



طراحی آشکارساز طویل و تعیین ابعاد بهینه، بازده و پاسخ زاویه‌ای آن و ارزیابی روش ساخت شمارگر نوترون با پاسخ گسترده

محمد دانایی، فریدون عباسی دوانی*

گروه کاربرد پرتوها، دانشکده مهندسی هسته‌ای، دانشگاه شهید بهشتی، صندوق پستی: ۱۹۸۳۹۶۳۱۱۳، تهران - ایران

چکیده: اندازه‌گیری شار نوترون مستلزم به کارگیری آشکارسازهایی است که جهت‌دار و غیرحساس به پرتو گاما بوده و پاسخ آن‌ها مستقل از انرژی نوترون باشد. از جمله‌ی این آشکارسازها می‌توان به شمارگر طویل اشاره کرد. این مقاله به طراحی این نوع آشکارساز با استفاده از کد مونت کارلوی MCNPX می‌پردازد. شمارگر استفاده شده در این طراحی، از نوع تناسبی گازی بود که با گاز BF_3 در فشار ۴۰۰ Torr پر شده و دارای طول و قطر فعال به ترتیب برابر با ۳۱٫۱cm و ۲٫۴cm می‌باشد. با قرار گرفتن این شمارگر در کندساز، بازده آن برای شمارش نوترون‌های تند افزایش می‌یابد. ابعاد بهینه‌ی کندسازها (داخلی و خارجی) و عمق شیار ایجاد شده در کندساز داخلی با توجه به محاسبات انجام شده به ترتیب ۸، ۸ و ۱۰cm تعیین شده است. منحنی پاسخ محاسبه شده‌ی آشکارساز تا انرژی ۲۰MeV هم‌خوانی خوبی با منحنی‌های داده شده در مقالات مربوطه دارد. در تمام مقالات و گزارش‌ها پاسخ این آشکارساز تا انرژی ۲۰MeV محاسبه شده است ولی در مقاله‌ی حاضر پاسخ این آشکارساز برای اولین بار تا انرژی ۱۰۰MeV محاسبه شده است. ضمناً در بازه‌ی انرژی ۴۰ تا ۱۰۰MeV پاسخ آشکارساز نسبت به سایر بازه‌ها یکنواخت‌تر است. علاوه بر این، برای جلوگیری از ورود نوترون‌های پراکنده شده از اطراف، بین پلی اتیلن داخلی و خارجی لایه‌ای از کادمیم به ضخامت ۱mm قرار داده شده است. پاسخ زاویه‌ای برای سه انرژی ۲٫۵، ۵ و ۱۹MeV و تأثیر آن بر بازده آشکارساز بررسی شده است. در زاویه‌ی ۹۰ درجه که چشمه‌ی نوترون کاملاً در راستای محور هندسی آشکارساز قرار دارد، پاسخ آشکارساز بیش‌ترین مقدار را دارد.

کلید واژه‌ها: طراحی آشکارساز طویل، بازده آشکارسازی، پاسخ زاویه‌ای، شمارگر نوترون، کد MCNPX

Design and Determination of Optimised Dimensions, Efficiency and Angular Response of a Long-Counter; and Introducing the Construction Method of a Neutron Counter with a Wide-Range Response

M. Danaei and F. Abbasi Davani*

Radiation Application Department, Nuclear Engineering Faculty, Shahid Beheshti University, P.O.Box: 1983963113, Tehran - Iran

Abstract: One of the most requirement for the neutron flux measurement is to use detectors with the response independent of neutron energy. Also, detectors should be directional and insensitive to the gamma radiation. Long-Counter detectors are considered to be in this category. In this paper, this type of detector has been designed by the MCNPX code. The counter used in this detector is a gas proportional counter which is filled with BF_3 of 400 Torr gas pressure. The effective length and diameter of the counter are 31.1cm and 2.4cm, respectively. When the counter is placed in a moderator, its efficiency grows for fast neutron counting. The moderators optimum dimensions (internal and external) and the depth of track in the internal moderator, according to the calculation, are determined to be 8cm, 8cm, and 10cm, respectively. We found a good literature agreement between the calculated response profile up to 20MeV and the curves appeared in the literature, where all are showing the detector response up to 20MeV. In this paper, however, it is calculated up to 100MeV for the first time and in the energy interval of 40MeV to 100MeV with the detector response profile smoother than the other reports. In addition, to avoid entering the scattered neutron from the surroundings a 1mm cadmium absorber is placed between the external and the internal polyethylen moderator. The angular responses for the energies of 2.5MeV, 5MeV and 19MeV and also their effect on the detector efficiency have been investigated. The maximum value of the counter response has been obtained when the neutron source is placed along the detector axis.

Keywords: Long Counter Design, Detection Efficiency, Angular Response, Neutron Counter, MCNPX Code

