



انجمن حفاظت در برابر اشعه ایران

مقاله کنفرانسی

مجله سنجش و ایمنی پرتو، جلد ۱۱، شماره ۴، زمستان (ویژه نامه) ۱۴۰۱، صفحه ۱۱۳-۱۱۶

ششمین کنفرانس سنجش و ایمنی پرتوهای یون ساز و غیر یون ساز (مرداد ماه ۱۴۰۰)

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۷/۱۱، تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۰۵/۰۹



مطالعه خواص حفاظی شیشه‌های باریوم-بیسموت-بوروسیلیکاتی در برابر پرتوهای گاما

رضا باقری* و توکل توحیدی

مجتمع پژوهشی شمال غرب کشور (بناب)، پژوهشکده کاربرد پرتوها، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، تهران، ایران.

*تهران، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، پژوهشکده کاربرد پرتوها، مجتمع پژوهشی شمال غرب کشور (بناب)، کدپستی: ۱۱۱۱۳-۵۵۵۳۱.

پست الکترونیکی: reza_bagheri@aut.ac.ir

چکیده

با کاربرد گسترده چشمه‌های تابش و مواد رادیواکتیو در پزشکی، صنعت و کشاورزی، مطالعه تضعیف و جذب پرتوهای ایکس و گاما و حفاظ‌گذاری در برابر آن‌ها به یک شاخه ضروری و مهم در زمینه حفاظت در برابر پرتوها تبدیل شده است. در این کار تحقیقاتی ضرایب تضعیف خطی و جرمی، اعداد اتمی مؤثر و چگالی الکترونی مؤثر شیشه‌های باریوم-بیسموت-بوروسیلیکاتی در انرژی‌های ۶۶۲، ۱۱۷۳ و ۱۳۳۲ کیلو الکترون ولت با استفاده از کد محاسباتی MCNP4C و برنامه XCOM محاسبه شده و داده‌های به دست آمده با نتایج تجربی موجود مقایسه می‌شوند. شیشه‌های باریوم-بیسموت-بوروسیلیکاتی خواص حفاظی خیلی خوبی از خود در برابر پرتوهای گاما نشان دادند.

کلیدواژگان: ضرایب تضعیف خطی و جرمی، عدد اتمی و چگالی الکترونی مؤثر، شیشه باریوم-بیسموت-بوروسیلیکاتی، MCNP4C، XCOM.

۱. مقدمه

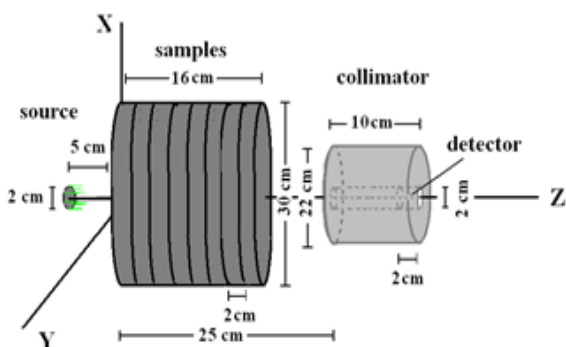
اکسیدهای عناصر سیلیسیوم و بور می‌باشند دارای ضریب انبساط حرارتی پایین، مقاوم در برابر شوک‌های حرارتی و توانایی عبور بالای نور مرئی می‌باشند [۴].

۲. مواد و روش‌ها

در این مقاله برای اولین بار، ضرایب تضعیف خطی و جرمی، اعداد اتمی مؤثر و چگالی الکترونی مؤثر شیشه‌های باریوم-بیسموت - بوروسیلیکاتی در انرژی‌های ۶۶۲، ۱۱۷۳ و ۱۳۳۲ کیلو الکترون ولت با استفاده از کد محاسباتی MCNP4C [۵] و برنامه XCOM [۶] محاسبه شده و داده‌های به دست آمده با

امروزه کاربرد چشمه‌های تابش و مواد رادیواکتیو در زمینه‌های مختلف از قبیل نیروگاه‌های هسته‌ای، پزشکی هسته‌ای و صنعت و کشاورزی، مطالعه پارامترهای مختلف مرتبط با حفاظ‌گذاری در برابر تابش‌های یونیزان را ضروری کرده است [۱،۲]. بتن‌ها به عنوان معمول‌ترین مواد برای حفاظ‌گذاری به کار می‌روند. با این حال یکی از بزرگترین معایب آن‌ها عدم عبور نور مرئی از آن‌هاست [۳]. برای حل مشکلاتی از این قبیل، شیشه‌های مختلفی برای کاربردهای مختلف صنعت هسته‌ای معرفی شده‌اند. در این کار تحقیقاتی شیشه‌های باریوم-بیسموت - بوروسیلیکاتی در نظر گرفته شدند. این نوع شیشه‌ها که حاوی

