بیست و هفتمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و سیزدهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه سیستان و بلوچستان،
زاهدان، ایران.
۱۴-۱۶ بهمن ۱۳۹۹

کد مقاله : ۱-۶۴۳-۱۰-A

استحاله ^{126}Sn توسط پرتوهای گامای حاصل از تابش ترمزی و پراکندگی معکوس کامپتون

سمیه زارع*،مرضیه اسدنیای فرد جهرمی

پژوهشکده فوتونیک و فناوری‌های کوانتومی، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای سازمان انرژی اتمی، انتهای خیابان کارگر شمالی ، تهران ،sozare@aeoi.org.ir*

چکیده –در این مقاله، تعداد واکنش‌های $^{126}Sn(\gamma,n)^{125}Sn$ حاصل از تابش ترمزی و پراکندگی کامپتون به صورت عددی محاسبه می‌شوند. در روش تابش ترمزی، لیزرها با شدت بیشتر از 10^{21}Wcm^{-2} به هدفتانتولوم با ضخامت ۱/۸۸mm که بلافاصله بعد از آن . زباله ^{126}Sn با ضخامت ۱cm قرار داده شده است، تابش می‌شود. مشاهده می‌شود که شدت لیزر تاثیر مهمی در تعداد واکنش‌ها دارد، آنچنانکه یک شدت بهینه برای داشتن بیشترین تعداد واکنش‌ها تعریف خواهد شد. در ادامه بر اساس داده‌های آزمایشگاهی مربوط به سنکروترون SLEGS با باریکه الکترونی با انرژی ۳/۵GeV، پراکندگی معکوس کامپتون توسط لیزر CO_2 با توان ۱۰۰W مطالعه می‌شود.از مقایسه تعداد واکنش‌ها توسط دو روش، نتیجه می‌شود که تعداد واکنش‌های حاصل از پراکندگی کامپتون حدود ۲۷ برابر واکنش‌های تابش ترمزی است.

کلید واژه- زباله رادیواکتیو، پراکندگی معکوس کامپتون، واکنش‌های فوتون-هسته، تابش ترمزی

Transmutation of ^{126}Snviagamma ray produced bybremsstrahlung radiationand laserinverse Compton scattering

Somaye Zare*, MarziehAsadniayefardejahromi

Photonics and Quantum Technology Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute,AEOI, Tehran, Iran,*sozare@aeoi.org.ir

Abstract- In this Article, the reaction number of $^{126}Sn(\gamma,n)^{125}Sn$ due to gamma ray produced by bremsstrahlung and Compton scattering is analytically calculated. In bremsstrahlungmethod, photonuclear reactions are studied byfocusing intensities more than 10^{20} Wcm^{-2}onto a 1.88 mm tantalum target, and a 1 cm thick ^{126}Sn target placed directly behind it. It is shown that the laser intensity has strong effects on the number of reactions, as an optimal laser intensity is evaluated to produce the maximum number of reactions.furthermore,basedon the reported data by SLEGS with 3.5 GeV energy electron, the inverse Compton scatterings of a 100W, CO_2 laser is studied.It is found that the number of reactions in the Compton backscatteringmethod is about 27 orders magnitude greater than the one ofthe bremsstrahlung method for 10^{21}Wcm^{-2} laser intensity with a 10 Hz repetition rate for a half hour irradiation time.

Keywords: Radioactive Wastes, Compton Backscattering, Photonuclear Reactions, Bremsstrahlung Radiation

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

مقدمه

دفع زباله‌های هسته‌ای خطرناک با طول عمر بالا، چالشی جدی در صنعت هسته‌ای محسوب می‌شود. یکی از روش-های مرسوم، دفن زباله‌هادراستخرهای آب با حفاظ بتنی است که روش مناسبی محسوب نمی‌شود. روش دیگر بمباران نوترونی زباله‌هاست، اما سطح مقطع جذب نوترون در اغلب زباله‌ها کوچک است و در نتیجه شار نوترونی بسیار قوی، مورد نیاز است. اخیرا مکانیزم استحاله لیزری زباله‌ها بسیار مورد توجه محققان قرار گرفته است. در این مکانیزم پرتوهای گامای حاصل از تابش ترمزی یا پراکندگی کامپتون، انرژی لازم جهت تبدیل زباله‌های هسته‌ای به رادیوایزوتوپ‌های پایدار را فراهم می‌کند. در مکانیزم تابش ترمزی، با برخورد پالس لیزر پرشدت باهدف، الکترون‌های نسبیتی تولید خواهند شد و این الکترون‌ها با نفوذ در هدف طی مکانیزم تابش ترمزی، پرتوهای گاما تولید خواهند کرد تا واکنش $^{126}Sn(\gamma,n)^{125}Sn$ رخ دهد. روش دیگر تولید پرتوهای گاما، پراکندگی معکوس کامپتون است. در این مکانیزم، پرتوهای گاما از برهمکنش لیزر با الکترون‌های پرانرژی، تولید می‌شوند تا واکنش $^{126}Sn(\gamma,n)^{125}Sn$ رخ دهد. اولین آزمایش‌ها در این روش در سال ۱۹۷۸ انجام شد که تابش‌های گاما حاصل از برهمکنش لیزر با الکترون-های GeV ۱/۵ در سنکروترون Adone بود[۱].