*email: fabbasi@sbu.ac.ir

تاریخ دریافت مقاله: ۸۹/۱۲/۲۶ تاریخ پذیرش مقاله: ۹۰/۲/۲۵

۱. مقدمه

آشکارسازی نوترون از طریق برهم کنش نوترون‌های گرمایی و تند با محیط آشکارساز صورت می‌گیرد. آشکارسازی نوترون‌های تند هم از طریق برهم کنش مستقیم نوترون‌های تند با محیط آشکارساز و کندسازی نوترون‌های تند و آشکارسازی نوترون‌های گرمایی انجام می‌شود. از جمله‌ی آشکارسازهای مورد استفاده می‌توان به شمارگرهای BF_3 و 3He اشاره کرد. نوترون تند در برخوردهای متوالی با هسته‌های عناصر موجود در محیط کندساز که اغلب شامل هیدروژن و کربن می‌باشد، انرژی از دست می‌دهد تا این که در گستره‌ی انرژی نوترون‌های گرمایی قرار گیرد. در این مرحله نوترون می‌تواند با استفاده از شمارگرهای نوترون گرمایی، شمارش شود. در اندازه‌گیری شار نوترون‌های تند، استفاده از آشکارسازهایی که جهت‌دار و غیرحساس به پرتو گاما بوده و پاسخ آن‌ها مستقل از انرژی نوترون باشد از ضروریات می‌باشد [۱]. آشکارسازهای از این نوع به آشکارسازهای طویل معروف‌اند که ساخت آن‌ها اولین بار در سال ۱۹۴۷ توسط هانسون^(۱) و ام‌سی کین^(۲) پیشنهاد شده است و با قرار دادن شمارگر تناسبی استوانه‌ای BF_3 در ماده‌ی کندساز پارافینی ساخته می‌شوند [۲]. در اکثر آزمایشگاه‌های نوترون در سراسر دنیا از آشکارسازهای طویل برای اندازه‌گیری شار نوترون و پایش استفاده می‌شود [۳ تا ۸]. منحنی بازدهی، پاسخ زاویه‌ای، افزایش بازده برای انرژی‌های کم‌تر از ۱ MeV، تعیین مرکز مؤثر و حذف نوترون‌های پراکنده از اطراف جزء موارد اصلی در طراحی این نوع آشکارسازها است [۹]. ابعاد شمارگر نوترونی انتخاب شده در این آشکارسازها و همچنین نوع ماده‌ی کندساز سبب تغییر در ابعاد کلی آن می‌شود. در اطراف این نوع آشکارسازها برای حذف نوترون‌های پراکنده شده از دیواره‌های اتاق پرتودهی، حفاظ‌های نوترونی که عموماً شامل کندساز و جاذب نوترون‌های گرمایی است، قرار می‌گیرد. جاذبی که بین کندساز بیرونی و کندساز داخلی اطراف شمارگر BF_3 قرار می‌گیرد اغلب از جنس کادمیم Cd ، B_4C یا B_2O_3 است [۲]. از مزیت‌های اصلی این نوع آشکارسازها، آن است که کالیبراسیون آن‌ها با چشمه‌های نوترون تک انرژی (نوترون‌های تولید شده در شتاب‌دهنده‌ها) و چشمه‌های نوترون رادیوایزوتوپی $Am-^{241}Be$ با انرژی میانگین و طیف انرژی معین قابل انجام است [۱۰].

۲. شبیه‌سازی آشکارساز طویل

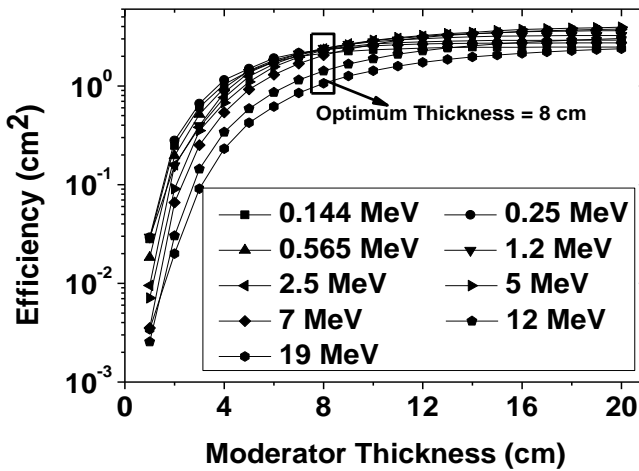
شمارگر انتخاب شده برای این آشکارساز، شمارگر BF_3 مدل ۲۰۲۹ ساخت شرکت LND است که طول و قطر فعال آن به ترتیب ۳۱/۱ و ۲/۴ cm بوده و جنس دیواره‌ی آن فولاد ضدزنگ است. برای شبیه‌سازی، شمارگر فوق در کندساز پلی اتیلن با چگالی 0.93 g/cm^3 قرار گرفته است. با استفاده از کد مونت کارلوی MCNPX [۱۱] هندسه‌ی موردنظر شبیه‌سازی شده و مشخصاتی از قبیل ضخامت بهینه‌ی پلی اتیلن داخلی و خارجی، عمق و عرض بهینه‌ی شیار ایجاد شده در پلی اتیلن داخلی و منحنی پاسخ آن در انرژی‌های مختلف، به ویژه در انرژی‌های کم‌تر از ۱ MeV محاسبه شده است. علاوه بر این پاسخ زاویه‌ای آن نیز برای سه انرژی ۵، ۲/۵ و ۱۹ MeV محاسبه شده است. لازم به ذکر است که کد مونت کارلوی MCNPX قادر به بررسی ترابرد نوترون با انرژی‌های بالاتر از ۲۰ MeV نیز می‌باشد که سطح مقطع‌های مورد استفاده در آن در مدل‌های مختلفی که برای ترابرد نوترون مورد استفاده قرار می‌گیرد سازگاری کاملاً خوبی با نتایج تجربی دارد. از تالی^(۳) $F4$ برای محاسبه‌ی آهنگ برهم کنش (n, α) در شمارگر BF_3 استفاده شده است. علاوه بر این، هنگامی که گرمایی شدن نوترون مدنظر است، در انرژی‌های کم‌تر از ۴ eV از جداول $S(\alpha, \beta)$ برای گرمایی شدن نوترون استفاده می‌شود. برای این منظور در برنامه ورودی باید از کارت MT(poly.01T) برای مدل‌سازی پراکندگی نوترون استفاده شود. علاوه بر این، با این کارت، محاسبات در دمای $300^\circ K$ انجام می‌گیرد. چشمه‌ی نوترون در محاسبات به صورت صفحه‌ای، تک انرژی و یک بعدی می‌باشد. همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، در هر مرحله از محاسبات، شعاع چشمه با مجموع شعاع شمارگر BF_3 و پلی اتیلن برابر است [۲].

