



بررسی پارامترهای موثر بر سامانه هدایتگر نوترونی با استفاده از چشمه نوترونی 241 Am – Be

طیب فرد، اسماعیل^(۱) - شایسته، محسن^(۱) - رضوی نژاد، روح اله^(۱) - عشقی، مهدی^(۱) - کشیری، کامران^(۱)

دانشگاه جامع امام حسین (ع) ، دانشکده علوم پایه ، مرکز علم و فناوری فیزیک

چکیده:

آشکارسازی نوترون‌ها و تمرکز آنها روی نمونه هدف به منظور دستیابی به چگالی شار بالای نوترون و وضوح تصویر مستلزم به کارگیری سامانه هدایت نوترونی است که بتواند نوترون‌ها را روی هدف مورد نظر متمرکز کند. هدف این مقاله بررسی تاثیر برخی از پارامترهای هندسی بر هدایتگر نوترونی موجود در آزمایشگاه با استفاده از کد *Mcstas* می باشد. در این مقاله از یک چشمه نوترونی $^{241}\text{Am-Be}$ (با محدوده طول موج بین $1/2$ تا $1/8$ آنگستروم) با فعالیت حدود ۵ کوری و شدت $1.3 \times 10^7 \frac{n}{s}$ که در داخل کپسولی از جنس استیل به قطر $3/3$ و طول ۱۰ سانتی متر قرار گرفته استفاده شده است. هدایتگر مورد استفاده برای این کار، یک هدایتگر خطی با قطر ۹ و طول ۴۳ سانتی متر می باشد
کلمات کلیدی: آشکارسازی نوترون، هدایتگر نوترونی، شار نوترون

مقدمه :

آشکارسازی نوترون و تمرکز نوترون‌ها بر روی نمونه‌های هدف به منظور دستیابی به چگالی شار بالای شار نوترون با شار و انرژی دلخواه و همچنین وضوح تصویر مستلزم به کارگیری سامانه هدایت نوترونی است که بتواند نوترون‌ها را روی هدف مورد نظر متمرکز کند [1]. در دهه های اخیر کار با سامانه هدایت نوترونی به دلیل کاربردهای فراوان آن افزایش یافته است [2,3]. برای افزایش شار نوترون روی نمونه هدف از سوپر آینه های نوترونی به عنوان بازتاب دهنده نوترون در هدایتگرهای بیضوی، سهموی و پارابولیک با استفاده از کدهای شبیه سازی *Mcstas* و *Vitess* استفاده شده است [4]. از نیکل و تیتانیوم به عنوان ماده معمول بازتاب دهنده نوترون و مواد دیگری مانند بریلیوم و الماس استفاده شده است بازتاب دهنده‌ها نقش تعیین کننده‌ای در شار خروجی موازی ساز دارند [5]. تمامی چشمه‌های نوترونی، نوترون‌ها با انرژی اولیه بالا (در مقیاس Mev) تولید می‌شوند. در برخی کاربردهای رادیوگرافی نوترون [6]، به علت ضخامت نمونه، شار بالایی برای به دست آوردن تصویر با کیفیت مورد نیاز است. اما نمونه‌های با لایه نازک به وسیله نوترون‌های سرد مورد آزمون قرار می‌گیرند نمونه به کار گرفته شده در این تحقیق یک تک کریستال با ضخامت یک سانتی متر می باشد.



کیفیت تصویر در رادیوگرافی نوترون تا حد زیادی به موازی ساز وابسته است. موازی ساز به عنوان شکل دهنده باریکه عمل می‌کند و تعیین کننده‌ی خواص هندسی باریکه و در صورت لزوم ممکن است حاوی فیلترهای برای اصلاح طیف نوترونی (کاهش شار گاما) باشد.

روش کار :

در این مقاله از یک چشمه نوترونی $^{241}\text{Am-Be}$ با فعالیت حدود ۵ کوری و شدت $1.3 \times 10^7 \frac{n}{s}$ که در داخل کپسولی از جنس استیل به قطر $3/3$ و طول ۱۰ سانتی متر (با محدوده طول موج بین $1/2$ تا $1/8$ آنگستروم) قرار گرفته استفاده شده است. لازم به ذکر است که در این مقاله محدوده انرژی نوترون‌ها از نوترون‌های سرد تا نوترون‌های حرارتی در نظر گرفته شده است. واکنش تولید نوترون از رابطه ۱ بدست می‌آید.