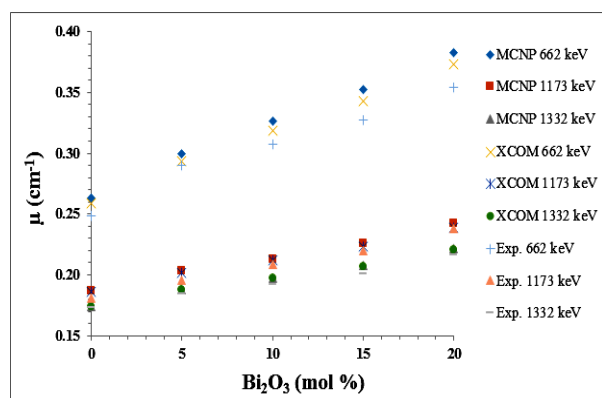
هندسه شبیه‌سازی شده را نشان می‌دهد. به منظور محاسبه میزان شار متوسط در حجم آشکارساز از تالی F_4 استفاده گردید. حدود ۱ میلیون تاریخچه دنبال شد و تمام شبیه‌سازی‌ها با خطای کم‌تر از ۰/۵ درصد گزارش شدند.



شکل (۱): هندسه شبیه‌سازی شده.

۳. نتایج

شکل ۲ مقادیر ضرایب تضعیف خطی نمونه‌ها را از طریق روش محاسباتی (کد MCNP4C و برنامه XCOM) و اندازه‌گیری تجربی [۴] نشان می‌دهد.



شکل (۲): وابستگی ضرایب تضعیف خطی نمونه‌ها به درصد مولی اکسید بیسموت.

در جدول ۳ ضرایب تضعیف جرمی شیشه‌های مورد مطالعه آورده شده است. هم‌چنین برای مقایسه و اعتبارسنجی داده‌های محاسباتی، از نتایج تجربی بوتچوماچی و همکاران [۴] استفاده شد. برای محاسبه این ضرایب در روش شبیه‌سازی با کد MCNP4C و برنامه XCOM به ترتیب از معادلات شماره ۱ و

نتایج تجربی موجود مقایسه می‌شوند.

کد محاسباتی MCNP4C که بر پایه تکنیک مونت کارلو استوار است قادر به ترابرد فوتون‌های گاما در داخل نمونه‌های شیشه و برای انرژی مد نظر می‌باشد [۵]. همچنین مقادیر تئوری ضرایب تضعیف جرمی عناصر، ترکیبات و مخلوط‌های مختلف توسط هابل و سلنزر [۷] ارائه شده و در قالب برنامه XCOM در انرژی‌های ۱ کیلو الکترون ولت تا ۱۰۰ گیگا الکترون ولت توسط گروارد و همکاران [۶] ارائه شده است.

برای شبیه‌سازی، استوانه‌هایی با قطر ۱۵ سانتی‌متر و ضخامت ۲ سانتی‌متر برای شبیه‌سازی نمونه‌های شیشه استفاده شد. چشمه به صورت دیسکی با قطر ۲ سانتی‌متر در نظر گرفته شد که به صورت یکنواخت و همسوسازی شده پرتو گاما گسیل می‌کند. ترکیب عنصری و چگالی نمونه‌های شیشه به همراه خود شیشه‌های بوروسیلیکاتی در جداول ۱ و ۲ نشان داده شده‌اند. شایان ذکر است که سعی شد فقط غلظت مولی اکسید بیسموت را تغییر داده و مقادیر غلظت مولی اکسید باریوم را در ترکیب ثابت نگه داشت.

جدول (۱): ترکیب شیمیایی و چگالی نمونه‌های شیشه.

| Glass Samples | Density (g cm ⁻³) | Composition (mol %) | | |
|----------------|-------------------------------|---------------------|--------------------------------|--------------------|
| | | BaO | Bi ₂ O ₃ | Borosilicate Glass |
| S ₁ | ۳.۴۵ | ۵۰ | ۰ | ۵۰ |
| S ₂ | ۳.۶۷ | ۵۰ | ۵ | ۴۵ |
| S ₃ | ۳.۸۱ | ۵۰ | ۱۰ | ۴۰ |
| S ₄ | ۳.۹۷ | ۵۰ | ۱۵ | ۳۵ |
| S ₅ | ۴.۲۱ | ۵۰ | ۲۰ | ۳۰ |