Polyethylene	Alr
BF3 Detector	Alr

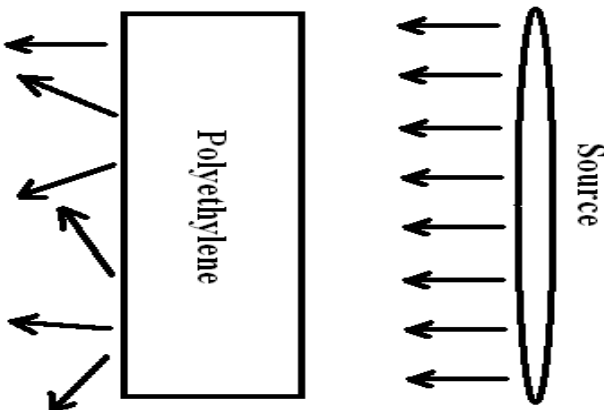
شکل ۱. نمایی از برش طولی هندسه‌ی پیشنهادی در ورودی کد MCNPX برای تعیین ضخامت پلی اتیلن داخلی.



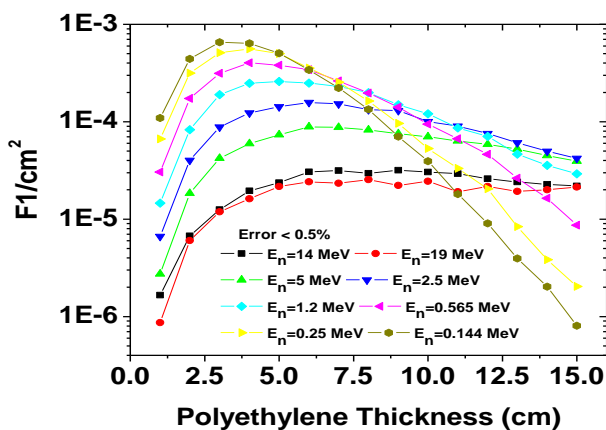
انرژی (19 MeV) در ضخامت 6cm حاصل شده است. اما به منظور اطمینان بیش تر از حذف اکثریت جمعیت نوترونی برخورد کننده به پلی اتیلن خارجی، ضخامت 8cm برای آن انتخاب شده است.



شکل ۲. تغییرات آهنگ برهم کنش بر حسب ضخامت پلی اتیلن داخلی.



شکل ۳. هندسه شبیه سازی شده برای محاسبه ضخامت بهینه کندساز خارجی.



شکل ۴. جریان نوترون گرمایی خروجی از پلی اتیلن در انرژی های مختلف.

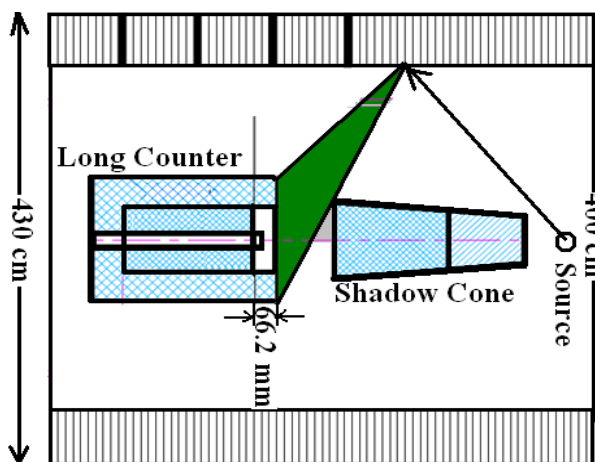
۱.۲ محاسبه ضخامت بهینه پلی اتیلن داخلی

برای تعیین ضخامت پلی اتیلن داخلی، با توجه به هندسه شبیه سازی شده در شکل ۱، ضخامت پلی اتیلن با گام های 1cm افزایش یافته و آهنگ برهم کنش (n,α) در شمارگر BF₃ در ضخامت های مختلف برای هر انرژی نوترون محاسبه و نتایج آن در شکل ۲ نشان داده شده است [۱۲]. همان طور که در شکل ۲ مشاهده می شود شیب تمام منحنی ها از ضخامت 8cm به بعد تقریباً ثابت بوده و افزایش آهنگ برهم کنش بر حسب ضخامت کندساز به حدی نیست که انتخاب ضخامت بیش تر برای بالا بردن بازده مقرون به صرفه باشد. چون این کار افزایش وزن و حجم دستگاه را به دنبال خواهد داشت و بزرگ بودن ابعاد آشکارساز عامل ایجاد پراکندگی های ناخواسته در آزمایشگاه می باشد. بنابراین ضخامت 8cm به عنوان ضخامت بهینه برای پلی اتیلن داخلی انتخاب شد.