در این مقاله این دو مکانیزم جهت تولید پرتوهای گاما و استحاله ^{126}Sn که یکی از زباله‌های هسته‌ای خطرناک است، بررسی و مقایسه می‌شوند.

مدل محاسباتی

در مکانیزم تابش ترمزی، پالس لیزر پرشدت پس از برخورد به هدف الکترون‌های نسبیتی تولید می‌کند، توزیع دمایی الکترون‌ها به صورت زیر است [۲]،

$$kT_e(MeV) = 0.511\left(\sqrt{1+7.3\times10^{-19}I\lambda^2}-1\right) \qquad (۱)$$

I(Wcm^{-2}) شدت و λ (μm) طول موج لیزر است. این الکترون‌ها تحت مکانیزم تابش ترمزی، فوتون‌های گاما تولید می‌کنند، شکل (۱). طیف این فوتون‌ها توزیع بولتزمنی دارد،

$$n_\gamma = \frac{N_0}{kT_\gamma}\exp(\frac{-E_e}{kT_\gamma}) \qquad (۲)$$

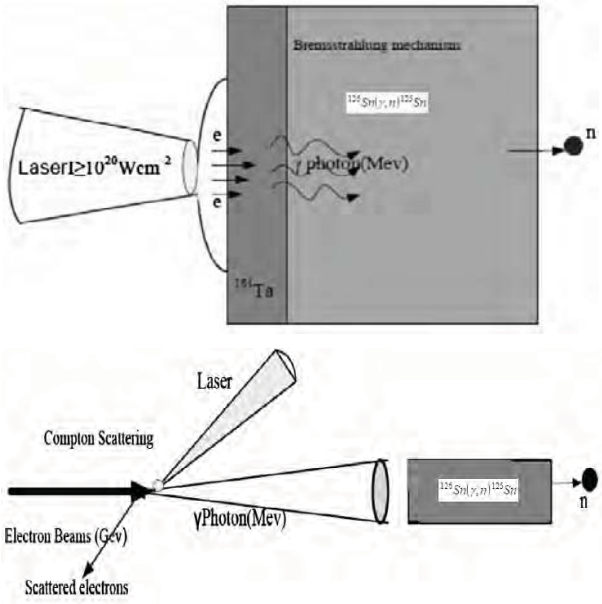
E_e انرژی الکترون است و N_0 ثابت نرمالیزاسیون که توسط داده‌های آزمایشگاهی محاسبه می‌شود، آنچنانکه برای تانتولوم برابر با ۶/۸۸×۱۰^{۷} است.

در روش دوم، پرتوهای گاما توسط پراکندگی معکوس کامپتون تولید خواهند شد. لیزر با الکترون‌های پرانرژی در سنکروترون برخورد می‌کند و تابش گاما تولید می‌شود، شکل (۱).با فرض گستردگی طیف انرژی باریکه الکترون درون سنکروترون، طیف انرژی پرتوهای گاما برابر است با،

$$n_\gamma = \frac{N_\gamma}{\sigma_t}\int\frac{d\sigma}{dE_\gamma}\frac{1}{\sqrt{2\pi}\delta_E}\exp(\frac{-(E_e-E_0)^2}{2\delta_E^2})dE_e \qquad (۳)$$

E_γ انرژی پرتوی گاما و N_γ تعداد کل فوتون‌های گامای تولیدی از پراکندگی کامپتون در هر ثانیه است که به صورت $N_\gamma = PI_eL$ تعریف می‌شود، جایی‌که P، I_e و L به ترتیب توان لیزر، جریان باریکه الکترونی و درخشندگی پرتوهای گامای تولیدی است. E_0 و δ_E به ترتیب نشان دهنده انرژی مرکزی و پهنای انرژیباریکه الکترونی در سنکروترون هستند.

