بیستمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران
و ششمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
۸ تا ۱۰ بهمن ماه۱۳۹۲ - دانشگاه صنعتی شیراز

مقایسه هدف های تیغه ای، کروی، و مخروطی شکل در شبیه سازی پرتو ایکس با استفاده از پرتوهای الکترونی شبه تک انرژی

لیدا نیک زاد[۱]، فرنگیس گورنگی[۲] ، سید پژمان شیرمردی[۳] و علیرضا سرابی احتصامی[۴]
[۱]پژوهشگاه علوم و فنون هسته ای، پژوهشکده لیزر و اپتیک، تهران
[۲]دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران مرکز، گروه فیزیک
[۳] پژوهشگاه علوم وفنون هسته ای ، پژوهشکده چرخه سوخت،تهران
[۴]دانشگاه آزاد اسلامی دانشکده مرکز تحقیقات پلاسما واحد علوم تحقیقات تهران

چکیده- باپیشرفت سریع درتکنولوژی ساخت لیزرهای توان بالا، امکان تولید الکترونهای پرانرژی نسبیتی در برهمکنش لیزر- پلاسما فراهم شده است. دربمباران هدف های جامد با الکترون های شبه تک انرژی حاصل ازپالس های لیزر با انرژی ۵۰۰mj و پهنای پالس ۳۰fs ، اشعه ایکس تولید می شود. در این مقاله شار اشعه ایکس حاصله به وسیله کد MCNP4c که براساس روش مونت کارلو کار می کند، شبیه سازی می شود. همچنین پارامترهای بهینه برای هدفهای مختلف مورد ارزیابی قرار میگیرند. سپس برای ارزیابی مناسب ترین هندسه هدف، با استفاده ازسه هدف کره‌ای، تیغه‌ای و مخروطی شکل سربی با ابعاد متفاوت، شار فوتونهای ا یکس تولید شده درانرژی ایکس مشخصه Kα با هم مقایسه می شوند.

کلیدواژه: برهم کنش لیزر–پلاسما، الکترون‌های شبه تک انرژی، تولید اشعه ایکس

Comparison of slab, spherical, and conical targets in X-ray simulation by using quasi-monoenergetic electrons

Nikzad, Lida[1]; Goorangi, Farangis[2]; Shirmardi, SeyedPezhman[3],SarabiEhtesami, Alireza[4]
Laser[1]& Optics Research School, NSTRI, Tehran
Department[2] of Physics, Islamic Azad University, Central Branch, Tehran
Nuclear[3] Fuel Cycle Research School, NSTRI, Tehran
Department[4] of Plasma Physics Research Center, Science and Research

Abstract - With rapid development in technology of high power lasers, the production of relativistic energetic electrons is provided by laser-plasma interaction. In bombardment of solid targets with quasi-monoenergetic electrons produced by laser pulse with energy of 500 mJ and pulse width of 30 fs, x-ray is generated. In this paper, the resulting x-ray flux is simulated by MCNP4C code based on the Monte-Carlo method. Also, the optimum parameters of different targets are evaluated. Then, to assess the most appropriate target geometry, three lead targets of sphere, slab, and cone in different dimensions are employed to compare the produced x-ray fluxes at the energy of characteristic x-ray, Kα.

Keywords: laser–plasma interaction, quasi–monoenergetic electrons, x-raygeneration

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-10-30]

