بررسی اثرات تخریبی تابش نوترون بر بلور HPGe با استفاده از مدلKinchin-Pease و کد MCNP

مولوی، علی اصغر*[۱]؛ محمدی،سارا[۲]

۱- گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه تربیت معلم سبزوار E-mail: amowlavi@sttu.ac.ir

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه علوم پایه دامغان

چکِیده

*در این مقاله با شبیه‌سازی تابش نوترون بر بلور **HPGe** با استفاده از کد **MCNP** مقدار انرژی ذخیره شده در بلور با اندازه‌های مختلف و در فواصل گوناگون از چشمه محاسبه گردیده است. سپس با استفاده از مدل **Kinchin-Pease** توسط یک برنامه فرترن آهنگ جابه‌جایی اتم‌ها در بلور بدست آمده است. تعداد اتم‌های جابه‌جا شده در هر یک از این بلورها مستقیما با صدمات تابشی ناشی از چشمه‌های نوترونی و عمر مفید آشکارساز در ارتباط است. در نتایج بدست آمده مشاهده می‌شود که با افزایش اندازه بلور تعداد جابجایی‌ها نیز افزایش می‌یابد، که این به علت بزرگتر شدن اندازه شعاع بلور استوانه‌ای و افزایش احتمال برهمکنش‌های نوترون با بلور استوانه‌ای می‌باشد.*

*کلمات کلیدی: **بلور HPGe؛ تابش نوترون؛ انرژی دخیره شده؛ جابجایی اتم***

Mowlavi, Ali Asghar;Mohamadi, Sara

Physics Department, Tarbiat Moallem University of Sabzevar, Sabzevar,Iran

Physics Department, Basic Science University of Damghan, Damghan, Iran.

Abstract

In this research work, amount of neutron energy deposition in a HPGe crystal with different sizes and different distance from source has been evaluated by using MCNP code. Then the rate of atoms displacement in the crystals has been calculated by a FORTRAN program with Kinchin–Pease Model. The number of displacement atoms depends on radiation damage of neutron sources directly.Number of atoms displacement in the crystal is related to the neutron radiation damage and the effective life of crystal.Results show atoms displacement increased by increasing the size of crystal.

Keywords: *HPGe crystal; Neutron radiation; Energy deposition; Displacement ato*

۱. مقدمه

مطالعه تابش نوترون در پژوهش‌های فیزیک هسته‌ای و کاربرد ذرات و بویژه تکنولوژی هسته‌ای، مورد توجه است. کدهای کامپیوتری مختلف برای شبیه‌سازی ترابرد نوترون با روش‌های مختلف وجود دارد.

آشکارسازهای نیمه‌رسانا با استفاده از یونش تولید شده از تابش عبوری از آنها، پرتوها را آشکار می‌کنند؛ و به علت قدرت تفکیک انرژی بسیار بالا در طیف‌سنجی ذرات باردار و فوتون‌ها بسیار حائز اهمیت هستند. از این میان بلور HPGe به خاطر تکنولوژی ساخت و تهیه آن در ابعاد بزرگتر و توان تفکیک انرژی بسیار بالا برای طیف‌سنجی گاما و ایکس بسیار مورد توجه قرار گرفته است، اگر چه قیمت بالا و کار در دماهای پایین از محدودیت‌های آن است. اگر این بلور در میدان‌های آمیخته نوترون و گاما بکار رود آسیب برهم‌کنش‌های نوترون با اتم‌های ژرمانیوم در بلورHPGe باعث بوجود آمدن نقص بلوری و کاهش قدرت تفکیک آن می‌گردد[۱۰].نوترون‌ها همچنین با فعال‌سازی بلور شمارش زمینه را افزایش می‌دهند. بسته به انرژی نوترون، برهم‌کنش‌های آن با ماده ممکن است فرایندهای هسته‌ای متنوعی باشند. مهمترین برهم‌کنش‌ها، پراکندگی کشسان، پراکندگی غیر کشسان و گیراندازی نوترون می‌باشد[۶].