جدول (۲): ترکیب شیمیایی شیشه بوروسیلیکاتی بر حسب درصد وزنی.

| Compound | Percentage |
|--------------------------------|------------|
| B ₂ O ₃ | ۲۰.۲۰ |
| Na ₂ O | ۸.۲۱ |
| Al ₂ O ₃ | ۱۷.۳۵ |
| SiO ₂ | ۴۸.۵۱ |
| K ₂ O | ۵.۷۳ |

آشکارساز به صورت استوانه‌ای به ابعاد ۲×۲ سانتی‌متر مربع واقع در داخل یک کولیماتور سربی در نظر گرفته شد. شکل ۱

فوتوالکتریک، ضرایب تضعیف خطی و جرمی هر کدام از شیشه‌های بررسی شده کاهش می‌یابند. اختلاف مشاهده شده بین مقادیر کد MCNP4C و برنامه XCOM به تفاوت در نوع تکنیک‌های به‌کار رفته و پایگاه داده مورد استفاده مربوط می‌شود. از نتایج جدول ۴ مشاهده می‌شود که برای هر سه گروه از داده‌ها، مقادیر اعداد اتمی مؤثر با افزایش غلظت اکسید بیسموت افزایش یافته و با افزایش انرژی پرتوهای گاما این کمیت کاهش می‌یابد. این موضوع به خاطر کسر بالای عناصر با اعداد اتمی بالا در نمونه شیشه مورد نظر اتفاق می‌افتد و دلالت بر این موضوع دارد که نمونه شیشه با عدد اتمی مؤثر بالا با شدت بیشتری فوتون‌های فرودی را جذب خواهند کرد. اختلاف مشاهده شده برای عدد اتمی مؤثر نمونه‌ها در محاسبات شبیه‌سازی با کد MCNP4C و برنامه XCOM با نتایج تجربی به‌طور متوسط ۳/۷۶ و ۱۱/۳۰ درصد گزارش می‌شود. محاسبات شبیه‌سازی با کد MCNP4C در مقایسه با برنامه XCOM توافق بهتری با نتایج تجربی از خود نشان می‌دهند.

همچنین نتایج جدول ۵ نشان می‌دهند که مقادیر چگالی الکترونی مؤثر شیشه‌های باریوم-بیسموت-بوروسیلیکاتی در محدوده $10^{23} \times (2/3 - 6/2)$ الکترون بر گرم تغییر می‌کند. چگالی الکترونی مؤثر شیشه‌ها تقریباً مستقل از نوع ترکیب نمونه بوده و با افزایش انرژی پرتوهای گاما به آهستگی کاهش می‌یابند. اختلاف مشاهده شده در نتایج حاصل از شبیه‌سازی و تجربی می‌تواند ناشی از اختلاف در مقادیر متغیرهای به‌کار رفته در محاسبات از جمله چگالی و ترکیب عنصری متفاوت نمونه‌ها، انرژی و شدت چشمه، استفاده از پایگاه‌های داده مختلف و... باشد. نتایج نشان می‌دهند که کد MCNP4C و مدل پیشنهاد داده شده می‌تواند مشخصات حفاظتی شیشه‌های باریوم-بیسموت-بوروسیلیکاتی را با دقت بالایی برآورد کند.

۲ استفاده شده است [۸]. در این روابط μ_m ، t_d و w_i به ترتیب ضریب تضعیف جرمی، ضخامت چگالشی و کسر وزنی عنصر i ام در نمونه شیشه است.

$$I = I_0 e^{-\mu_m t_d} \quad (1)$$

$$\mu_m = \sum w_i \times \mu_{m,i} \quad (2)$$

همچنین در جداول ۴ و ۵ اعداد اتمی مؤثر و چگالی الکترونی مؤثر نمونه شیشه‌های مورد مطالعه نشان داده شده است. برای محاسبه این کمیت‌ها ابتدا باید سطح مقطع‌های اتمی و الکترونی کلی را از روابط شماره ۳ و ۴ محاسبه کرده و سپس از روابط شماره ۵ و ۶ برای محاسبه اعداد اتمی مؤثر و چگالی الکترونی مؤثر استفاده کرد [۸]. در این روابط f_i ، A_i و Z_i به ترتیب کسر اتمی، جرم اتمی و عدد اتمی عنصر i ام در نمونه شیشه است.