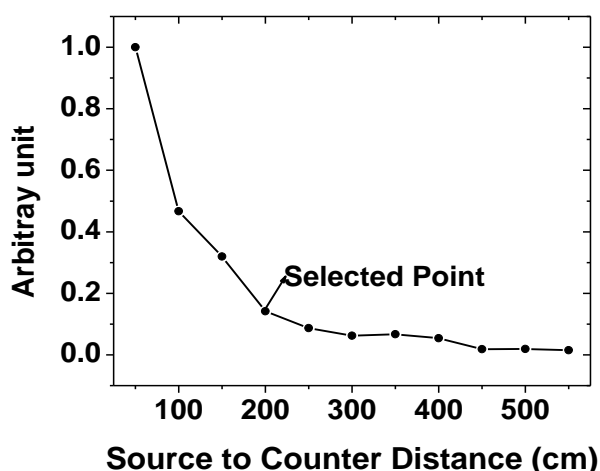
۲.۲ محاسبه ضخامت بهینه پلی اتیلن خارجی

هنگام استفاده از آشکارساز طولی در آزمایشگاه نوترون، به علت پراکندگی نوترون از محیط اطراف ممکن است بخشی از این نوترون های پراکنده به آشکارساز رسیده و در پاسخ آن تأثیر بگذارند. برای این منظور، لایه ای دیگری از کندساز بر روی کندساز داخلی قرار گرفته، و لایه ای از جاذب نوترون گرمایی مثل کادمیم یا مواد حاوی بور (¹⁰B) مثل B₄C، B₂O₃ یا بوریک اسید بین کندساز داخلی و خارجی قرار می گیرد. در این صورت کسری از نوترون ها که در اثر کندشدن در کندساز خارجی در گستره ی نوترون گرمایی قرار گرفته اند، هنگام عبور از جاذب، جذب می شوند. البته لازم به ذکر است که ضخامت فوق را می توان از همان ضخامت پلی اتیلن داخلی نیز حدس زد، ولی چون نحوه ی برخورد نوترون با پلی اتیلن خارجی و ضخامت ظاهری از کندساز خارجی که در مقابل نوترون قرار می گیرد فرق دارد، لازم است محاسبات مربوط جداگانه انجام شود. برای این کار استوانه ای از جنس پلی اتیلن به قطر 10cm و ضخامت 1cm مطابق آن چه در شکل ۳ دیده می شود با استفاده از کد مونت کارلوی MCNPX شبیه سازی شد. با استفاده از تالی F1 و با افزایش ضخامت کندساز با گام های 1cm، بیش ترین جریان نوترون گرمایی خروجی از آن در انرژی های مختلف محاسبه شد که نتایج آن در شکل ۴ نشان داده شده است. همان طور که از شکل ۴ پیدا است بیش ترین جریان نوترون گرمایی برای بالاترین

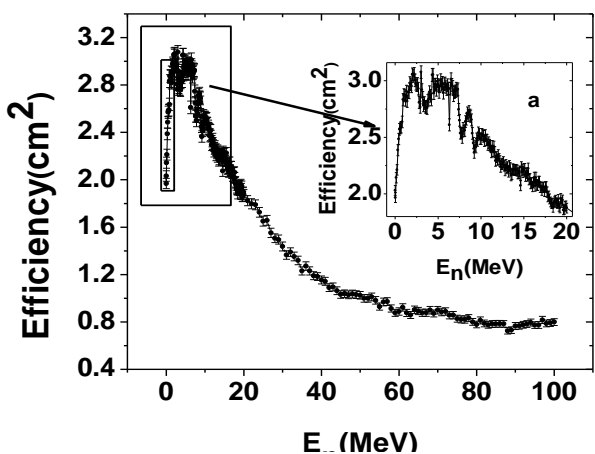
۱۰۰ MeV شیب منحنی تقریباً ثابت و نسبت به دیگر بازه‌های انرژی نوترون یکنواخت تر می‌باشد.



شکل ۵. تعیین ضخامت بهینه‌ی پلی اتیلن خارجی پنجره‌ی جلویی شمارگر به روش هندسی.



شکل ۶. کاهش آهنگ برهم کنش با فاصله‌ی چشمه - شمارگر.

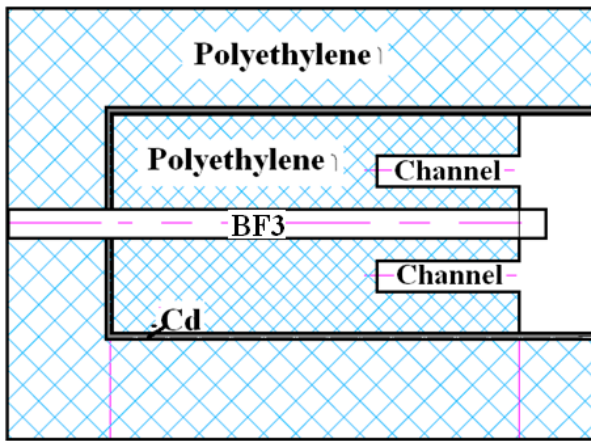


شکل ۷. پاسخ آشکارساز بدون شیار پلی اتیلن داخلی در انرژی‌های مختلف نوترون.

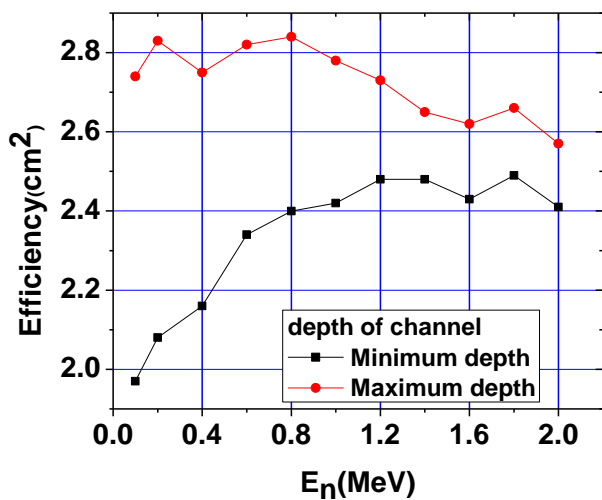
۳.۲ تعیین طول بهینه‌ی پنجره جلویی شمارگر

همان‌طور که در مقدمه گفته شد جهت‌دار بودن پاسخ آشکارساز زمانی کامل می‌شود که ضخامت کندساز خارجی و طول پنجره‌ی جلویی که شامل تنها بخشی از کندساز خارجی و جاذب نوترون است، بهینه باشد. علاوه بر موارد فوق هنگام استفاده از آشکارساز طویل، از مخروط سایه^(۴) برای حذف نوترون‌های پراکنده و کاهش اثر آن‌ها در پاسخ شمارگر استفاده می‌شود [۱۳]. آن دسته از نوترون‌های پراکنده شده از اطراف که از جلو مخروط سایه عبور کرده و در زاویه‌ی فضایی محدود به پنجره‌ی جلویی شمارگر (مجموعه‌ی پلی اتیلن داخلی و آشکارساز BF_3) به آن وارد می‌شوند، باید حذف شوند. برای این کار، تونلی به قطر داخلی ۴۰۰ cm و قطر خارجی ۴۳۰ cm از جنس بتن مطابق با آنچه که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، در اطراف شمارگر شبیه‌سازی شده و شمارگر درست در مرکز آن قرار گرفته است.