۲. بررسی آهنگ جابجایی‌های اتمی به ازای هر برخورد پراکندگی نوترون

در برخورد نوترون با اتم، حداقل انرژی برای جابجایی اتم، E_d که در حدود ۲۵eV است به آن منتقل می شود. اتم خارج شده ،سبب یونش، گرم شدن و جابجایی‌های ثانویه می‌گردد.تعداد جابجایی‌هایی توسط هر اتم تصادمی اولیه ایجادمی شود.اولین یون تصادمی، انرژی خود را در حین عبور از شبکه در اثر یونش و برهم‌کنش‌های تحریکی از دست می‌دهد و دراین حین ، تمایل به دریافت الکترون‌های آزاد دارد، که به نحو موثری باعث کاهش بار آن می‌شود. در نتیجه،فرایندهای یونش و تحریک در انرژی‌های بالا به برخوردهای الاستیک با اتم‌های شبکه در انرژی‌های کم تبدیل می شود و برخورد الاستیک سبب جابجایی‌های ثانویه می‌شوندپس می توان یک انرژی آستانه یونش $E_i \approx$ ۱۰۰۰A را در نظرگرفت، که در انرژی‌های بالاتر از E_i اتم تصادمی اولیه فقط یونش ایجاد می‌کند و در انرژی‌های کمتر از آن فقط جابجایی رخ می‌دهد.

مدل Kinchin–Pease برای تعریف $v(T)$ تعداد کل جابجایی‌های ناشی از یک پس زدگی اولیه با انرژی T است.

$$v(T)=\begin{cases}\dfrac{T}{2E_d} & ;T\le E_i\\ \dfrac{E_i}{2E_4} & ;T\ge E_i\end{cases} \qquad (۱)$$

تعداد جابجایی‌ها به ازای هر برخورد پراکندگی به صورت زیر است:

$$\frac{\dot{n}_d}{N\varphi\sigma_s}=\begin{cases}\dfrac{T_m^2-E_d^2}{4E_d\,T_m} & ;T_m<E_i\\ \dfrac{E^2}{4E_dT_m}+\dfrac{2E_i\,T_m-2E_i^2}{4E_dT_m} & ;T_m>E_i\end{cases} \qquad (۲)$$

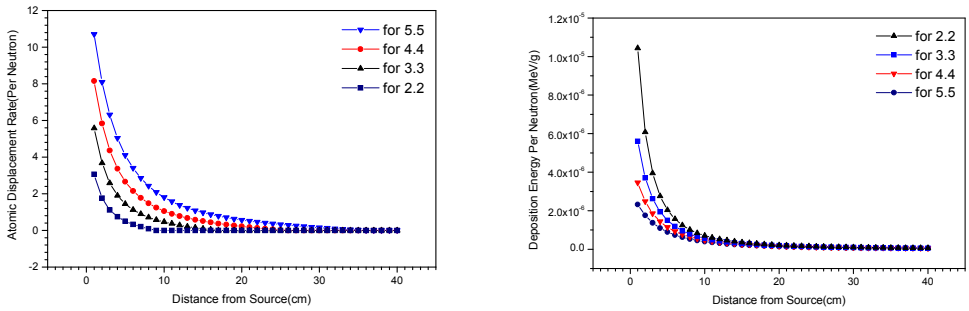
به علت در نظر نگرفتن چند عامل از قبیل برخوردهای جایگزینی، اثرات متمرکز و کانالی کننده، مدل مورد نظر تعداد جابجایی‌ها را بیشتر از مقدار واقعی برآورد می‌کند[۳،۲].

۳. اندازه گیری انرژی ذخیره شده در بلور با کد MCNP و برآورد تعداد جابجایی‌ها در بلور برای چشمه‌های مختلف نوترون

کد مونت کارلوی MCNP یک کد کامپیوتری پیشرفته است که برای شبیه‌سازی ترابرد تابش‌های هسته-ای، بسیار سودمند است. این کد معادله ترابردی برای نوترون را حل نمی‌کند، بلکه تاریخچه نوترون را با ماده شبیه‌سازی کرده و آن را ثبت می‌کند[۴]. ابتد به کمک کد MCNP مقدار انرژی ذخیره شده در واحد جرم در بلور به ازای هر نوترون توسط تالی F6:n محاسبه شده است؛ و سپس این مقادیر به عنوان ورودی کد فرترنی که برای مدل Kinchin–Pease نوشته‌ایم استفاده می‌شود تا آهنگ جابجایی اتم‌ها در بلور محاسبه گردد.

