

طراحی و ساخت سیستم اسپکترومتر گروی (Bonner Sphere) همراه با سوسوزن Li-Glass

سعید حمیدی*^۱، مریم خدام^۱، غلامرضا رئیس علی^۲

۱- دانشگاه اراک-دانشکده علوم پایه-گروه فیزیک

۲- سازمان انرژی اتمی، پژوهشگاه علوم و فنون هسته ای، پژوهشکده کاربرد پرتوها

چکیده

یکی از روشهای اسپکترومتری نوترون، استفاده از سیستم اسپکترومتر چند کروی بانر می باشد. این اسپکترومتر به همراه آشکارسازهای مختلف از جمله ${}^3\text{He}$ ، BF_3 ، $\text{Li}(\text{Eu})$ و $\text{Li-Glass}(\text{Ce})$ به کار گرفته می شود. این پروژه شامل طراحی و ساخت پنج کره ی پلی اتیلنی با چگالی 0.92 g/cm^3 ، با قطرهای ۳ و ۵ و ۸ و ۱۰ و ۱۲ اینچ، به همراه یک دکتور نوترون حرارتی فعال از نوع Li-Glass می باشد، که در مرکز کره ها جای می گیرد. ماتریس پاسخ نوترونی این سیستم با کاربرد کد MCNP4C محاسبه شده و محدوده ی انرژی کاربردی از نوترون های حرارتی تا 20 MeV برای پرتوهای تک انرژی با چشمه ی استاندارد ${}^{241}\text{Am-Be}$ می باشد.

کلید واژه ها: سیستم کره های بانر؛ طیف سنجی نوترون؛ ماتریس پاسخ؛ دکتور Li-Glass

مقدمه

سیستم بانر کروی بطور گسترده در شیوه های حفاظت پرتو برای تعیین توزیع طیف نوترون در اطراف شتابدهنده های ذرات، تحقیق روی نوترون های موجود در پرتو های کیهانی، تعیین طیف چشمه های مجهول و دیگر کاربردهای هسته ای استفاده می شود. این سیستم به دلیل سادگی، قابلیت حمل و نقل، داشتن پاسخ همسانگرد، پوشش دادن پهنه ی وسیعی از انرژی و قابلیت بازیابی و تفسیر داده ها، به صورت چند کروی برای اسپکترومتری نوترون بسیار مفید می باشد. لازم به ذکر است، چنانچه تنها یک سایز از کره ها استفاده شود، این وسیله می تواند برای دوزیمتری نوترون ها مناسب باشد. در این پروژه سعی بر این بوده است که با استفاده از بلور سوسوزنی از جنس کریستال شیشه ای لیتیوم Li-Glass ، در دکتور، به همراه پنج کره ی کندکننده با قطرهای متفاوت، از جنس پلی اتیلن، طیف چشمه ی نوترونی ${}^{241}\text{Am-Be}$ و ${}^{252}\text{Cf}$ مورد اندازه گیری قرار گیرد. اینکار توسط شبیه سازی با برنامه ی مونت کارلو و استفاده از کد MCNP4C انجام شده و ماتریس پاسخ دکتور ثبت شده است. این ماتریس پاسخ به صورت یک جدول درجه بندی از آهنگ شمارش

بر حسب تابعی از انرژی نوترون و قطر کرهها بدست می آید، و سپس برای تعیین انرژی و طیف چشمه‌ی مجهول نوترون بکار می‌رود.