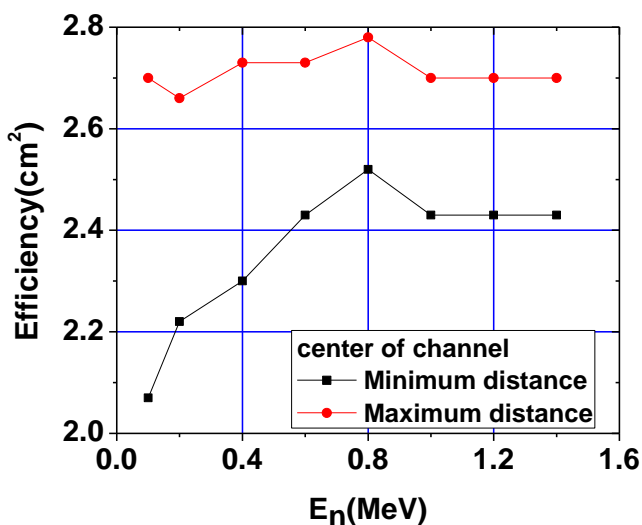
ابتدا می‌بایست نقطه‌ای که در آن پاسخ شمارگر با افزایش فاصله‌ی چشمه از آشکارساز تغییر چندانی از خود نشان نمی‌دهد، مشخص گردد. برای این منظور، میزان تأثیر نوترون‌های پراکنده در پاسخ آشکارساز به صورت کاهش آهنگ برهم کنش با فاصله‌ی چشمه‌ی (نقطه‌ای) از آشکارساز محاسبه و نتایج آن در شکل ۶ نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود برای فواصل بزرگ‌تر از ۲ m پاسخ آشکارساز تقریباً ثابت است و همین نقطه به عنوان نزدیک‌ترین مکان چشمه‌ی نوترون نسبت به آشکارساز در نظر گرفته شد. به منظور تعیین طول بهینه‌ی پنجره‌ی جلویی آشکارساز، همان‌طور که در شکل ۵ نشان داده شده است، از مکان چشمه، مسیر نوترون برخوردی به دیوار رسم شده و مسیر نوترون پراکنده شده پلی اتیلن خارجی را در ضخامت ۶۶۲ cm نسبت به سطح جلویی پلی اتیلن داخلی قطع کرده است که با اعداد گزارش شده کاملاً هم‌خوانی دارد [۱۳]. با توجه به ضخامت‌های بهینه شده، پاسخ آشکارساز در انرژی‌های مختلف نوترون در فضای آزاد محاسبه‌ی و در شکل ۷ نشان داده شده است. برای محاسبه‌ی بازده، چشمه‌ی نوترون تک بعدی، تک انرژی و سطحی تعریف و مساحت چشمه‌ی نوترون در آهنگ برهم کنش کل ایجاد شده در شمارگر BF_3 ضرب شده است. منحنی a در شکل ۷ از نظر کیفی، شبیه منحنی‌هایی است که از سال ۱۹۴۷ تاکنون برای آشکارساز طویل در کشورهای مختلف محاسبه شده است [۱۳]. محاسبه‌ی بازده این نوع آشکارساز، از انرژی ۲۰ تا ۱۰۰ MeV برای اولین بار انجام شده است. همان‌طور که در شکل ۷ مشاهده می‌شود، پاسخ آشکارساز از انرژی ۲۰ تا ۴۰ MeV با شیب معینی افت می‌کند ولی از انرژی ۴۰ تا



شکل ۸. آشکارساز طولیل طراحی شده (مقاله‌ی حاضر).



شکل ۹. تغییر اختلاف بین بیش‌ترین و کم‌ترین بازده آشکارساز با انرژی، و تعیین عمق بهینه‌ی شیار.

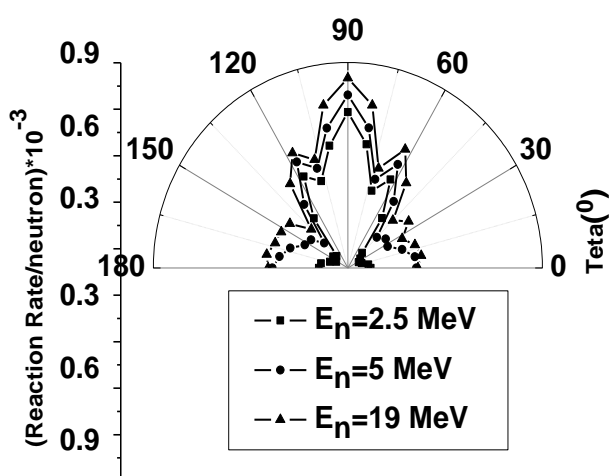


شکل ۱۰. تغییر اختلاف بین بیش‌ترین و کم‌ترین بازده آشکارساز با انرژی و تعیین فاصله‌ی بهینه‌ی مرکز پهنای شیار از سطح خارجی.