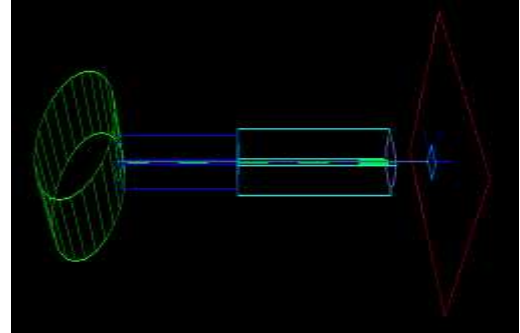
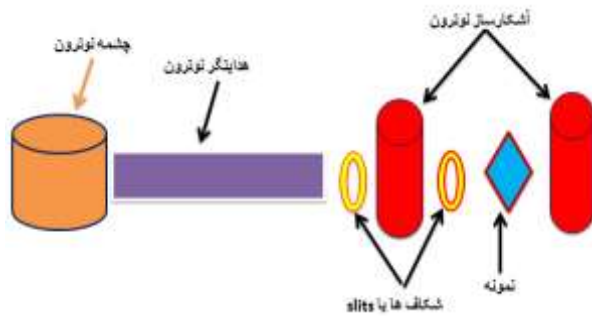


Q این واکنش برابر با $5/71$ مگا الکترون ولت می‌باشد. که در آن پودر بریلیوم با گسیلنده آلفا ترکیب و منجر به تولید نوترون می‌شود. به طور متوسط به ازای هر 10^6 ذره آلفا حدود ۷۰ تا ۸۲ ذره نوترون [7,8] یا به عبارتی به ازای هر کوری از فعالیت چشمه آلفا به طور متوسط حدود $2.664 \times 10^6 \frac{n}{s.Ci}$ نوترون تولید می‌شود [8-11]. بهره نوترونی چشمه $^{241}\text{Am-Be}$ به کار گرفته شده در این مقاله با فعالیت 5Ci از رابطه ۲ بدست می‌آید

$$5\text{Ci} \times \frac{3.7 \times 10^{10} \text{Bq}}{1\text{Ci}} \times \frac{1 \frac{\alpha}{s}}{1\text{Bq}} \times \frac{72n}{10^6\alpha} = 1.3 \times 10^7 n \quad (2)$$

چشمه $241 \text{ Am} - \text{Be}$ نوترون‌هایی با انرژی بین صفر تا $11/3$ مگا الکترون ولت گسیل می‌کند [8,12] .. هدایتگر در فاصله ۱ سانتی متری از چشمه قرار گرفته است. نمونه در فاصله ۴ سانتی متری از هدایتگر قرار داده شده و دوتا شکاف یکسان در فواصل ۱ و ۳ سانتی متری از هدایتگر قرار داده شده است. دو آشکارساز در فاصله ۲ و ۱۱ سانتی متری از هدایتگر قرار داده شده است یکی برای شمارش نوترون‌ها از خروجی هدایتگر و دیگری برای شمارش نوترون‌ها روی نمونه (تک کریستال تخت)

شمایی کلی از مجموعه چشمه، هدایتگر، نمونه، شکاف و آشکارساز به کار گرفته شده در این مقاله در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱. مجموعه چشمه، هدایتگر، شکاف نمونه و آشکارساز می‌باشد.

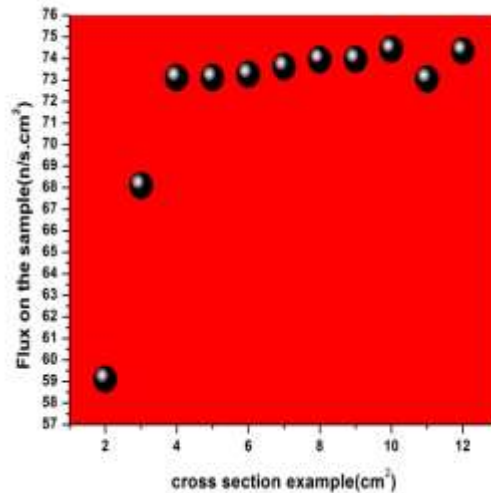
هدایتگر مورد استفاده برای این کار، یک هدایتگر خطی با قطر ۹ و طول ۴۳ سانتی متر می‌باشد. در خروجی هدایتگر از دوتا شکاف دایره‌ای برای محدود کردن نوترون‌های خروجی استفاده شده است. در شبیه سازی با این نرم افزار نوترون‌های که به بدنه شکاف برخورد می‌کند و در شعاع شکاف نیستند کنار گذاشته می‌شوند. نمونه به کار گرفته شده برای این کار نمونه تک کریستال تخت با ابعاد $10 \times 10 \times 0.01$ سانتی متر بوده است.

کد محاسباتی Mcstas

McStas یک کد نرم‌افزاری سریع و همه جانبه برای شبیه‌سازی و ردیابی نوترون است. که بر مبنای meta-language مخصوصی در راستای شبیه‌سازی نوترون طراحی و بر اساس روش مونت کارلو عمل می‌کند. کد McStas در ISO-C با ابزارهای مختلف بر اساس Perl و Python نوشته شده و به صورت رایگان از وب سایت McStas [۱۳] قابل دسترسی است. در این کد هندسه شبیه سازی (موازی ساز، آشکارسازها، نمونه، و شکاف ها) بر اساس مختصات چشمه که در مبدا قرار گرفته طراحی و شبیه سازی شده است.