مشخصات کلی سیستم

این سیستم شامل یک دتکتور (بدون کند کننده)، پنج کره‌ی پلی اتیلنی به قطرهای ۳ و ۵ و ۸ و ۱۰ و ۱۲ اینچ، به عنوان کند کننده می‌باشد. پلی اتیلن $(CH_2)_n$ به دلیل دارا بودن هیدروژن، و سطح مقطع بالای هیدروژن برای پراکندگی الاستیک نوترون، قابلیت شکل دهی آن به صورت کره‌های چگال، و سبکی و قابلیت حمل و نقل آسان، می‌تواند انتخاب مناسبی برای ساخت کره‌های کند کننده باشد. دتکتور بکار رفته با این سیستم یک آشکار ساز از نوع سوسوزن است که شامل پوسته آلومینیومی، یک قطعه سوسوزن Li -Glass فعال شده با سریوم، یک قطعه نوربر از جنس Plexiglass و سیستم تکثیر کننده فوتونی می‌باشد (شکل ۲). چنین ترکیب بندی امکان بدست آوردن اطلاعات طیفی از نوترون‌های حرارتی تا ۲۰ مگا الکترون ولت را فراهم می‌کند [۱].



شکل ۱: مجموعه‌ی کره‌های ساخته شده در این پروژه، به عنوان کند کننده‌های سیستم اسپکترومتری نوترون به همراه دتکتور Li-Glass

در این سیستم از یک استوانه به قطر ۵ و ارتفاع ۲۰ میلی متر از بلور لیتیوم (6Li ۹۵ درصد) فعال شده با سریوم به عنوان سوسوزن استفاده شده است، که قابلیت آشکارسازی نوترون‌های حرارتی از طریق برهم‌کنش ${}^6Li(n,\alpha){}^3H$ را دارا می‌باشد. در سیستم بانر، انرژی نوترون بر اساس اختلاف پاسخ برای کره‌هایی با ابعاد مختلف تعیین می‌شود. برای نوترون‌های با انرژی معین، اندازه‌ی کره بر میزان کند شدن نوترون اثر می‌گذارد، که این خود پاسخ آشکار ساز سوسوزن لیتیومی را تحت تاثیر قرار می‌دهد [۲].



شکل ۲: تصویر قطعات دتکتور ساخته شده در این پروژه، برای آشکارسازی نوترونهای حرارتی

فرآیند محاسبه‌ی شار نوترون

در فرآیند شبیه سازی، برنامه‌ی استفاده شده در محاسبات، کد MCNP4C بوده و روش استفاده شده برای کاهش واریانس و مینیمم کردن خطاها، هندسه‌ی انشعاب و رولت روسی می‌باشد. هندسه‌ی شبیه سازی بصورتی است که کره‌ها در معرض یک دسته پرتو نوترونی قرار می‌گیرند، که موازی با محور دتکتور است. علاوه بر این، فرض بر این است که محیط اطراف سیستم خلأ می‌باشد.

کمیت‌های مورد محاسبه

کمیت‌های مورد محاسبه در این برنامه:

- ۱) شار نوترون در داخل سوسوزن
 - ۲) تعداد برهم کنش‌های (n, α) به ازای هر نوترون ورودی است.
- پاسخ‌ها همه بصورت تابعی از انرژی نوترون محاسبه شده‌اند. تالی‌های بکار رفته برای شمارش نوترون‌ها F4 بوده و دستور بکار رفته برای شمارش تعداد برهم‌کنش‌ها FMn می‌باشد.