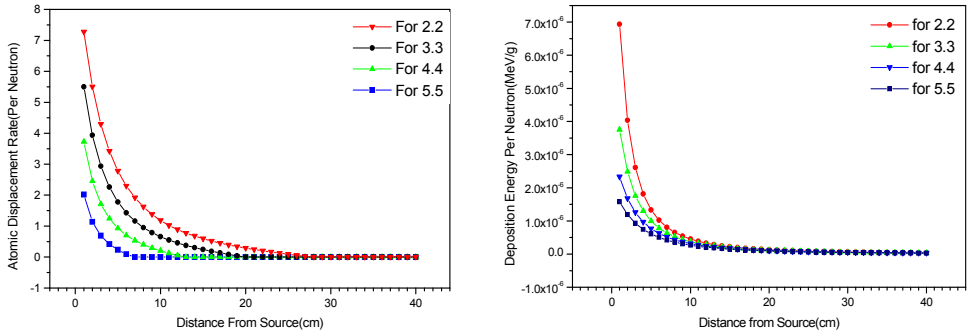
در این پژوهش، ابتدا بلور را در فواصل مختلف از چشمه‌های نقطه‌ای نوترونی با انرژی ثابت و همچنین چشمه نوترونی با طیف پیوسته مانند چشمه Am-Be و چشمه ^{۲۵۲}CF قرار داده، انرژی ذخیره شده در واحد جرم برای چشمه Am-Be و آهنگ جابجایی اتم‌ها را در بلورهای "۲×"۲، "۳×"۳،"۴×"۴و"۵×"۵ برحسب

فاصله برای چشمه نقطه‌ای Am-Be به ازای یک نوترون در شکل ۱ و همین نتایج برای چشمه ^{۲۵۲}CF در شکل ۲ نشان داده شده است. شکل ۳-الف انرژی ذخیره شده در واحد جرم برای بلور "۲×"۲ و برای چشمه‌های با انرژی مختلف به ازای یک نوترون به عنوان تابعی از فاصله چشمه تا بلور را نشان می‌دهد؛ و آهنگ جابجایی‌های اتمی در چهار اندازه بلور HPGe برحسب فاصله بلور از چشمه نقطه‌ای با انرژی ۰/۵MeV و به ازای یک نوترون در شکل ۳-ب نشان داده شده است



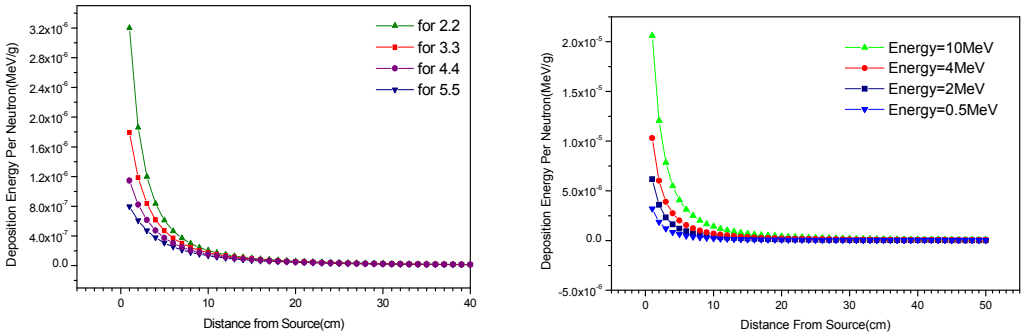
(ب) (الف)

شکل ۱: الف)انرژی ذخیره شده در واحد جرم، ب) آهنگ جابجایی‌های اتمی در بلورها برای چشمه نقطه‌ای نوترونی Am–Be برحسب فاصله چشمه تا بلور به ازای یک نوترون.



(ب) (الف)

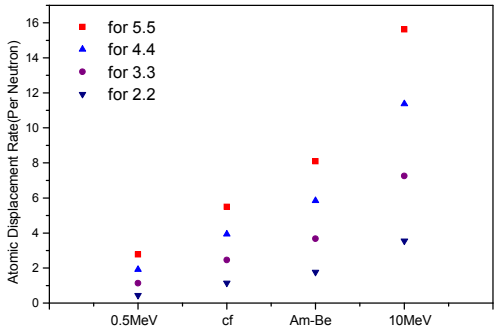
شکل۲: الف)انرژی ذخیره شده در واحد جرم، ب) آهنگ جابجایی‌های اتمی در بلورها برای چشمه نقطه‌ای نوترونی ^{۲۵۲}CFبرحسب فاصله چشمه تا بلور به ازای یک نوترون.



(ب) (الف)

شکل۳: الف) انرژی ذخیره شده در واحد جرم بلور "۲×"۲ برای چشمه‌های نقطه‌ای نوترونی با انرژی‌های مختلف بـه ازای یـک نوترون و به عنوان تابعی از فاصله چشمه نوترونی از بلور؛ ب) آهنگ جابجایی‌های اتمـی در چهـار انـدازه بلـورHPGe بـه ازای فواصل مختلف بلور از چشمه برای چشمه نقطه‌ای با انرژی ۰/۵ MeV و به ازای یک نوترون.