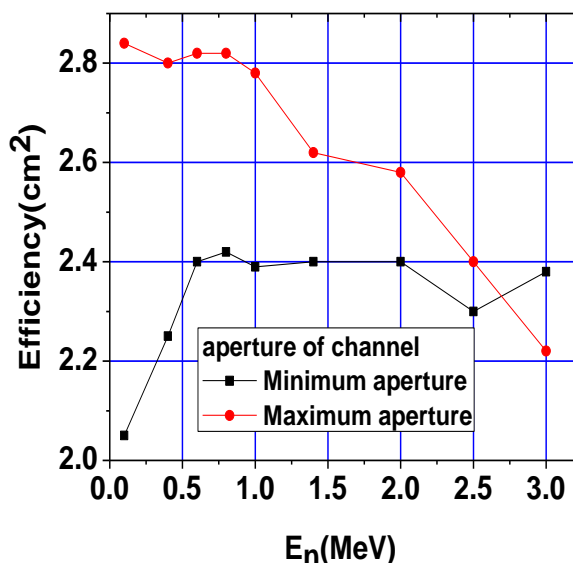
۴.۲ محاسبه‌ی عمق بهینه‌ی شیار در پلی اتیلن داخلی

با توجه به شکل ۷، بازده آشکارساز در انرژی‌های کم‌تر از ۱ MeV پایین می‌باشد. چون این شمارنده برای اندازه‌گیری شار نوترون با انرژی بالاتر از انرژی گرمایی مورد استفاده قرار می‌گیرد، طراحی آن باید به گونه‌ای باشد که نوترون‌های با انرژی کم‌تر از ۱ MeV بتوانند در آن به اندازه‌ی کافی نفوذ کرده و آشکارسازی شوند و هم‌چنین نوترون‌های پرنرژی برای آشکار شدن توسط آشکارساز BF₃ به اندازه‌ی کافی در کندساز کند شوند. برای رسیدن به این، شیاری در کندساز داخلی ایجاد و ابعاد آن (عمق، پهنای شیار و فاصله مرکز پهنای آن از سطح خارجی آشکارساز BF₃) برای چند انرژی زیر ۱ MeV محاسبه شده است. نحوه‌ی محاسبه‌ی ابعاد شیار به این صورت بوده است که ابتدا شیاری به عمق ۱ cm و عرض ۲ cm در کندساز داخلی در فاصله‌ی معینی از سطح شمارگر BF₃ ایجاد شده است. برای محاسبه‌ی هر یک از پارامترها دو پارامتر دیگر ثابت نگه داشته شده است و معیار انتخاب، کم شدن اختلاف بین بیش‌ترین و کم‌ترین بازده آشکارساز، یکنواخت شدن و کاهش پاسخ آشکارساز نسبت به افزایش پارامتر مورد نظر بوده است. لازم به ذکر است که کل تغییرات ایجاد شده در پاسخ آشکارساز برای هر سه پارامتر، بین ۲,۰۰ تا ۲,۸۰ cm² می‌باشد. کم‌ترین اختلاف بین دو منحنی و یکنواخت شدن آن‌ها در شکل ۹ در انرژی ۱,۲ MeV و در شکل‌های ۱۰ و ۱۱ در انرژی ۱ MeV اتفاق می‌افتد که نقاط فوق مربوط به عمق ۱۰ cm، پهنای ۲,۵ cm و فاصله‌ی مرکز پهنای شیار تا سطح خارجی BF₃ برابر با ۴,۸ cm است. نقشه‌ی کلی طراحی شده با استفاده از محاسبات در شکل ۸ نشان داده شده است. پس از ایجاد شیار و تعیین ابعاد بهینه‌ی آن، دوباره پاسخ شمارگر BF₃ در انرژی‌های مختلف نوترون محاسبه شده است که نتایج آن در شکل ۱۲ دیده می‌شود. با مقایسه‌ی دو شکل ۷ و ۱۲ مشاهده می‌شود که علاوه بر افزایش بازده شمارگر در انرژی‌های کم‌تر از ۱ MeV، میزان یکنواختی آن نیز از انرژی ۱۰ keV تا ۲,۵ MeV بهتر شده است و یکنواختی منحنی تا انرژی تقریباً ۷ MeV ادامه دارد. بنابراین ایجاد شیار با ابعاد بهینه برای بالا بردن بازده شمارگر برای نوترون‌های با انرژی کم‌تر از ۱ MeV مفید واقع شده است. هم‌چنین از شکل ۱۲ مشاهده می‌شود که شیار فوق تأثیر چندانی در کاهش بازده شمارگر نوترون با انرژی بالاتر از ۲,۵ MeV ندارد.

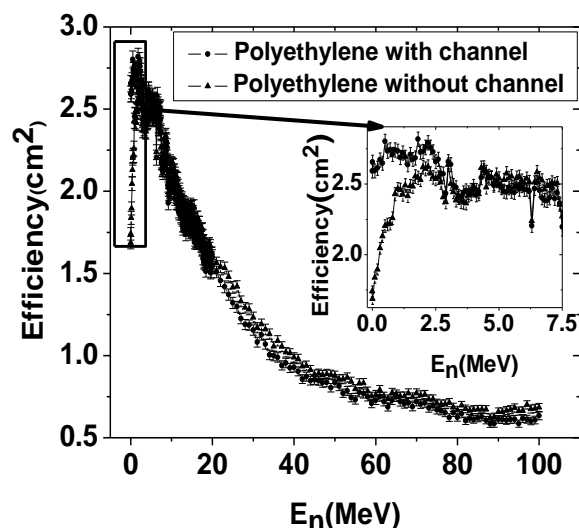
در شکل ۱۳ نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل ۱۳ مشاهده می‌شود بیش‌ترین آهنگ برهم‌کنش ثبت شده به وسیله‌ی آشکارساز برای زاویه‌ی ۹۰ درجه می‌باشد که خود گویای جهت‌دار بودن آشکارساز می‌باشد. در این حالت چشمه‌ی نوترون درست در راستای محور هندسی آشکارساز قرار دارد. هم‌چنین دلیل افزایش آهنگ برهم‌کنش در زاویه‌های ۳۰، ۴۵ و ۷۵ درجه زیاد بودن ضخامت ظاهری کندساز است که در مقابل نوترون قرار می‌گیرد. در حالت چشمه‌ی سطحی با توجه به قابلیت مش‌بندی در کد مونت کارلوی MCNPX چشمه در راستای عمود بر محور هندسی آشکارساز قرار گرفته و عمق نفوذ نوترون در شکل ۱۴ (a، b و c) برای سه انرژی فوق به صورت کیفی نشان داده شده است. در این حالت، نقش کادمیم هم به عنوان جاذب نوترون گرمایی مورد بررسی قرار گرفته است. البته لازم به ذکر است که این مورد برای دو حالت آشکارساز با لایه‌ای از کادمیم و بدون آن بین پلی‌اتیلن داخلی و خارجی محاسبه شده است. در شکل ۱۴ (a، b و c) مشاهده می‌شود که با قرار گرفتن کادمیم بین پلی‌اتیلن داخلی و خارجی آهنگ برهم‌کنش نوترون در پلی‌اتیلن داخلی کاهش یافته است. البته این موضوع برای انرژی‌های ۲٫۵ و ۵ MeV نسبت به انرژی ۱۹ MeV بیش‌تر رعایت شده است. به عبارت دیگر با افزایش انرژی نوترون ضخامت بیش‌تری از پلی‌اتیلن خارجی برای کندسازی نوترون‌ها و جذب آن توسط کادمیم مورد نیاز است.