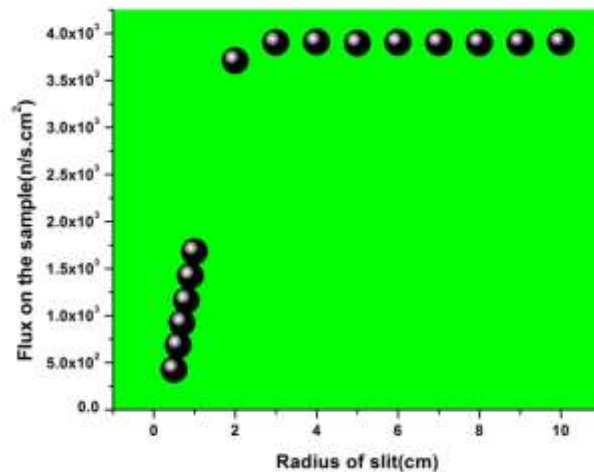
۱. نتایج کار

در این مقاله تاثیر پارامترهای مختلف از قبیل ابعاد نمونه، شعاع شکاف، و نوع ماده بازتاب دهنده مورد بررسی تجزیه و تحلیل قرار گرفته و نتایج آن به ترتیب در شکل های شماره ۲، ۳، ۴ و ۵ آمده است. در ابتدا به بررسی تاثیر ابعاد نمونه بر روی شار نوترونی به دست آمده پرداخته شده و نتایج آن در شکل ۱ نشان داده شده است همان طور که شکل ۱ نشان می‌دهد در ابتدا با افزایش ابعاد نمونه شار نوترون روی نمونه افزایش می‌یابد و در ابعاد حدود ۴ سانتی متر به بالا به آرامی تغییر می‌کند که ابعاد ۱۰ سانتی متر به عنوان ابعاد بهینه برای این نمونه با هدایتگر و چشمه ذکر شده انتخاب گردید.



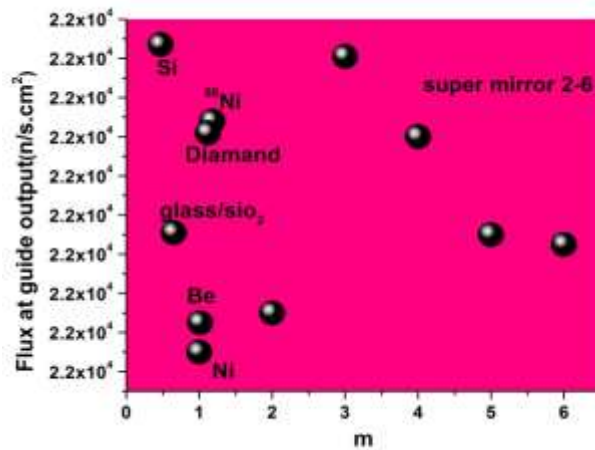
شکل ۲. تغییرات شار نوترون روی نمونه بر حسب ابعاد نمونه (تک کریستال تخت)

در مرحله بعد به بررسی تغییرات شار روی نمونه بر حسب شعاع شکاف پرداخته شده و نتایج در شکل ۳ نشان داده شده است همان طور که شکل ۳ نشان می دهد در ابتدا با افزایش شعاع شکاف شار نوترون روی نمونه افزایش می یابد و در شعاع حدود ۳ سانتی متر ثابت می شود. که می تواند به عنوان شعاع بهینه برای این تحقیق انتخاب گردد.

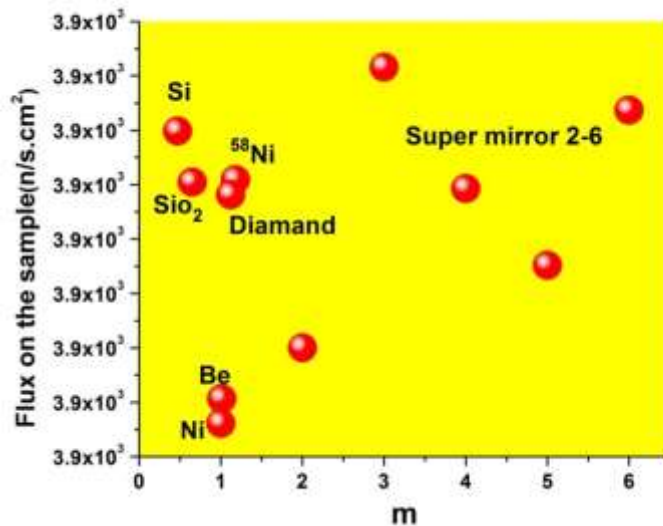


شکل ۳. تغییرات شار نوترون روی نمونه را بر حسب شعاع شکاف نشان می دهد.