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



شکل ۱: واکنش $^{126}Sn(\gamma,n)^{125}Sn$ با استفاده از پرتوهای گامای حاصل از تابش ترمزی(شکل بالا) و پراکندگی معکوس کامپتون(شکل پایین)

با داشتن طیف انرژی گامای حاصل از هر یک از دو مکانیزم، تعداد واکنش‌های (γ,n) با کمک سطح مقطع واکنش، $\sigma(E_\gamma)$ قابل محاسبه است[۳]،

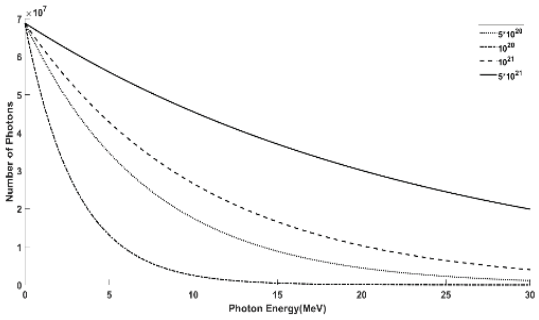
$$\sigma(E_\gamma)=\sigma_{Max}\left(4\left(\frac{E_{Max}-E_\gamma}{\Gamma}\right)^2+1\right)^{-1} \quad (۴)$$

$$N=n_{tar}d_{tar}\int_{E_{thr}}^{E_{up}}\sigma(E_\gamma)n_\gamma\,dE_\gamma \quad (۵)$$

σ_{Max} سطح مقطع در E_{Max} و Γ پهنا را نشان می‌دهند و n_{tar} و d_{tar} به ترتیب چگالی و ضخامت ^{126}Sn هستند و E_{up} حد بالای انرژی که برای هر واکنش مقداری خاص است و E_{thr} انرژی آستانه برای شروع واکنش را نشان می‌دهند.

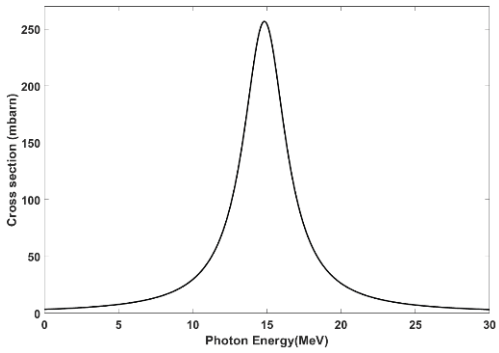
نتایج

در مکانیزم تابش ترمزی، الکترون‌های نسبیتی در برخورد پالس لیزر با نرخ تکرار ۱۰Hz و طول موج ۸۰۰nm با هدف تانتولوم با ضخامت ۱/۸۸mm و چگالی اتمی $5/54\times10^{23}$ cm^{-3} تولید می‌شوند. این ضخامت با توجه به شبیه سازی‌های Monte Carlo مقدار بهینه‌ای برای داشتن بیشترین تابش ترمزی است. زباله ^{126}Sn با ضخامت ۱cm و چگالی اتمی $3/71\times10^{22}$ cm^{-3} بلافاصله پس از تانتولوم قرار می‌گیرد. شکل(۲) طیف پرتوهای گامای حاصل را برای چهار شدت، 10^{21} Wcm^{-2}، 5×10^{21} Wcm^{-2}، 10^{22} Wcm^{-2}، 5×10^{22} Wcm^{-2} نشان می‌دهد.



شکل ۲: طیف پرتوی گامای حاصل از لیزرها با شدت، 10^{21} Wcm^{-2}(نقطه-خط‌چین)، 5×10^{21} Wcm^{-2}(نقطه‌چین)، 10^{22} Wcm^{-2}(خط‌چین)، 5×10^{22} Wcm^{-2}(خط‌ممتد).

شکل(۳)سطح مقطع واکنش برای ^{126}Sn را نشان می‌دهد. در شکل دیده می‌شود که سطح مقطع واکنش زمانی که انرژی پرتو گاما ۱۵MeV است، بیشینه خواهد بود.



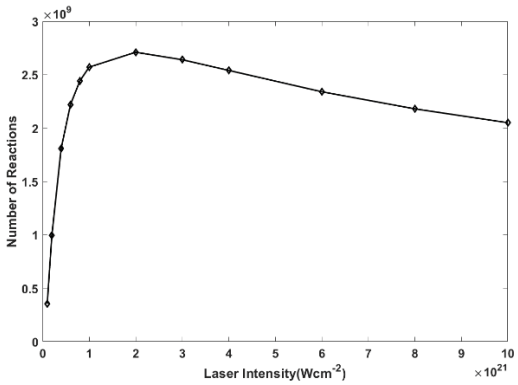
شکل ۳: سطح مقطع واکنش $^{126}Sn(\gamma,n)^{125}Sn$

با مقایسه شکل (۲) و (۳) مشاهده می‌شود که با افزایش شدت لیزر، میزان همپوشانی دو شکل کاهش می‌یابد. بنابراین در شدت‌های بسیار بالا این همپوشانی وجود نخواهد داشت. پس برای انجام واکنش مقدار بهینه‌ای برای شدت لیزر قابل تعریف است وتعداد واکنش‌های $^{126}Sn(\gamma,n)^{125}Sn$ به شدت لیزر وابسته است. همچنین

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

تعداد واکنش‌ها به فرکانس لیزر و مدت زمان تابش نیز بستگی خواهد داشت. حال تعداد واکنش‌ها به صورت تابعی از شدت لیزر با فرض تاباندن لیزر با فرکانس ۱۰ Hz به مدت یک ساعت به هدف تانتولوم محاسبه می‌شود، شکل (۴).