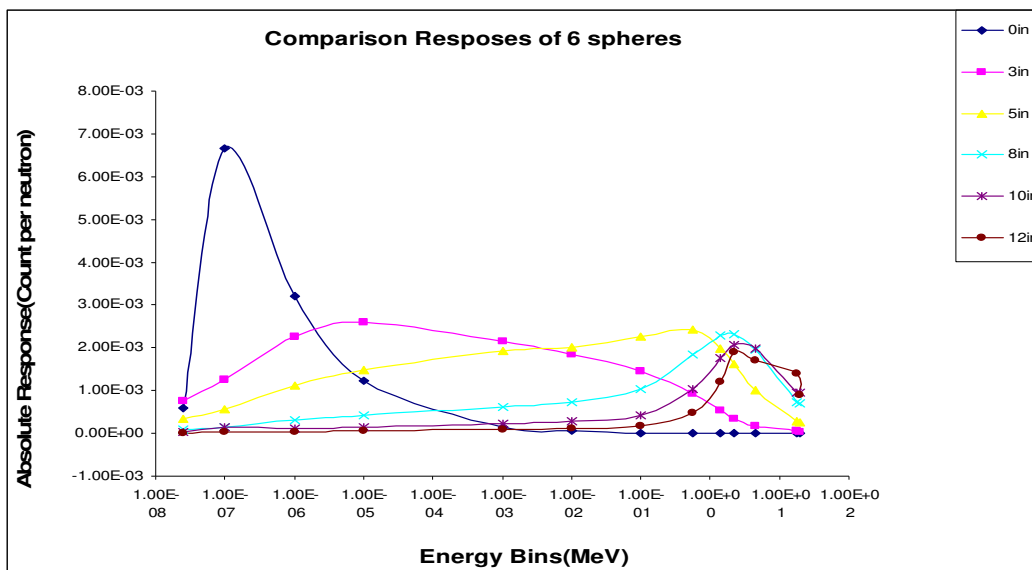
توزیع انرژی چشمه

محدوده‌ی انرژی مورد نظر در این کار، ۱۳ گروه مختلف انرژی، از حرارتی تا ۲۰ MeV برای پرتوهای نوترونی تک انرژی و نیز طیف متعلق به چشمه‌ی $^{241}\text{Am-Be}$ می‌باشد که از مرجع [۳] بدست آمده است.

نتایج شبیه سازی، تابع پاسخ سیستم

تابع پاسخ هر کره ی نوعی، از شبیه سازی مونت کارلو نتیجه می شود و عبارت است از شمارش های آشکارساز بر حسب انرژی نوترون های فرودی بر کره ها، که در هر انرژی نوترون ورودی، یک ماکزیمم نشان می دهد. این پیک انرژی بطور یکتایی مرتبط با قطر کره هاست، و با افزایش قطر به سمت انرژی های بالاتر حرکت می کند. توابع پاسخ کره های مختلف در نمودار شکل ۳، برای چشمه های تک انرژی مقایسه شده اند. همانطور که ملاحظه می شود، این توابع پاسخ برای کره هایی با قطر بزرگتر از ۸ اینچ، تشابهات و روی هم افتادگی هایی را نشان می دهد. که این امر از دو دلیل عمده نشأت می گیرد:

- ۱- تفکیک انرژی سیستم BSS ضعیف است.
- ۲- تعداد کمی از کره ها برای تولید همه ی اطلاعات طیف سنجی کافی هستند. معمولاً تعداد ۵ یا ۶ کره با قطرهای مناسب، برای تعیین طیف نوترون از حرارتی تا ۲۰ MeV کفایت می کنند. استفاده از کره های بیشتر باعث تداخل و روی هم افتادگی بیشتر توابع پاسخ می شود [۴].



شکل ۳: نمودار مقایسه ی توابع پاسخ ۷ کره در حضور چشمه های تک انرژی Am-Be

ماتریس پاسخ سیستم

هر سیستم توسط ماتریس پاسخ مشخص می‌شود، که عبارتست از یک دسته از توابع پاسخ کره‌های مختلف، که برای پرتوهای نوترونی تک انرژی، با انرژی‌های مختلف محاسبه شده‌اند. ماتریس پاسخ بدست آمده از شبیه سازی دکتور برهنه و ۵ کره به ابعاد ۳ و ۵ و ۸ و ۱۰ و ۱۲ اینچ، در شکل ۴، دیده می‌شود.

