بیست و یکمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران
و هفتمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
۲۳ تا ۲۵ دی ماه ۱۳۹۳، دانشگاه شهید بهشتی

بررسی تاثیر هندسه هدف و اندازه چشمه در تولید پرتو ایکس با استفاده از الکترون‌های شبه تک انرژی به روش شبیه سازی

فرنگیس گورنگی [۱]، صدرالدین محمود کلایه [۲]، لیدا نیک زاد [۳*]

[۱] دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران مرکز، گروه فیزیک

[2] دانشگاه صنعتی شریف، گروه فیزیک

[۳] پژوهشگاه علوم و فنون هسته ای، پژوهشکده لیزر و اپتیک

چکیده - الکترون‌های پرانرژی تولید شده توسط شتابدهنده‌های لیزر-پلاسمائی در برخورد با هدف، پرتوهای ایکس تولید می‌کنند. در این مقاله، تاثیر هندسه هدف و اندازه چشمه الکترونی بر روی تولید پرتو ایکس با استفاده از کد شبیه سازی MCNP4C بررسی می شوند. هدف‌های سربی با شکل‌های کره، نیمکره، نیمکره واژگون، استوانه، مخروط، مخروط واژگون، مخروط ناقص و مخروط ناقص واژگون، با ابعاد بهینه، توسط الکترون‌های شبه‌تک‌انرژی با قطرهای ۹ و ۲۸۰ میکرومتر بمباران شده و فوتون های ایکس تولید شده ارزیابی می-شوند.

کلید واژه: برهم کنش لیزر-پلاسما، الکترون‌های شبه تک انرژی، شبیه سازی تولید اشعه ایکس

Effect of target geometry and source size on x-ray generation by using quasi-monoenergetic electrons via simulation

Farangis Goorangi [1], Sadreddin Mahmood Kalayeh [2], Lida nikzad [3*]

[1]Department of physics, Islamic Azad university, Central Branch, Tehran

[2]Physics Department, Sharif university of Technology, Tehran

[3]Laser & optics Research School, NSTRI, Tehran

Abstract- Energetic electrons produced by laser-plasma accelerators can produce x-rays in collision with a target. In this paper, the effects of target geometry and electron source size are considered on x-ray generation by MCNP4C simulation code. The lead targets with shapes of sphere, hemisphere, invert hemisphere, cylinder, truncate cone, cone, invert cone, and invert truncate cone, in the optimum dimensions, are bombarded by quasi-monoenergetic electrons with diameters of 9μm, and 280μm, and the produced x-ray photons are evaluated.

Keywords: quasi-monoenergetic electrons, laser-plasma interaction, x-ray simulation

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

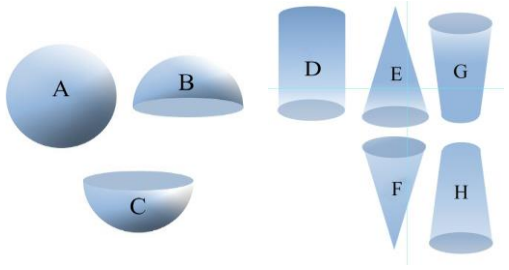
[Downloaded from opsi.ir on 2025-10-31]