در مرحله آخر به تغییرات شار نوترون بر حسب ضریب بازتاب پرداخته شد و نتایج در شکل‌های ۴ و ۵ آورده شده است. همان‌طور که در شکل‌های شماره ۴ و ۵ نشان داده شده است بیشترین شار در خروجی و نمونه مربوط به سیلیکون و سوپر آینه‌ها $m=3$ بوده است



شکل ۴. تغییرات شار خروجی هدایتگر بر حسب ضریب بازتاب مواد



شکل ۵. تغییرات شار خروجی روی نمونه بر حسب ضریب بازتاب مواد



بحث و نتیجه گیری:

هدف این مقاله این بوده که ابتدا با از شبیه سازی به مطالعه برخی از پارامترهای هندسی موثر بر هدایتگر نوترونی موجود با ابعاد مشخص و چشمه موجود پردازد و با انتخاب بارتاب دهنده‌های مناسب بازتاب دهنده ی را انتخاب کند که هم از نظر اقتصادی مقرون به صرفه باشد و هم باعث افزایش شار روی نمونه دلخواه شود. و سرانجام در مقالات آتی به مقایسه بین مقادیر شبیه سازی و تجربی پردازد. همان طور که در شکل‌های شماره ۵ و ۶ نشان داده شده است بیشترین شار در خروجی هدایتگر و روی نمونه مربوط به سیلیکون و سوپر آینه ها با ضریب $m=3$ بوده است و این مواد بازتاب دهنده های خوبی برای نوترون های حرارتی و فوق حرارتی با چشمه نوترونی و هدایتگر به کار رفته در این تحقیق می باشند. در تمامی موارد ذکر شده خطا اندازه گیری کمتر از ۵ درصد می باشد.

مراجع:

- [1] Kaspar Hewitt, Klaus Lieutenant, Ken H. Andersen, Kim Lefmann Systematic performance study of common neutron guide geometries, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 696 (2012) 75–84
- [2] M. Janoschek, P. B. Oni, M. Braden Optimization of elliptic neutron guides for triple-axis spectroscopy Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 613 (2010) 119–126
- [3] L. D. Cussen, D. Nekrassov, C. Zandler, K. Lieutenant Multiple reflections in elliptic neutron guide tubes Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 705 (2013) 121–131
- [4] Christian Schanzer, Peter B. Oni, Uwe Filges, Thomas Hils Advanced geometries for ballistic neutron guides Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 529 (2004) 63–68
- [5] C. P. Cooper-Jensen, A. Vorobiev, E. Klinkby, V. Kapaklis, H. Wilkens, D. Rats, B. Hjörvarsson, O. Kirstein, P. M. Bentley "m=1" coatings for neutron guides Journal of Physics: Conference Series 528 (2014) 012005
- [6] A. Movafeghi¹, M. H. Choopan-dastjerdi¹, B. Rokrok¹, E. Yahaghi², Eissa Neghahdarzadeh², A. Keshavarz-Khani³ and A. Zia-abadi Neutron radiography for Evaluation of Designs and Defects of Cultural Vase of Samiran at Tehran Research Reactor Journal of Radiation and Nuclear Technology / Vol. 04 / No. 04 / Winter 2018
- [7] O. J. C. RUNNALLS AND R. R. BOUCHER NEUTRON YIELDS FROM ACTINIDE-BERYLLIUM ALLOYS Canadian Journal of Physics 34(9):949-958 · February 2011
- [8] K. W. GEIGER and L. VAN DER ZWAN RADIOACTIVE NEUTRON SOURCE SPECTRA FROM $g\text{Be}(a,n)$ CROSS SECTION DATA NUCLEAR INSTRUMENTS AND METHODS 131 (1975) 315-321
- [10] H. Basiri, H. Tavakoli-Anbaran Investigation of some possible changes in Am-Be neutron source configuration in order to increase the thermal neutron flux using Monte Carlo code IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 956 (2018) 012010
- [11] T. Kakavand¹, H. Ghafourian, M. Haji-Shafeieha Technical innovation Designing an Am-Be miniature neutron source Iran. J. Radiat. Res., 2007; 5 (1): 41-44



بیست و ششمین کنفرانس هسته‌ای ایران

۸۰۷ اسفندماه ۱۳۹۸ - دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی - تهران



[12] By O.J.C.RUNNALLS AND R.R. BOUCHER NEUTRON YIELDS FROM ACTINIDE-BERYLLIUM ALLOYS1

[13] <http://www.mctas.org>