



محاسبه بازده ذاتی شمارنده BF_3 بر حسب انرژی نوترون با استفاده از کد MCNP و

مقایسه آن با نتایج تحلیلی

زهرا اکبری مقدم کاخکی - محمد هادی هادیزاده یزدی - رضا ایزدی نجف آبادی

دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده علوم، گروه فیزیک

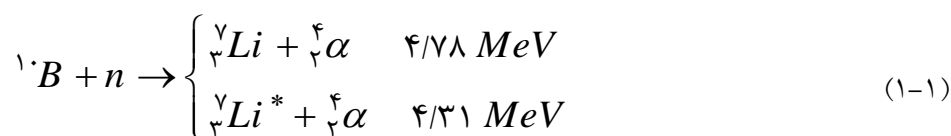
چکیده

در این تحقیق روشی ارائه شده است که با به کارگیری آن می توان بازده ذاتی یک شمارنده BF_3 بر حسب انرژی نوترون را با استفاده از کد MCNP تعیین کرده و آن را با مقدار حاصل از رابطه نظری مقایسه کرد. در این کار بازده ذاتی را در انرژی های مختلف نوترون، طرح های متفاوت چیدمان سامانه آزمایش، و چندین ماده مختلف به عنوان موازی ساز مورد بررسی قرار دادیم و نهایتاً با مقایسه مقادیر بازده بدست آمده از رابطه نظری و کد MCNP، توانستیم شرایط بهینه سیستم برای رسیدن به یک بازده بالاتر و محدوده ای از انرژی نوترون که آشکارساز برای آن کارایی بیشتری دارد را، شناسایی کنیم.

کلید واژه : کد MCNP، چشمه نوترون، آشکارساز BF_3 ، بازده ذاتی

۱- مقدمه

آشکارساز BF_3 یک شمارنده تناسبی گازی است که بر اساس واکنش جذبی زیر



نوترون ها را آشکار و شمارش می کند [۱]. سطح مقطع واکنش جذبی (n, α) برای ایزوتوپ 1_0B به شدت وابسته به انرژی است و در انرژی های کمتر از 1000 eV ، تابع $\frac{1}{v}$ می باشد که مقدار آن در ناحیه انرژی های حرارتی به حدود 3840 بارن می رسد. اگر از یک آشکارساز BF_3 در مقابل شاری از نوترون ها استفاده کنیم به دلیل اثر جذب در دیواره ها و پراکندگی هایی که باعث فرار برخی نوترون ها از محیط آشکار-



ساز می‌شود، بازده آشکارسازی آن کمتر از ۱۰۰٪ خواهد بود^[۳]. رابطه ۱-۲ برای محاسبه بازده ذاتی یک شمارنده BF_3 برای باریکه نوترونی موازی محور آشکارساز ارائه شده است^[۱].

$$\varepsilon = \frac{\Sigma_a}{\Sigma_t} [1 - \exp(-\Sigma_t L)] \times [\exp(-\Sigma_w^t t_w)] \quad (2-1)$$

که در آن L طول آشکارساز، Σ_t سطح مقطع کل و Σ_a سطح مقطع جذب BF_3 ، t_w ضخامت دیواره شمارنده و Σ_w^t سطح مقطع کل نوترون با ماده دیواره است. در این پروژه، بازده محاسبه شده توسط این رابطه را با مقداری که از شبیه سازی توسط کد بدست می‌آید، مقایسه کرده‌ایم.

۲- روش انجام کار

۱-۲ تعیین بازده با استفاده از MCNP

برای به دست آوردن بازده ذاتی با استفاده از کد *MCNP* باید *tally* هایی را مورد بررسی قرار دهیم که طبق تعریف زیر، نسبت نوترون‌های برهم‌کنش یافته در حجم مؤثر آشکارساز به نوترون‌های وارد شده به آن را تعیین کنند:

$$\varepsilon = \frac{\text{تعداد نوترون هایی که در حجم مؤثر آشکارساز بر هم کنش می کنند}}{\text{تعداد نوترون هایی که وارد آشکارساز می شوند}}$$

برای بدست آوردن تعداد نوترون‌های ثبت شده در حجم آشکارساز از تالی F_4 و کارت fm_4 و برای نوترون‌های ورودی به آشکارساز از تالی F_1 استفاده می‌کنیم. با تقسیم پاسخهای به دست آمده بازده ذاتی تعیین