۱- مقدمه

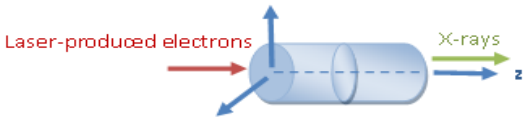
توسعه فن آوری تولید پالس‌های بسیارکوتاه و پر شدت لیزری با استفاده از روش تقویت پالس‌های کشیده شده (CPA) منجر به بهره برداری وسیعی از سیستم های لیزر با توان چندین تراوات در مقیاس آزمایشگاهی شده است. به علت شدت تمرکز لیزر، با چندین نوسان لیزر، ماده کاملا یونیزه می‌شود و پلاسما بوجود می‌آورد. سپس لیزر از طریق فرایندهایی نظیر جذب رزونانسی و یا گرمایش خلایی(Absorption Resonance) جذب شده و الکترون-های پرانرژی تولید می‌شوند. در سال1979 تاجیما و داوسون به این نتیجه رسیدند که پالس‌های لیزری شدت بالا با عبور از پلاسما، موج‌های الکترونی پلاسما تولید می-کنند [۱] .در سال ۲۰۰۲ پوخوف توسط شبیه‌سازی‌های 3D PIC یک سازوکار شتاب دهی را که رژیم حباب خوانده می‌شود به نمایش گذاشت [2]. در این رژیم، انرژی لیزر کانونی شده، در کره‌ای با شعاعی کوچکتر از طول موج پلاسما متمرکز می شوند. نیروی پاندروموتیو میدان لیزر، الکترون‌هارا در راستای شعاعی از پلاسما می-راند و یک حفره خالی از الکترون با بار مثبت را پشت سر پالس لیزر ایجاد می‌کند. اطراف این حباب را ناحیه‌ای با چگالی زیاد الکترون احاطه کرده است. این الکترون‌ها رانده شده با حرکت روی مرز این حباب، در انتهای آن با هم برخورد می‌کنند و به درون حباب تزریق می‌شوند و این گونه پشت سر پالس لیزر شتاب می‌گیرند و یک دسته الکترون شبه-تک انرژی تولید می‌شود.در تئوری حباب پوخوف شکل حباب به صورت کروی در نظر گرفته شده است[3]. پیش بینی‌های‌این مدل نسبت به داده‌های تجربی انحراف قابل توجهی داشت اما نشان داده شد که وقتی برای حباب تشکیل شده شکل بیضوی در نظر گرفته شود [5-4] نتایجی که مدل پیش بینی می‌کند، مطابقت بسیار خوبی با داده‌های تجربی دارند. تابشهای خط از یونیزان لایه Kام ایجاد می‌شوند تحت نامهای k_α ، k_β ، k_γ و غیره شناخته شده‌اند. که در این بین، تابش k_α قویتر و با اهمیت تر می‌باشد[6]. تابش k_α که از این طریق تولید می‌شود دارای طول پالس از مرتبه طول پالس لیزر تابشی (فمتوثانیه‌ای) می‌باشد. این منبع جدید اشعه ایکس سخت پرشدت و فوق سریع میتواند برای مطالعه و بررسی دینامیک ماده در مقیاس فمتوثانیه بکار رود. علاوه بر این، بدلیل این که نوع تابش اشعه ایکس دارای اندازه و پهنای پالس کوچکی میباشد، در تصویر برداری پزشکی کاربردهای فراوانی دارد[7].

۲- روش کار

هر پالس لیزر با انرژی ۵۰۰mJ و پهنای پالس ۳۰ فمتو-ثانیه در برخورد با محیط گازی هلیوم، پلاسما تولید می-کند. در محیط پلاسما، الکترون‌ها شتاب داده می شوند و سپس با هدف جامد برخورد کرده و فوتون‌های ایکس تولید می‌کنند. در این تحقیق با استفاده از کد MCNP4C [8] که بر اساس روش محاسباتی مونت کارلو کار می‌کند، به شبیه سازی تولید اشعه ایکس حاصل از بمباران هدف-های جامد با هندسه‌های متفاوت توسط الکترون‌های شبه تک انرژی پرداخته می‌شود. در اینجا هدف‌هایی به شکل‌های کره، نیمکره، نیمکره واژگون، استوانه، مخروط، مخروط واژگون، مخروط ناقص واژگون، مخروط ناقص از جنس سرب با عدد اتمی ۸۲ و چگالی $11{,}34\ g/cm^3$ در انرژی مشخصه k_α که برای سرب ۷۵ keV است مورد بررسی قرار می‌گیرند (شکل ۱). الکترون‌های پرانرژی در راستای z+، با هدف جامد به صورت عمودی برخورد کرده ،و جریان سطحی فوتون‌های ایکس خارج شده مورد ارزیابی قرار می‌گیرند (شکل ۲). در این کار، جنس هدف، فاصله هدف تا چشمه، و توزیع الکترون‌ها یکسان هستند.



شکل۱: نمایش شکل‌های مختلف هدف‌های مورد بررسی شامل؛ A) کره، B) نیمکره، c) نیمکره واژگون، D) استوانه، E) مخروط، F) مخروط واژگون، G) مخروط ناقص واژگون، H) مخروط ناقص.

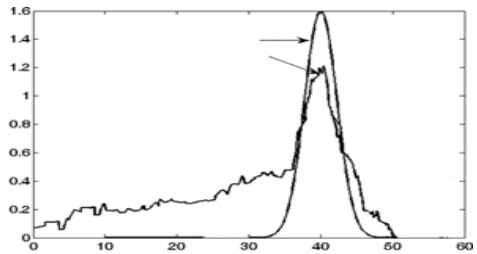


شکل ۲: شمایی از نحوه قرار گرفتن هندسی یک هدف در مقابل باریکه الکترونی و خروج اشعه ایکس برای انجام شبیه سازی.