شکل ۱۳. پاسخ زاویه‌ای شمارگر طراحی شده.



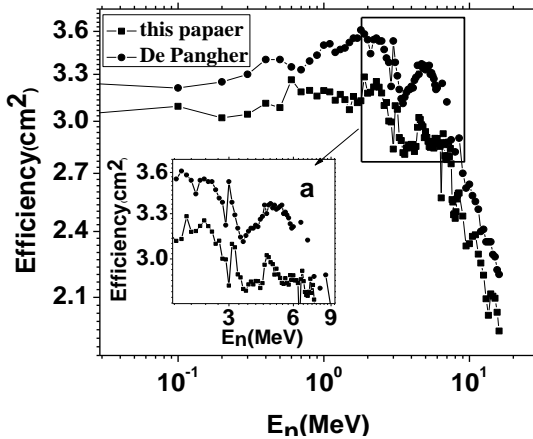
شکل ۱۱. تغییر اختلاف بین بیش‌ترین و کم‌ترین بازده آشکارساز با انرژی و تعیین پهنای بهینه‌ی شمار.



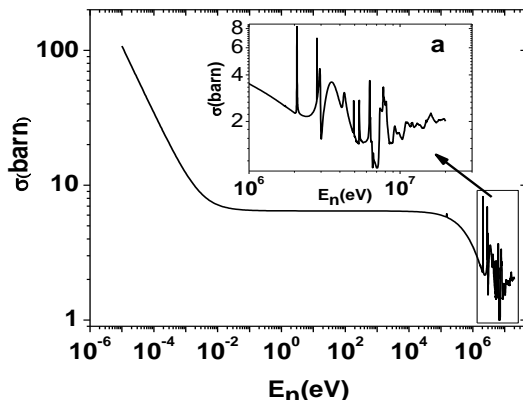
شکل ۱۲. تغییر بازده شمارگر با انرژی برای پلی‌اتیلن (داخلی و خارجی) با و بدون شمار.

۳. پاسخ جهت‌دار آشکارساز طویل طراحی شده

با تکمیل شدن طراحی آشکارساز طویل، پاسخ جهت‌دار آن برای سه انرژی ۲٫۵، ۵ و ۱۹ MeV محاسبه شد. این کار به دو صورت کمی و کیفی به ترتیب با چشمه‌های نقطه‌ای و سطحی انجام شد. در حالت چشمه‌ی نقطه‌ای چشمه در زوایای مختلف نسبت به محور هندسی شمارگر طویل در اطراف آن قرار گرفته و آهنگ برهم‌کنش در شمارگر BF₃ محاسبه شد که منحنی آن



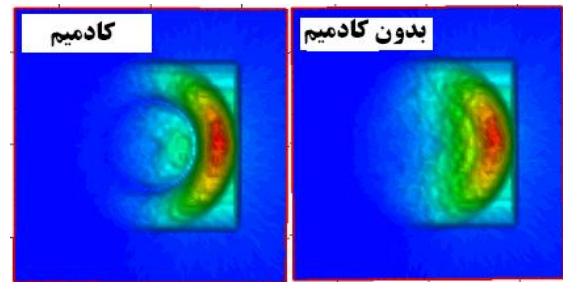
شکل ۱۵. افت و خیزها در بازده آشکارساز طولی.



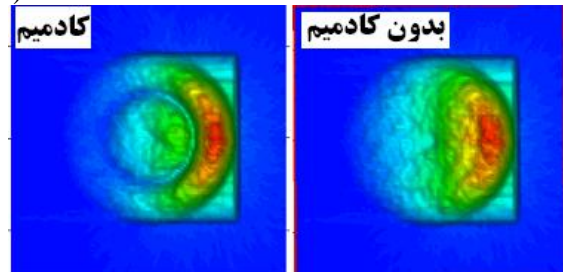
شکل ۱۶. سطح مقطع کربن (بر گرفته از کد ganis 2003).