می‌شود. سامانه شبیه سازی شده در مسأله، شامل یک چشمه نوترونی همسانگرد نقطه‌ای تک انرژی و یک آشکارساز BF_3 (با طول مؤثر 30 cm و دیواره مسی به ضخامت 1 mm) است. در مرحله اولیه، نوترون‌ها را



حرارتی فرض می‌کنیم. از آنجا که رابطه ۱-۲ برای باریکه‌ای موازی و هم‌محور با آشکارساز به دست آمده است، و غالب چشمه‌های آزمایشگاهی نقطه‌ای می‌باشند، لازم است یک سامانه هم‌خط‌ساز در مقابل چشمه نوترونی تدارک ببینیم. به همین منظور پارامترهای مختلفی را در ابتدا برای تهیه یک هم‌خط‌ساز بهینه مورد بررسی قرار دادیم.

۱-۱-۲ طرح و چیدمان مناسب

در مرحله اول بین چشمه و آشکارساز، که به فاصله 24 cm از هم قرار داشتند، یک استوانه تو خالی از جنس پلیمر $(\text{CH}_2)_n$ به طول 4 cm ، که شعاع داخلی آن 0.5 cm و شعاع خارجی آن 1.5 cm بود، را به صورت هم-محور با آشکارساز قرار دادیم. این موازی‌ساز را یک بار چسبیده به چشمه و بار دیگر چسبیده به آشکارساز قرار

دادیم. نتایج شبیه‌سازی این مرحله در جدول ۱ آمده است. همانطور که مشاهده می‌شود در حالتی که مربوط به

قرارگیری موازی‌ساز چسبیده به آشکارساز است، پاسخ بهتری بدست می‌آید، پس این طرح را به عنوان چیدمان

موازی‌ساز انتخاب می‌کنیم.

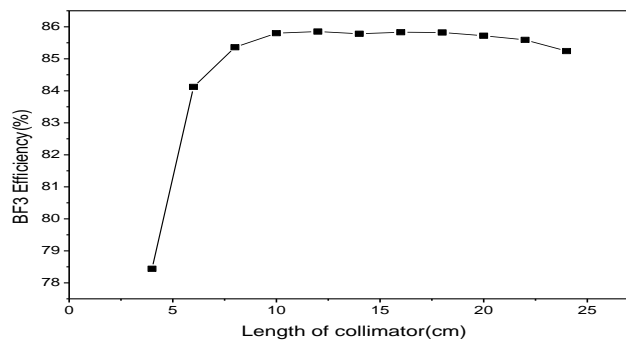
جدول ۱ مقادیر بازده ذاتی در چیدمان‌های مختلف

طرح چیدمان	بازده ذاتی (%)
موازی‌ساز نزدیک به چشمه	۵۸/۱۵
موازی‌ساز نزدیک به آشکارساز	۷۸/۴۴

۲-۱-۲ بررسی تأثیر طول موازی‌ساز

19 th Iranian's Nuclear Conference

در این چیدمان، طول موازی‌ساز را گام به گام افزایش دادیم و هر بار بازده را محاسبه نمودیم که نتایج آن در شکل ۱ آمده است. همانطور که در شکل مشاهده می‌شود، برای این انرژی نوترون و برای این فاصله چشمه-آشکارساز، تا طول حدود 10 cm بازده محاسباتی افزایش یافته و از آن به بعد تقریباً ثابت می‌ماند.



شکل ۱. بازده ذاتی محاسباتی بر حسب طول موازی‌ساز از جنس پلیمر

۲-۱-۳ بررسی تأثیر نوع ماده موازی‌ساز

در این مرحله محاسبات را با موازی‌سازهای مختلف از جنس $\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_2$ ، C_3H_6 ، $\text{C}_5\text{H}_4\text{N}_4\text{O}_3$ ، Gd_2O_3 انجام دادیم که نتایج آن در جدول ۲ خلاصه شده است.

