‌ی ۲ cm، تشکیل شده است. الکتروود استوانه‌ای اول در فاصله‌ی ۲۵ cm از رشته و دومین الکتروود در فاصله‌ی ۱ mm از الکتروود استوانه‌ای اول قرار دارد. سومین جزء این زوم لنز، یک الکتروود مخروطی شکل است، که شعاع درونی روزنه‌ی قاعده‌ی آن ۲/۵ cm و شعاع درونی روزنه‌ی نوک آن ۲ cm است. اولین لنز استوانه‌ای زوم لنز در پتانسیل ۵ V قرار می‌گیرد. با تغییر جزیی در پتانسیل آن، امکان تغییر محل کانون، بدون تغییر در انرژی الکترون‌های خروجی فراهم می‌شود. دو جزء پایانی زوم لنز در پتانسیل زمین قرار می‌گیرند.

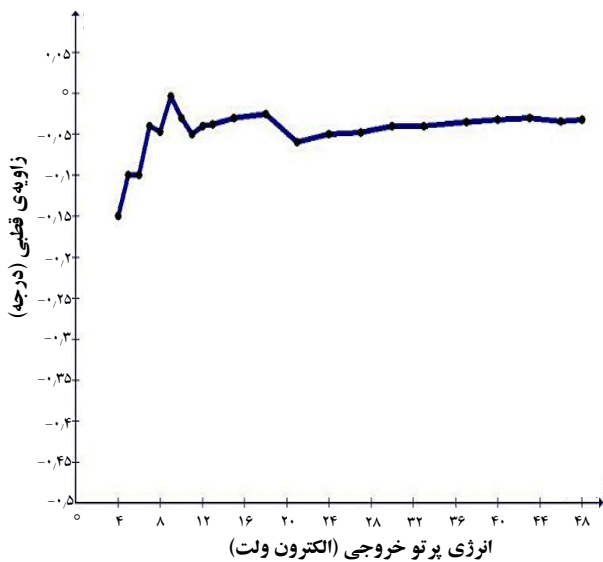
ولتاژهای اعمال شده به الکتروودهای این تفنگ، ولتاژ الکتروودهای نگه‌دارنده‌ی رشته، پیرس و شبکه با در نظر گرفتن



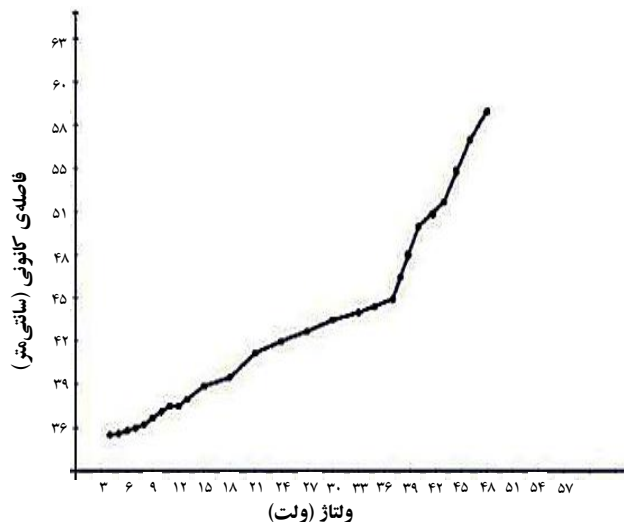
شکل ۵. تغییر قطر پروتو با ولتاژ اعمال شده به جزء پیرس.



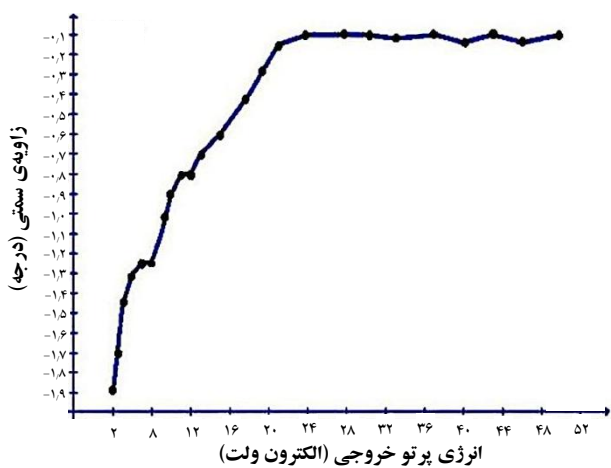
شکل ۲. پروتو کانونی شده در انرژی های خروجی متفاوت از تفنگ الکترونی.



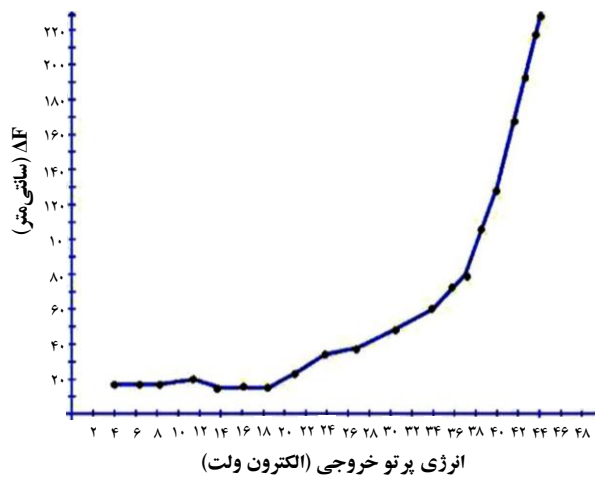
شکل ۶. تغییر زاویه قطبی با انرژی پروتو خروجی.