۵. نتیجه گیری

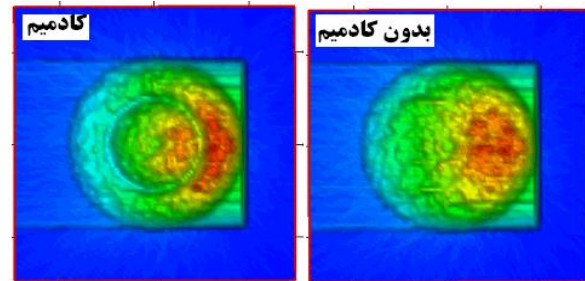
با وجود ساخت آشکارسازهای طولی در کشورهای مختلف و ارزیابی مقالات متعدد در خصوص کالیبراسیون آن‌ها در سال‌های اخیر، نحوه‌ی تعیین ابعاد بهینه‌ی آن و منحنی پاسخ جهت‌دار آن در هیچ مقاله‌ای گزارش نشده است. چگونگی تعیین ابعاد بهینه‌ی آشکارساز و منحنی پاسخ جهت‌دار آن در این پژوهش گزارش شده است و علاوه بر طراحی آشکارساز طولی، دانش فنی برای طراحی و ساخت آن فراهم شده است. طبق محاسبات انجام شده در این مقاله، در صورت استفاده از پلی اتیلن به عنوان کندساز و برای نوترون‌های فرودی با انرژی بیشینه‌ی ۱۹ MeV، ضخامت کندساز داخل و بیرون آشکارساز هر کدام ۸ cm و عمق بهینه‌ی شیار داخل پلی اتیلن داخلی ۱۰ cm می‌باشد. شیار ایجاد شده در پلی اتیلن داخلی با ابعاد معین احتمال آشکارسازی نوترون‌های با انرژی کم‌تر از ۲ MeV را افزایش داده و منحنی بازده آشکارساز



(a)



(b)



(c)

شکل ۱۴. عمق نفوذ نوترون در کندساز خارجی و تأثیر آن بر پاسخ جهت‌دار آشکارساز؛ (a) انرژی ۲٫۵ MeV، (b) انرژی ۵ MeV و (c) انرژی ۱۹ MeV.

۴. مقایسه‌ی نتایج به دست آمده با نتایج دیگران

نتایج به دست آمده برای بازده شمارگر طولی طراحی شده و شمارگر طولی ساخته شده توسط دی پنقر^(۵) نشان می‌دهد که بازده دو آشکارساز از نظر کیفی هم‌خوانی خوبی با هم دارند (شکل ۱۵). هم‌چنین همان‌طور که در شکل ۱۶ مشاهده می‌شود افت و خیزهای هر دو منحنی ناشی از ناحیه‌ی تشدید در سطح مقطع کربن موجود در ماده‌ی کندساز می‌باشد [۹]. منحنی‌های a در دو شکل ۱۵ و ۱۶ گویای این مطلب است. لازم به ذکر است با توجه به شکل ۹ بازده آشکارساز طولی طراحی شده در این مقاله تا انرژی ۱۰۰ MeV برای اولین بار محاسبه شده است. بنابراین با توجه به ابعاد بهینه شده‌ی این آشکارساز به وسیله‌ی کد مونت کارلو منحنی پاسخ آن و مقایسه‌ی آن با نتایج دیگران، این دستگاه می‌تواند به عنوان دستگاه مرجع در اندازه‌گیری شار نوترون و پایش در برابر نوترون مورد استفاده قرار گیرد.



References:

1. G.F. Knoll, "Radiation detection and Measurement," Wiley, New York (2000).
2. H. Tagziria, D.J. Thomas, Nucl. Instrum. And Metho. A452, 470-483 (2000).
3. Calibration and Measurement Capabilities, Ionizing Radiation, Germany, PTB (2005).
4. Calibration and Measurement Capabilities, Ionizing Radiation, Japan, NMIJ (2008).
5. ISO8529-2: reference neutron radiation-part2-calibration fundamentals of radiation protection devices related to the basic quantities characterizing the radiation field (2000).
6. Calibration and Measurement Capabilities, Ionizing Radiation, Korea, KRISS (2005).
7. Yuri Gledenov. Nucl. Sci & Tech. 2, 342-345 (2002).
8. D.S. Pappas, R.J. Furnstahl, "Studies of neutron emission during the start-up phase of Alcator C Tokamak," Plasma focus center. MA 02139 (1983).
9. N.J. Roberts, H. Tagziria. Determination of the effective centers of the NPL long counter. DQL RN004 NPL REPORT (2004).
10. D.R. Slaughter, D.W. Rueppel, Nucl. Instrum. and Metho. 145, 315-320 (1977).
11. MCNPXTM 2.4.0: Monte Carlo N-Particle Transport Code system for multiparticle and high energy applications. Oak Ridge National Laboratory. RADIATION SAFETY INFORMATION COMPUTATIONAL CENTER (2000).
12. ISO8529-1: reference neutron radiation-part1-reference neutron radiation-part1-characteristics and method of Production (2000).
13. H. Tagziria and D.J. Thomas, Re-calibration and Monte Carlo modeling of the NPL long counter. NPL REPORT CIRM 19 (1998).

در این ناحیه از انرژی نوترون، یکنواخت تر شده است. برای تعیین پاسخ جهت‌دار تا انرژی ۱۹ MeV، ضخامت حدود ۸ cm برای پلی‌اتیلن خارجی کافی است. در صورت افزایش انرژی نوترون، به ضخامت‌های بیش‌تری به ویژه برای تعیین پاسخ جهت‌دار نیاز است. علاوه بر این، بازده آشکارساز طراحی شده، در زاویه‌ی ۹۰ درجه بیشینه است که جهت‌دار بودن پاسخ آن را به اثبات می‌رساند. لازم به ذکر است که هر چند که بازه‌ی انرژی نوترون در این مقاله ۱۰ keV تا ۲۰ MeV در نظر گرفته شده است و ابعاد بهینه‌ی کندساز برای این بازه انرژی تعیین گردیده است، منحنی بازده برای انرژی‌های بالای ۲۰ MeV برای اولین بار محاسبه شده است.

پی‌نوشت‌ها:

۱. Hanson
۲. Mc Kibben
۳. در کد مونت کارلوی MCNP در ویرایش‌های مختلف، از تالی به عنوان خروجی مقدار خواسته شده استفاده می‌شود. در اینجا F۴ خروجی آهنک برهم‌کنش انجام شده در شمارگر FB_۳ می‌باشد. لازم به ذکر است که واکنش انجام شده در شمارگر BF_۳ همان واکنش (n,α) است.
۴. Shadow Cone
۵. De Pangher