جدول ۲ مقادیر بازده برای موازی‌سازهایی با جنس‌های متفاوت

جنس موازی‌ساز	CH_2	$\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_2$	C_3H_6	$\text{C}_5\text{H}_4\text{N}_4\text{O}_3$	Gd_2O_3
بازده ذاتی (%)	۸۵/۸۵	۸۵/۵۵	۸۵/۶۸	۸۶/۶۳	۹۱/۹

۲-۲ محاسبه تحلیلی بازده بر حسب انرژی نوترون

برای پیدا کردن رابطه بازده ذاتی BF_3 با انرژی نوترون، انرژی را از 0.1 eV تا 1 eV ، با گام 0.1 افزایش دادیم و هر بار از روی رابطه ۲-۱ محاسبه کردیم (انتخاب این محدوده انرژی به دلیل کاربرد BF_3 در انرژی-های پایین است). نتایج بدست آمده در شکل ۲ با دایره توپر نمایش داده شده است، که طبق انتظار کاهش بازدهی را با افزایش انرژی نشان می‌دهد.

۲-۳ محاسبه بازده ذاتی با کد MCNP

ابتدا لازم است چیدمانی که شرایط استفاده از رابط ۱-۲ را فراهم می‌کند شبیه سازی کنیم. در این شبیه سازی، موضوع اصلی وجود موازی‌ساز است تا چشمه همسانگرد نقطه‌ای را به شرایط چشمه محوری نزدیک کند. بنابراین چیدمان شکل ۲ مرکب از: چشمه نقطه‌ای، موازی‌ساز و آشکارساز را با در نظر گرفتن ابعاد و مواد سازنده هر قسمت، شبیه سازی کرده آنگاه بازده را، به ازای تمام انرژیهای استفاده شده در بخش محاسبه تحلیلی، بدست آوردیم (بدیهی است چون متغیر انرژی نوترون است بقیه عوامل باید ثابت باشند). نتایج بدست آمده در

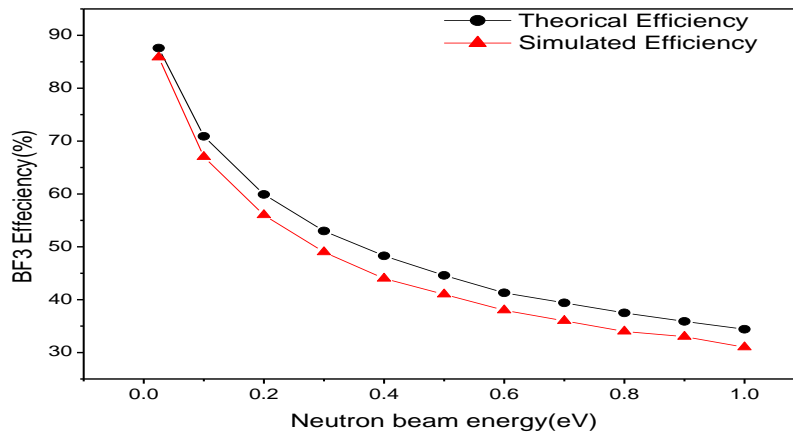


شکل ۲ تهیه باریکه نوترونی از یک چشمه نقطه‌ای برای شمارنده BF_3

شکل ۳ با شاخص مثلثی نشان داده شده است.

۳- مقایسه و نتیجه‌گیری

همان طور که در شکل ۳ دیده می‌شود، نتایج بدست آمده از رابطه نظری ۱-۲ و نیز نتایج حاصل از محاسبات مونت کارلو، همخوانی نسبتاً خوبی دارند. بویژه در انرژی‌های به سمت حرارتی، دو بازده بیشترین همخوانی را با هم پیدا می‌کنند. اما از آن به بعد تفاوت‌های مختصری بین پاسخها به چشم می‌خورد که به احتمال زیاد به تقریب‌هایی بر می‌گردد هنگام اثبات رابطه ۱-۲ در نظر گرفته‌اند.



شکل ۳. نمایش مقادیر بازده ذاتی نظری و بازده ذاتی حاصله از کد MCNP

مراجع

[۱] سولفانی‌دیس، ن، کوهی، ر، هادیزاده یزدی، ه، اندازه‌گیری و آشکارسازی تابشهای هسته‌ای، کتابستان مشهد، ۱۳۷۱

[2] Knoll, F., "Radiation Detection and Measurement", Michigan University

[۳] سمیر، ه، ابوکاظمی، ا، سپهری، ه، بینش، ع، " آشنایی با فیزیک بهداشت از دیدگاه پرتوشناسی"، مرکز نشر دانشگاهی، تهران، ۱۳۷۱.

[4] "MCNP4C Monte Carlo N-Particle transport Code System," Los Alamos National Laboratory(2000).