شکل ۳. تغییر فاصله کانونی با انرژی پروتو خروجی.



شکل ۷. تغییر زاویه سمتی با انرژی پروتو خروجی.



شکل ۴. تغییر اختلاف مکان کانون با انرژی پروتو خروجی.



۴. نتیجه‌گیری

تفنگ الکترونی ۸ جزیی طراحی شده در این مقاله برای آزمایش‌های پراش الکترونی براساس اصول شبیه‌سازی با نسخه‌ی ۸،۰ کد محاسباتی SIMION سه بُعدی، توانایی تولید پرتو الکترونی با انرژی متغیر، در گستره‌ی انرژی بین ۵ تا ۴۵ الکترون ولت را دارا است. ویژگی‌های کانونی و انرژی پرتو خروجی تفنگ به وسیله‌ی لنزهای هندسی و ولتاژ، قابل کنترل است. این تفنگ الکترونی با دارا بودن بزرگ‌نمایی ثابت و زاویه‌ی برخورد الکترون خروجی نزدیک صفر می‌تواند برای آزمایش‌های پراکندگی الکترونی و مطالعه‌های برخورد الکترونی مناسب باشد. جریان خروجی از شبکه‌ی آن در کم‌ترین و بیش‌ترین انرژی پرتو خروجی، به ترتیب، ۱۹ و ۳۵ μA است، که در مقایسه با تفنگ الکترونی مرجع [۹] که بیش‌ترین جریان خروجی از شبکه‌ی آن ۹ μA و از آن مرجع [۱۵] که بیش‌ترین جریان خروجی شبکه‌ی آن ۲۴ μA است، نتیجه‌ی مناسبی است.

تفنگ الکترونی طراحی شده دارای پرتو کانونی به قطر ۰،۷ تا ۲ mm است. این پارامتر، در مقایسه با قطر پرتو خروجی در مرجع [۳] به قطر ۱ تا ۴ mm، نتیجه‌ای مناسب محسوب می‌شود. در تمام گستره‌ی انرژی پرتو خروجی، زاویه‌ی خروج پرتوها در نقطه‌ی کانون در راستای عمود و راستای افقی همواره کم‌تر از ۵ درجه بود. در این طراحی سعی شد ضریب پرشدگی لنزهای الکترواستاتیکی به کار رفته در ساختار تفنگ الکترونی زیر ۶۰٪ نگه‌داری شود تا با کنترل انواع ابیراهی‌ها، کانونی نقطه‌ای و با توجه به زوم لنز به کار رفته در ساختار آن، پرتویی با کانون متغیر و انرژی ثابت تولید شود.

پی‌نوشت

1. Hairpin

مرجع‌ها

1. M. Moghbelalhossein, E. Bazvand, F. Homaion, Conference Physics Hamedan (2010).
2. R. Bakish, Electron Beam Technology, Wiley, New York (1962).
3. S.K. Mahapatra, S.D. Dhole, V.N. Bhoraskar, Nucl. Instrum. Methods. A, 536, (2005) 222–225.
4. A. Chong-Yu Runa, A. Manfred Flink, Rev. Sci. Instrum, 70 (1999) 4207-4215.
5. M. Dogan, A. Crowe, K. Bartschat, P.J. Marchalant, J. Phys. B 31 (1998) 1611-1624.
6. P. Jansky, J. Zlámá, B. Lencová, M. Zobač, I. Vlček, T. Radlička, Vacuum, 84 (2010) 357–362.
7. R. Becker, W.B. Herrmannsfeld, J. Phys. Conf. Ser, 2 (2004) 63-152.
8. M. Ulu, O. Sise, M. Dogan, Radiation Physics & Chemistry, 76 (2007) 636-641.
9. M. Moghbelalhossein, E. Bazvand, F. Homaion, Iranin Conference on Optics & Laser Engineering, Esfahan (2011).
10. M. Moghbelalhossein, E. Bazvand, M. Etebar, Iranin Conference on Optics & Laser Engineering, Esfahan (2011).
11. A. Chutjiann, Rev. Sci. Instrum, 50 (1979) 347-352.
12. S. Raj, D. Saram, Rev. Sci. Instrum. 75 (2004) 102-1020.
13. M.T. Bernius, K.F. Man, A. Chutjian, Rev. Sci. Instrum, 59 (1988) 2418-2423.
14. Jr. Stanley Humphries, Charged Particle Beams, Albuquerque, New Mexico (2002).
15. D.J. Alle, R.J. Gulley, S.J. Buckman, M.J. Brunger, J. Phys. B, 25 (1992) 1020-1025.