[Downloaded from opsi.ir on 2025-10-31]

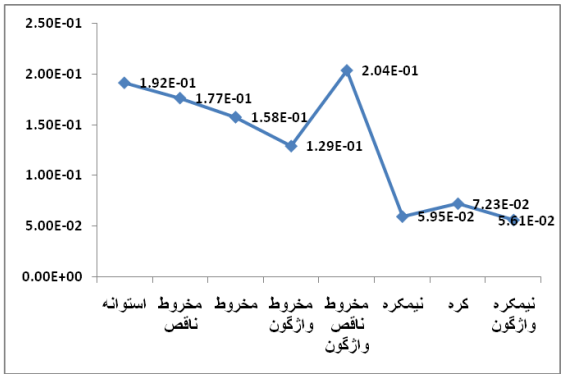
۳- نتایج شبیه‌سازی‌ها

توزیع انرژی و ابعاد چشمه الکترونی، همچنین شکل و جنس و ابعاد هر هدف روی میزان تولید پرتو ایکس تاثیر می‌گذارند؛ برای هر توزیع الکترونی مشخص، پارامترهای بهینه‌ای برای هر شکل هدف وجود دارند که بیشترین شار اشعه ایکس (شامل ترمزی و مشخصه) را در انرژی پیک مشخصه k_α تولید می‌کنند. در اینجا، برای تعریف چشمه، از توزیع شبه‌تک‌انرژی الکترونی مدل تئوری ارائه شده [9] برای نتایج تجربی بدست آمده در مرجع [10] استفاده شده است (شکل ۳). در ابتدا ابعاد چشمه حدود ۹μm (در حدود قطر حباب) در نظر گرفته شده است. توزیع فضایی برای الکترون‌های چشمه به صورت گوسی و توزیع انرژی چشمه دارای انرژی قله ۴۰MeV می‌باشد. در مرحله بعد، برای بررسی اثر توزیع فضایی چشمه، از چشمه الکترونی با شعاع ۲۸۰μm استفاده می‌کنیم.



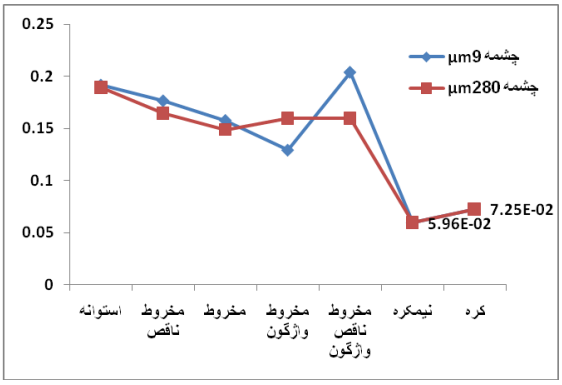
شکل ۳: توزیع الکترونی تجربی [۴] و تئوری [۳].فلش بالایی مدل تئوری و فلش پایینی مدل تجربی را نشان می‌دهند

در ابتدا، با استفاده از چشمه ۹μm، هدف‌های سربی به شکل‌های کره، نیمکره، نیمکره واژگون، که با شعاع مشخص می‌شوند، با شکل‌های استوانه، مخروط، مخروط واژگون، مخروط ناقص واژگون (که با ارتفاع و شعاع قاعده مشخص می‌شوند)، مقایسه شده‌اند. با انجام شبیه سازی-های متعدد، ابعاد بهینه هر هدف به دست می آیدغ این مقادیر برای کره ۴۰۰۰μm، برای نیمکره ۷۰۰۰μm و برای نیمکره واژگون ۵۰۰۰μm هستند. پارامترهای بهینه مابقی شکل‌ها که دارای ارتفاع و شعاع قاعده هستند با استفاده از استوانه‌ای با پارامترهای بهینه شعاع قاعده ۳۵۰μm و ارتفاع ۵mm به دست می آیند که این اشکال در آن محاط می‌شوند. در نتیجه ارتفاع بهینه همه این اشکال ۵mm و بهینه شعاع قاعده بزرگ آنها ۳۵۰μm می‌باشند؛ و شعاع قاعده کوچک برای مخروط و مخروط ناقص ۱۷۵μm در نظر گرفته شده‌اند نتایج شبیه‌سازی‌ها که در شکل ۴ ارائه شده‌اند، نشان می‌دهند که هدف‌های دارای ارتفاع و شعاع قاعده، نتایج بهتری نسبت به هدف‌های با شکل کره و نیمکره نشان می‌دهند، و در میان هشت هدف نام برده، بهترین نتیجه مربوط به هدف مخروط ناقص واژگون می‌باشد.