۱-مقدمه

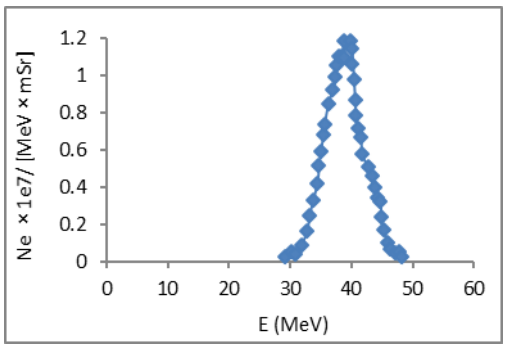
پیشرفت در تکنولوژی Chirped-Pulse-Amplification و دستیابی به لیزرهای توان بالا باعث شده که تولید ذرات توسط شتاب دهنده های لیزری در برهمکنش لیزر- پلاسما مورد توجه قرار بگیرد. میدان الکتریکی لیزر می تواند ضخامت مشخصی از اتم های هدف را یونیزه کرده و پلاسما تشکیل دهد. پالس های بعدی لیزر توسط الکترون های موجود در پلاسما جذب شده و الکترون ها شتاب می گیرند. از شتاب الکترون های زمینه پلاسما در حد انرژی های مگا-الکترون ولت و بیشتر توسط شتاب دهندهای لیزر–پلاسمایی تولید دسته های الکترونی شبه تک انرژی[1] میسر می گردد. این شتاب‌دهنده‌ها نسبت به شتاب‌دهنده‌های معمولی از هزینه، حجم و پیچیدگی کمتری برخوردارند؛ و تولید اشعه ایکس حاصل از این شتابدهنده‌ها مزایایی از جمله در میزان درخشش و نرخ تکرار دارد. الکترون های پرانرژی تولید شده، علاوه بر تولید تابش ترمزی، می توانند درون هدف فلزی نفوذ کرده و از طریق یونیزاسیون لایه Kام تابش هایی در ناحیه اشعه ایکس تولید نمایند. تابش های خط که از یونیزاسیون لایه K ام ایجاد می شوند با نام های Kα، Kβ و غیره ....شناخته شده اند که در این بین تابش Kα قوی تر و با اهمیت تر است[2]. تابش Kα که از این طریق تولید می شود دارای طول پالس از مرتبه ی طول پالس لیزر تابشی (فمتو ثانیه‌ای) می‌باشد. بدلیل کاربردهای گسترده ای که برای اشعه ایکس Kα وجود دارد کنترل و بهینه سازی آن مورد توجه قرار گرفته است.

۲- روش کار

در برخورد پالس های لیزر با انرژی ۵۰۰ میلی ژول و پهنای پالس ۳۰ فمتوثانیه با محیط گازی هلیوم، پلاسما تولید می شود .الکترون‌های شتاب داده شده ، در خروجی محیط پلاسما با هدف جامد به صورت عمودی برخورد کرده و فوتون های ایکس تولید می‌کنند. در این تحقیق با استفاده از کد MCNP4c[3] که بر اساس روش محاسباتی مونت کارلو کار می کند به شبیه سازی تولید اشعه ایکس حاصل از بمباران هدف‌های جامد با الکترون-های نسبیتی پرداخته می شود. ورودی های این کد شامل معرفی مشخصات هدف (جنس، شکل و ابعاد) و مشخصات چشمه (توزیع انرژی و ابعاد) و تعریف نوع ذرات می باشد و در خروجی، شار سطحی اشعه ایکس حاصله در انرژی ۰.۰۱ تا ۱۰۰ keV شبیه سازی می شود.

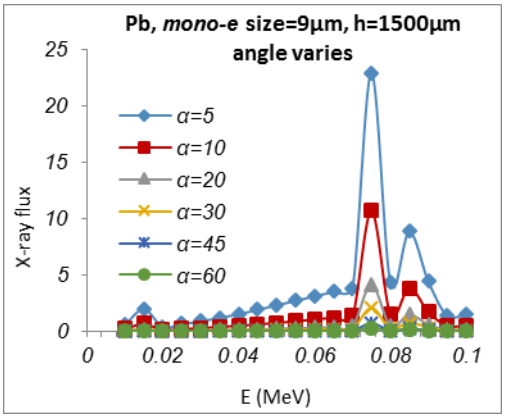
۳-نتایج شبیه سازی

در این کار سه هدف سربی با عدد اتمی ۸۲ و چگالی ۱۱.۳۴gcm-3 به شکل های کره، مخروط و تیغه، در ابعاد مختلف مورد بررسی و مقایسه قرارگرفته اند. علاوه بر نحوه توزیع انرژی و فضایی الکترونها، شکل و جنس و حجم هر هدف روی میزان تولید پرتو ایکس تاثیر دارند. لذا برای هر توزیع الکترونی مشخص، پارامتر های بهینه‌ای برای هدف وجود دارند که بیشترین شار اشعه ایکس را در انرژی مشخصه تولید می کنند. برای مثال برای توزیع انرژی الکترونی تجربی با بعد μm ۹ (شکل ۱ الف) و هدف سربی تیغه ای شکل، ضخامت بهینه μm ۲۲۵۰ به دست آمده است [4].همچنین هدف مخروطی شکل را در ارتفاع ۱۵۰۰ میکرومتر و زاویه راس های متفاوت با هم مقایسه کرده ایم (شکل ۱ ب) برای هدف مخروطی شکل با ارتفاع نمونه μm ۱۵۰۰، با کاهش زاویه راس مخروط، شار اشعه ایکس افزایش می یابد، و برای زاویه راس مخروط نمونه ۵ درجه، ارتفاع بهینه μm ۱۰۰ به دست آمده است [5].تابش پرتو الکترونی روی هدف مخروط در (شکل ۱ج) نشان داده شده است.