$$\sigma_a = (1/N_A) \sum f_i N_i \mu_{m,i} \quad (3)$$

$$\sigma_e = (1/N_A) \sum (f_i N_i \mu_{m,i}) / Z_i \quad (4)$$

$$Z_{eff} = \sigma_a / \sigma_e \quad (5)$$

$$N_{eff} = \mu_m / \sigma_e \quad (6)$$

۴. بحث و نتیجه‌گیری

همان‌طور که در شکل ۲ و جدول ۳ نشان داده شده است، برای ضرایب تضعیف خطی و جرمی توافق خوبی بین نتایج تئوری و تجربی مشاهده می‌شود. اختلاف مقادیر مشاهده شده نیز در حدود خطای گزارش شده برای نتایج تجربی (کم‌تر از ۳/۵ درصد) می‌باشند [۴]. همچنین نتایج نشان می‌دهند که با افزایش غلظت اکسید بیسموت در نمونه و در نتیجه افزایش چگالی آن، ضرایب تضعیف خطی و جرمی نمونه‌ها نیز در هر سه انرژی مورد مطالعه افزایش می‌یابند. از طرف دیگر با افزایش انرژی پرتو گاما و در نتیجه کاهش احتمال برهم‌کنش از طریق پدیده

جدول (۳): ضرایب تضعیف جرمی ($\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$) شیشه‌های باریوم-بیسموت-بوروسیلیکاتی.

| Glass Samples | ۶۶۲ keV | | | ۱۱۷۳ keV | | | ۱۳۳۲ keV | | |
|---------------|---------|--------|--------|----------|--------|--------|----------|--------|--------|
| | MCNP | XCOM | Exp. | MCNP | XCOM | Exp. | MCNP | XCOM | Exp. |
| S۱ | ۰.۰۷۶۳ | ۰.۰۷۵۲ | ۰.۰۷۲۱ | ۰.۰۵۴۳ | ۰.۰۵۴۰ | ۰.۰۵۲۵ | ۰.۰۵۰۵ | ۰.۰۵۰۵ | ۰.۰۵۰۲ |
| S۲ | ۰.۰۸۱۶ | ۰.۰۸۰۰ | ۰.۰۷۸۹ | ۰.۰۵۵۵ | ۰.۰۵۵۰ | ۰.۰۵۳۳ | ۰.۰۵۱۲ | ۰.۰۵۱۲ | ۰.۰۵۰۳ |
| S۳ | ۰.۰۸۵۷ | ۰.۰۸۳۶ | ۰.۰۸۰۷ | ۰.۰۵۶۰ | ۰.۰۵۵۷ | ۰.۰۵۴۹ | ۰.۰۵۱۹ | ۰.۰۵۱۷ | ۰.۰۵۰۴ |
| S۴ | ۰.۰۸۸۸ | ۰.۰۸۶۴ | ۰.۰۸۲۴ | ۰.۰۵۷۰ | ۰.۰۵۶۳ | ۰.۰۵۵۵ | ۰.۰۵۲۳ | ۰.۰۵۲۱ | ۰.۰۵۰۶ |
| S۵ | ۰.۰۹۰۹ | ۰.۰۸۸۶ | ۰.۰۸۴۲ | ۰.۰۵۷۵ | ۰.۰۵۶۷ | ۰.۰۵۶۵ | ۰.۰۵۲۷ | ۰.۰۵۲۵ | ۰.۰۵۱۵ |

جدول (۴): اعداد اتمی مؤثر شیشه‌های باریوم-بیسموت-بوروسیلیکاتی.

| Glass Samples | ۶۶۲ keV | | | ۱۱۷۳ keV | | | ۱۳۳۲ keV | | |
|---------------|---------|-------|-------|----------|-------|-------|----------|-------|-------|
| | MCNP | XCOM | Exp. | MCNP | XCOM | Exp. | MCNP | XCOM | Exp. |
| S۱ | ۱۷.۵۸ | ۱۸.۵۶ | ۱۶.۶۰ | ۱۶.۷۴ | ۱۷.۸۵ | ۱۶.۱۹ | ۱۶.۶۳ | ۱۷.۸۲ | ۱۶.۵۳ |
| S۲ | ۲۰.۹۸ | ۲۲.۲۴ | ۲۰.۲۹ | ۱۹.۳۶ | ۲۰.۷۳ | ۱۸.۶۰ | ۱۹.۰۹ | ۲۰.۶۴ | ۱۸.۷۶ |
| S۳ | ۲۴.۱۵ | ۲۵.۵۹ | ۲۲.۷۳ | ۲۱.۶۹ | ۲۳.۴۳ | ۲۱.۲۵ | ۲۱.۴۹ | ۲۳.۲۸ | ۲۰.۸۷ |
| S۴ | ۲۷.۰۰ | ۲۸.۶۶ | ۲۵.۰۵ | ۲۴.۰۹ | ۲۵.۹۵ | ۲۳.۴۶ | ۲۳.۶۶ | ۲۵.۷۶ | ۲۲.۹۰ |
| S۵ | ۲۹.۵۴ | ۳۱.۴۸ | ۲۷.۳۴ | ۲۶.۲۴ | ۲۸.۳۳ | ۲۵.۷۷ | ۲۵.۷۶ | ۲۸.۰۹ | ۲۵.۱۸ |