از شکل دیده می‌شود که با افزایش شدت لیزر تعداد واکنش‌ها افزایش می‌یابد. اما در شدت‌های بیشتر از Wcm^{-2} ۲×۱۰^۲۱ تعداد واکنش‌ها کاهش می‌یابد. بنابراین این شدت، یک مقدار بهینه برای داشتن بیشترین تعداد واکنش‌هاست.



شکل۴: تعداد واکنش‌های $^{126}Sn(\gamma,n)^{125}Sn$ به صورت تابعی از شدت لیزر

در ادامه با فرض داده‌های آزمایشگاهی سنکروترون، تعداد واکنش‌های $^{126}Sn(\gamma,n)^{125}Sn$ توسط مکانیزم دوم استحاله محاسبه می‌شود. بر اساس داده‌های آزمایشگاهی گزارش شده، پارامترهای چند چیدمان آزمایشگاهی، LADON،GRAAL ، ELFE، LEGS و SLEGS به منظور داشتن بیشترین شدت گامای حاصل از پراکندگی کامپتون بررسی می‌شوند. با توجه به اینکه هرچه جریان الکترونی بزرگتر باشد، طیف پرتوی گامای پرانرژی‌تری تولید خواهد شد، چیدمان SLEGS انتخاب می‌شود. با فرض تابشلیزر CO_2 با توان ۱۰۰ W به باریکه الکترونی باانرژی ۳/۵GeV و جریان ۳/۰A و درخشندگی $A^{-1}W^{-1}s^{-1}$ ۶/۵×۱۰^۷۱، تعداد فوتون‌های گاما برابر با s^{-1} ۱/۹۵×۱۰^۹ خواهد شد. با توجه به این داده‌ها، سطح مقطع کل برابر با ۶۶۰/۵۸mb خواهد شد.پس تعداد واکنش‌های $^{126}Sn(\gamma,n)^{125}Sn$ برابر با ۹/۸۳×۱۰^۹خواهد بود.

تعداد واکنش‌های حاصل تابش کامپتون، بیشتر از ۲۷ برابر تعداد واکنش‌های تابش ترمزی، ۳/۵۵×۱۰^۸ است. علت این تفاوت این است که طیف گامای حاصل از پراکندگی معکوس کامپتون برای فوتون‌های گاما با انرژی صفر تا ۲۷MeV تقریبا مقدار ثابت است. در حالیکه طیف گامای تابش ترمزی در فوتون‌های گاما با انرژی کم، بیشینه است و با افزایش انرژی فوتون‌های گاما، تعداد فوتون‌ها به سرعت کاهش می‌یابد.

نتیجه‌گیری

دراین کار، استحاله ^{125}Snبا استفاده از تابش‌های گامای حاصل از تابش ترمزی الکترون‌ها و پراکندگی معکوس تابشی محاسبه و مقایسه شدند. تعداد واکنش‌ها در مکانیزم تابش ترمزی، به شدت و فرکانس لیزر بستگی دارد، اما شدتی برای داشتن بهینه تعداد واکنش‌ها مشخص شد. همچنین با انتخاب چیدمانی با تولید بیشترین شار گاما، تعداد واکنش‌ها توسط مکانیزم دوم محاسبه شد. از نتایج مشاهده شد که تعداد واکنش‌ها در روش دوم بیشتر است. برای رسیدن به این تعداد واکنش با روش اول باید شدت و فرکانس لیزری که به هدف تابیده می‌شود، افزایش یابد.

مرجع‌ها

[1] L.Casano, A. Marino, G.Matone, M.Roccella, C.Schaerf, A.Tranquilli,"Productionof a beam of polarized and monochromatic rays by compton scattering of laserlight against high energy electrons", Laser Unconventional Optics, 3,pp.55,1975.

[2]SC. Wilks, WL.Krurer, M.Tabak, AB.Langton, Absorption of ultra-intense laserpulses. Phys Rev Lett. 69, pp.1383,1992.

[3] McCallagh CM, Stells ML, Chrien RE. Dipole radiative strength functionalresonance neutron capture. Phys. Rev. C, 1981, pp.23,1394.

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