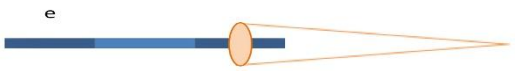


شکل ۱ الف : توزیع انرژی الکترونی تجربی؛ شبه تک انرژی[4]

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-10-30]

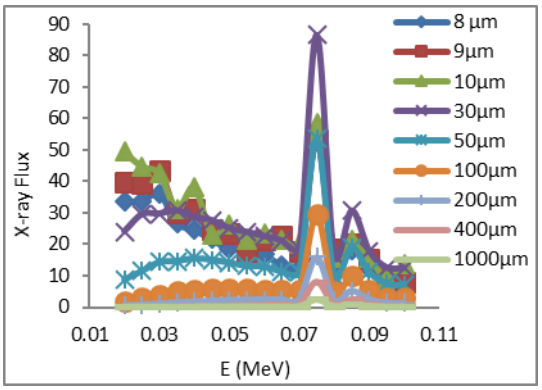


شکل ۱ ب مقایسه هدف مخروطی شکل با زاویه راس های مختلف در ارتفاع ۱۵۰۰ میکرومتر



شکل ۱ ج تابش پرتو الکترونی روی هدف مخروط

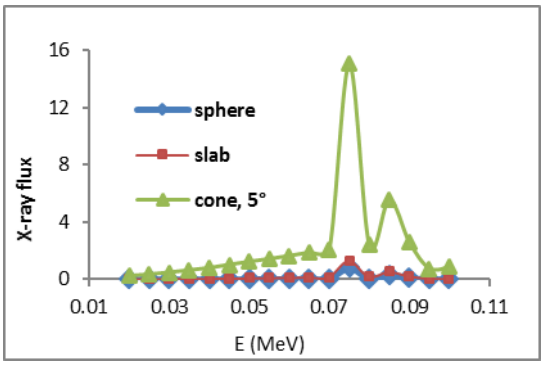
نتایج شبیه سازی های ما نشان می دهند که برای هدف کره ای شکل، قطر بهینه ۳۰ µm می باشد که بیشترین شار خروجی اشعه ایکس مشخصه Kα به دست آمده است؛ (شکل ۲).

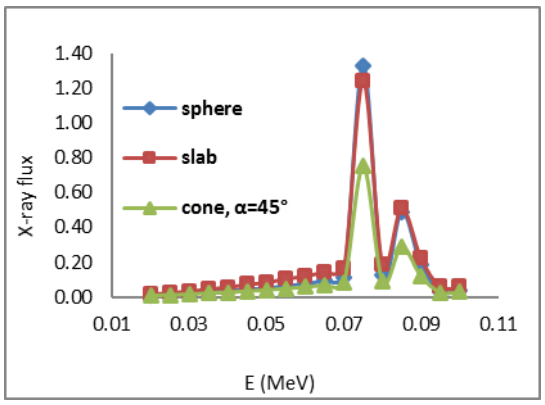


شکل ۲ : شار اشعه ایکس حاصله با هدف کره سربی با قطرهای مختلف.

اکنون به مقایسه نتایج به دست آمده برای سه هدف سربی با شکل های تیغه، مخروط و کره می پردازیم. نتایج برای مقادیر یکسان ضخامت تیغه (t)، ارتفاع مخروط(h)، و قطر کره (d)، برابر با ۲۰۰۰µm، و با زاویه راس مخروط ۵ درجه در شکل(۳- بالا) و با زاویه راس مخروط ۴۵ درجه در شکل (۳- پایین) نشان داده شده اند. همانطور که مشاهده می شود در این شرایط، نتایج برای تیغه و کره نزدیک بوده و بهترین نتیجه برای مخروط با زاویه راس کوچکتر حاصل شده است.

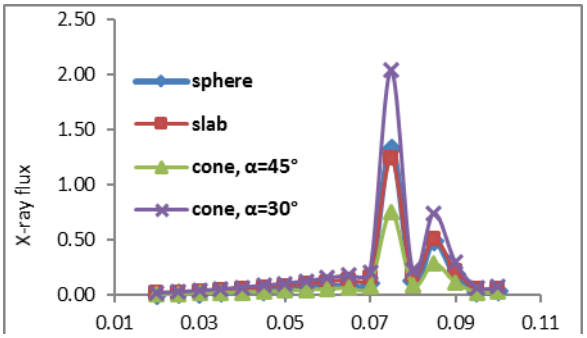
همین نتایج برای مقادیر یکسان ضخامت تیغه (t)، ارتفاع مخروط(h)، و قطر کره (d)، برابر با ۱۵۰۰ µm، و با دو زاویه راس مخروط (۳۰ و ۴۵ درجه) بدست آمده اند که در شکل ۴نشان داده می شوند. بدین ترتیب ما بین این سه شکل هدف، مخروط با زاویه راس کوچکتر با اختلاف قابل ملاحظه ای بهترین نتیجه را می دهد.