جدول (۵): چگالی الکترونی مؤثر ($\text{electron g}^{-1} \times 10^{23} N_{\text{eff}}$) شیشه‌های باریوم-بیسموت-بوروسیلیکاتی.

| Glass Samples | ۶۶۲ keV | | | ۱۱۷۳ keV | | | ۱۳۳۲ keV | | |
|---------------|---------|------|------|----------|------|------|----------|------|------|
| | MCNP | XCOM | Exp. | MCNP | XCOM | Exp. | MCNP | XCOM | Exp. |
| S۱ | ۲.۸۸ | ۲.۸۴ | ۲.۷۲ | ۲.۷۴ | ۲.۷۳ | ۲.۶۵ | ۲.۷۳ | ۲.۷۳ | ۲.۷۱ |
| S۲ | ۳.۰۱ | ۲.۹۵ | ۲.۹۱ | ۲.۷۸ | ۲.۷۵ | ۲.۶۷ | ۲.۷۴ | ۲.۷۴ | ۲.۶۹ |
| S۳ | ۳.۱۰ | ۳.۰۲ | ۲.۹۱ | ۲.۷۸ | ۲.۷۶ | ۲.۷۲ | ۲.۷۶ | ۲.۷۵ | ۲.۶۸ |
| S۴ | ۳.۱۴ | ۳.۰۶ | ۲.۹۲ | ۲.۸۰ | ۲.۷۷ | ۲.۷۳ | ۲.۷۵ | ۲.۷۵ | ۲.۶۷ |
| S۵ | ۳.۱۶ | ۳.۰۸ | ۲.۹۲ | ۲.۸۱ | ۲.۷۷ | ۲.۷۶ | ۲.۷۶ | ۲.۷۴ | ۲.۶۹ |

۵. مراجع

- Sh. Sharifi, R. Bagheri, S. P. Shirmardi. Comparison of shielding properties for ordinary, barite, serpentine and steel-magnetite concretes using MCNP-4C code and available experimental results. *Ann. Nucl. Energy* 53 (2013) 529-534.
- I. Akkurt, H. Akyıldırım, F. Karipcin, B. Mavi. Chemical corrosion on gamma ray attenuation properties of barite concrete. *Jour. Saud. Chem. Soc.* 16 (2012) 199-202.
- M. Kurudirek, Y. Özdemir, Ö. Şimşek, R. Durak. Comparison of some lead and non-lead based glass systems, standard shielding concretes and commercial window glasses in terms of shielding parameters in the energy region of 1 keV-100 GeV: a comparative study. *J. Nucl. Mater.* 407 (2010) 110-115.
- C. Bootjomchai, J. Laopaiboon, C. Yenchai, R. Laopaiboon. Gamma-ray shielding and structural properties of barium-bismuth-borosilicate glasses. *Radiat. Phys. Chem.* 81 (2012) 785-790.
- J. K. Shultis, R. E. Faw. *An MCNP Primer*. Department of Mechanical and Nuclear Engineering, Kansas State University, 2010.
- L. Gerward, N. Guilbert, K. B. Jensen, H. Levring. X-ray absorption in matter. Reengineering XCOM. *Radiat. Phys. Chem.* 60 (2001) 23-24
- J. H. Hubbell, S. M. Seltzer. Tables of X-ray mass attenuation coefficients and mass energy-absorption coefficients 1 keV-20 MeV for elements $1 < Z < 92$ and 48 additional substances of dosimetric interest, National Institute of Standards and Physics Laboratory, NISTIR, 1995, p. 5632.
- R. Bagheri, A. K. Moghaddam, S. P. Shirmardi, B. Azadbakht, M. Salehi. Determination of gamma-ray shielding properties for silicate glasses containing Bi_2O_3 , PbO , and BaO . *J. Non-Cryst. Solids* 479 (2018) 62-71.