شکل۴: کل تابش پرتو ایکس با انرژی ۷۵ keV برای شکل‌های متفاوت هدف.

در این مرحله برای بررسی تاثیر توزیع فضایی چشمه، هدف‌های کره، نیمکره، استوانه، مخروط، مخروط واژگون، مخروط ناقص واژگون، مخروط ناقص را در چشمه ۲۸۰μm در قطرهای ذکر شده مقایسه می‌کنیم. در شکل ۵ مشاهده می‌شود که برای چشمه ۲۸۰μm، تمام هدف-های با ارتفاع و شعاع قاعده به جز مخروط واژگون، شاهد کاهش تابش k_α نسبت به چشمه ۹μm هستیم. اما برای هدف‌های دارای شعاع مانند کره و نیمکره، این کاهش وجود ندارد و شاهد درصد کمی افزایش تابش kα هستیم.



شکل ۵: مقایسه اشعه ایکس حاصل از دو چشمه ۹μm و ۲۸۰μm، در هدف‌های مختلف.

[Downloaded from opsi.ir on 2025-10-31]

زیرا برای چشمه ۹μm، در برهمکنش با باریکه الکترونی، کل حجم هدف در تولید فوتون‌های ایکس مورد استفاده قرار نمی‌گیرد. اما با افزایش شعاع چشمه الکترونی ۲۸۰μm، امکان برخوردهای بیشتری درون هدف وجود دارد در نتیجه شاهد افزایش تابش هستیم.

۴- نتیجه‌گیری

دست آوردها نشان می دهند که هندسه هدف و ابعاد چشمه الکترونی، بر روی تولید اشعه ایکس تاثیر بسزایی دارد. نتایج شبیه‌سازی‌ها نشان می‌دهند که هدف‌های دارای ارتفاع و شعاع قاعده (با شکل‌های باریک و بلند) دارای نتیجه بهتری نسبت به هدف‌های کره‌ای شکل هستند و در مقایسه با هفت هدف دیگر، هدف مخروط ناقص واژگون بهترین بازدهی را داراست. در واقع، تطابق بهتر مابین شکل الکترون‌های فرودی و هدف‌های به‌کار رفته، منجر به افزایش بازدهی تولید اشعه ایکس می‌شود. برای هر چشمه الکترونی، با انتخاب پارامترهای مناسب هدف (نظیر شکل، جنس، و ابعاد)، تولید الکترون‌ها و فوتون‌های ثانویه بیشتر شده و میزان جذب و پراکندگی فوتون‌های تولید شده کاهش می‌یابند، که این عوامل منجر به بهبود بازدهی تولید پرتو ایکس می‌شوند.

۵- مراجع

[1] Tajima T. and Dawson J. M., ***phys. Rev. Lett.*** *43 (1979) 267.*

[2]A. Pukhov, and J. Meyer-ter-Vehn, Appl. Phys. B **74**, 355–361 (2002)

[3] A.Pukhov et al 2004 Plasma Phys. Control. Fusion46B176

[4] R. Sadighi-Bonabi, SH. Rahmatollahpur, Physics of Plasmas 17, 033105 (2010)

[5] R. Sadighi-Bonabi, SH. Rahmatollahpur, Phys. A 81, 023408 (2010e).

[6] Tadashi Nishikawa. et.al. *"x-ray generation enhancement from a laser-produced plasma with a porous silicon target"* App. Phys. Lett. 70 (13)

[7] P.P. Rajeev, S. Banerjee, A.S. Sandhu, R.C. Issac, L.C. Tribedi and G. R. Kumar, *"Role of surface roughness in hard-x-ray emission from copper plasmas* Phys. Rev. A 65, 052903 (2002).

[8] Briesmeister J. F., editor; Las Alamos National Laboratory, LA – 13709 – M (2000).

[9] Sadighi Bonabi R., Rahmatollahpur SH., "A complete accounting of the monoenergetic electron parameters in an ellipsoidal bubble model"; **physics of Plasmas**17 (2010) 033105.

*[10] Sadighi Bonabi R., Navid H. , and Zobdeh P., "Observation of quasi mono-energetic electron bunches in the new ellipsoid cavty model"; **Laser and Particle Beams** 27 (2009) 223-231.*

[Downloaded from opsi.ir on 2025-10-31]