در شکل ۴ آهنگ جابجایی‌های اتمی در بلورها برای چشمه‌های نوترونی مختلـف در فاصـله چـشمه تـا بلور به اندازه ۲ cm با یکدیگر مقایسه شده است. لازم به ذکر است که خطای کلیه محاسـبات مونـت‌کـارلو کمتر از۲٪ می‌باشد.



شکل۴: مقایسه آهنگ جابجایی‌های اتمی در بلورها برای چشمه های نوترونی مختلف در فاصله چشمه تا بلور به انـدازه ۲ cm به ازای یک نوترون.

۵. نتیجه‌گیری

مشاهده می‌شود که مقدار انرژی ذخیره شده در واحد جرم به ازای هر نوترون در بلـور "۵×"۵ بیـشتر از مقدار متناظر برای بلور "۲×"۲ می‌باشد. بنابراین مقدار انرژی ذخیره شده در واحد جرم در بلورهـا بـر طبـق

پیش‌بینی‌ها به طور کامل تابع اندازه بلور است. تعداد جابجایی‌ها نیز با بزرگتر شدن ابعاد بلور، افـزایش مـی-یابد، که این به علت بزرگتر شدن اندازه شعاع بلور استوانه‌ای و به تبـع بزرگتـر شـدن سـطح دایـروی بلـور استوانه‌ای می‌باشد [۶].جابجایی‌های اتمی با افزایش انرژی چشمه زیادتر شده و این نشان دهنده آن است که با افزایش انرژی چشمه، صدمات وارد بر بلور افزایش می یابد.

مراجع

[۱] H.W. Kraner, C. Chasman, K.W. Jones, "Effects Produced by Fast Neutron Bombardment of Ge(Li) Gamma Ray Detectors",***Nucl. Instr. Meth. Phys. Res.,*** Vol62, pp. 173-183, 1968.

[۲] فوستر آ. ر.، رایت ر. ل؛ مهندسی هسته ای پایه، ترجمه دکتر منیژه رهبر، علی افشار بکشلو، مرکز نشر دانشگاهی؛ چاپ اول ۱۳٦٤, صفحه ۳۸۰ تا ۳۸۳.

[۳] N. Fourches, A. Huck, G. Walter, "The Role of Secondary Defects in the Loss of Energy Resolution of Fast-Neutron-Irradiated HPGe Gamma-Ray-Detectors", ***IEEE Trans. Nucl.Sci.,*** Vol. 38, No.3,pp. 1728-1735, 1991.

[٤] J. F. Briesmeister, MCNP: a general Monte Carlo N-particle transport code, Version 4C, Los Alamos National Laboratory, LA-13709-M (2000).

[٥] A. A. Mowlavi and R. Koohi-Fayegh; "Determination of 4.438 MeV γ-ray to neutron emission ratio from a ^{241}Am-^{9}Be neutron source"; Applied Radiation and Isotopes 60, 2004, pp: 959-962.

[٦] سولفانیدیس، نیکلاس؛ اندازه‌گیری و آشکارسازی تابش‌های هسته‌ای، ترجمه دکتر رحیم کوهی و دکتر محمد هادی هادی‌زاده یزدی؛ کتابستان مشهد؛ *چاپ اول*، ۱۳۷۵، صفحه ۳۷۰ تا ۳۷٦.

[7] L.S. Darken, "Role of Disordered Regions in Fast-Neutron Damage of HPGe Detectors", ***Nucl. Instr. Meth. Phys. Res.,*** Vol. B74, pp. 523, 1993.

[8] J. Llacer, H.W. Kraner, "Neutron Damage and Annealing in High Purity Germanium Radiation Detectors", ***Nucl. Instr.Meth.,*** Vol. 98, pp. 467-475, 1972.

[9] L.S. Darken, R.C. Trammell, T.W. Raudorf, R.H. Pehl, J.H. Elliott, "Mechanism for Fast Neutron Damage of Ge(HP) Detectors", ***Nucl. Instr. Meth.,*** Vol. 171, pp. 49-59, 1980.

[10] Joa Ljungvalla,_, Johan Nyberga,"A study of fast neutron interactions in high-purity germanium detectors", ***Nucl. Instr. Meth***, A 546 (2005) 553–573

[11] M. Koenenl, J. Brucknerl, U . Fabian1, H. Krusel, H. Wankel, A. N. F. Schroeder2,R. Star@, L. G. Evans3, J. I. Trombka3, D. M. Drake4, P. A. J. Englert5, J. Dempsey5"Analysis of Radiation Damaged HPGe Detectors with a new Algorithm",", ***IEEE Trans. Nucl.Sci*** ,VOL. 43, NO. *3,* **JUNE** 1996