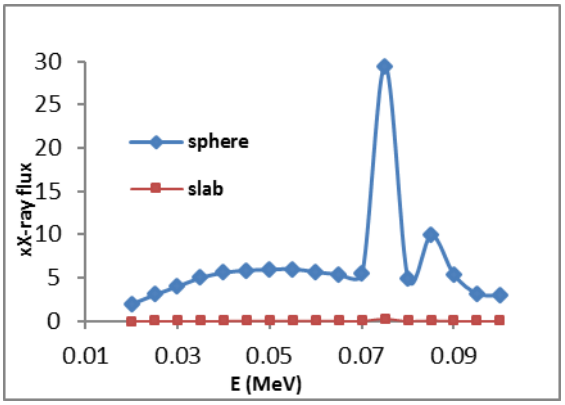
شکل۳ : مقایسه شار اشعه ایکس با سه هدف تیغه ای، مخروطی و کروی شکل سربی با t=h=d=2000µm؛ بالا: α=۳۰° و پایین: α=۴۵°.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-10-30]



شکل۴ : مقایسه شار اشعه ایکس با سه هدف تیغه ای، مخروطی و کروی شکل سربی با$t=h=d=1500\mu m$؛ دو زاویه راس مخروط $\alpha=30^\circ$و $\alpha=45^\circ$.

حال برای بررسی دقیق تر تیغه و کره، مقایسه ای بین دو هدف تیغه ای و کروی شکل به ترتیب با ضخامت و قطر کوچکتر ۱۰۰ میکرومتر انجام شده است؛(شکل۵). از شکل می توان چنین نتیجه گرفت که برای هدف های با ابعاد کوچکتر، هدف کروی شکل نتایج بسیار بهتری نسبت به تیغه نشان می دهد.



شکل۵ : مقایسه دو هدف تیغه ای و کروی در $t=d=100\mu m$.

همچنین نتایج شبیه سازی ها برای هدف سربی با شکل نیم کره و کره ناقص تحت بررسی می باشند.

نتیجه گیری

نتایج شبیه سازی ها نشان می دهند که در ارتفاع و قطر ۲۰۰۰ و ۱۵۰۰میکرومتر، دو هدف تیغه ای و کره ای نتایج تقریبا مشابهی می دهند، و مخروط با زاویه راس کوچکتر، دارای بیشترین بازدهی اشعه ایکس در مقایسه با دو هدف دیگر است. به علاوه، برای تیغه و کره با ضخامت و قطر کمتر و برابر ۱۰۰میکرومتر، کره دارای بازدهی بیشتری برای تولید اشعه ایکس نسبت به هدف تیغه ای می باشد.

ما معتقدیم وجود تطابق بهتر ما بین هندسه الکترون و شکل هدف،منجر به افزایش بازدهی تولید اشعه ایکس می شود. همچنین، پارامترهایی نظیر شکل، جنس و حجم ماده هدف که از یک طرف باعث تولید بیشتر الکترونها و فوتونهای ثانویه شود و از طرف دیگر موجب کاهش میزان جذب و پراکندگی گردد، در بهبود این بازدهی نقش بسزایی دارند. در بین هندسه های مورد مطالعه، مخروط های با زاویه راس کوچکتر شرایط بهبود بازدهی را فراهم می سازند.

مرجع‌ها

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

[۲] Tadashi Nishikawa, et.al. "x-ray generation enhancement from a laser-produced plasma with a porous silicon target" App.Phys. Lett. 70, No 13 (1997) 1653-1655.

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

[4] R. Sadighi-Bonabi, H.A. Navid, and P. Zobdeh, "Observation of quasi mono-energetic electron bunches in the new ellipsoid cavity model"; Laser and ParticleBeams 27, (2009) 223–231.

[۵] نیک زاد، لیدا ؛ احتصامی سرابی، علیرضا ؛ مجموعه مقاله نامه کنفرانس فیزیک ایران ۱۳۹۱، صفحه ۳۲۷۵ تا ۳۲۷۸.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-10-30]