Energy bin	0in	3in	5in	8in	10in	12in
2.50E-08	5.89E-04	7.42E-04	3.48E-04	9.08E-05	3.55E-05	1.22E-05
1.00E-07	6.67E-03	1.27E-03	5.61E-04	1.50E-04	1.56E-04	2.14E-05
1.00E-06	3.22E-03	2.27E-03	1.11E-03	3.02E-04	1.06E-04	3.90E-05
1.00E-05	1.24E-03	2.60E-03	1.49E-03	4.20E-04	1.56E-04	5.32E-05
1.00E-03	1.48E-04	2.15E-03	1.92E-03	6.08E-04	2.37E-04	7.96E-05
1.00E-02	4.84E-05	1.84E-03	2.00E-03	7.20E-04	2.78E-04	1.04E-04
1.00E-01	1.61E-05	1.46E-03	2.25E-03	1.04E-03	4.20E-04	1.62E-04
5.60E-01	6.00E-06	9.28E-04	2.42E-03	1.84E-03	1.02E-03	4.80E-04
1.40E+00	4.77E-06	5.34E-04	1.99E-03	2.30E-03	1.75E-03	1.21E-03
2.24E+00	4.49E-06	3.48E-04	1.62E-03	2.31E-03	2.07E-03	1.89E-03
4.46E+00	2.14E-06	1.78E-04	9.93E-04	1.95E-03	1.99E-03	1.70E-03
1.78E+01	1.56E-07	4.67E-05	2.82E-04	7.39E-04	9.49E-04	1.40E-03
2.00E+01	9.49E-08	3.66E-05	2.55E-04	6.86E-04	9.54E-04	8.89E-04

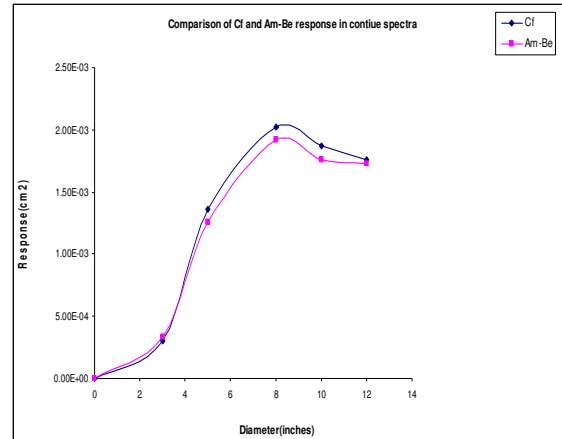
شکل ۴: ماتریس پاسخ سیستم BSS، در حضور چشمه‌های تک انرژی

مقایسه‌ی پاسخ دکتور برای چشمه‌های $^{241}\text{Am-Be}$ و ^{252}Cf

پاسخ سیستم BSS در معرض چشمه‌های غیر تک انرژی $^{241}\text{Am-Be}$ و ^{252}Cf نیز توسط شبیه سازی به دست آمده و نتایج در جدول ۱، و شکل ۴، به صورت پاسخ بر حسب قطر کره‌ها مقایسه شده اند. مقایسه‌ی هر دو چشمه نشان می‌دهد که پاسخ یک کره‌ی معین با تعویض طیف نوترون تغییر می‌کند. شکل ۴، نشان می‌دهد که طیف چشمه‌ی ^{252}Cf برای کره‌های زیر ۱۰ اینچ پاسخ بزرگتری نسبت به طیف $^{241}\text{Am-Be}$ دارد. و این بدان معنی است که در محدوده‌ی انرژی معینی که نوترون، تحت عبور از ضخامت مشخصی از کند کننده حرارتی می‌شود، طیف ^{252}Cf گسترده تر از طیف $^{241}\text{Am-Be}$ می‌باشد.

جدول ۱: مقایسه‌ی پاسخ‌های دتکتور در معرض دو چشمه‌ی $^{241}\text{Am-Be}$ و ^{252}Cf

پاسخ در مقابل چشمه $^{241}\text{Am-Be}$	پاسخ در مقابل چشمه ^{252}Cf	قطر کره‌ها برحسب اینچ
$3/98 \times 10^{-6}$	$3/18 \times 10^{-6}$	۰
$3/32 \times 10^{-4}$	$3/02 \times 10^{-4}$	۳
$1/26 \times 10^{-3}$	$1/37 \times 10^{-3}$	۵
$1/92 \times 10^{-3}$	$2/02 \times 10^{-3}$	۸
$1/76 \times 10^{-3}$	$1/87 \times 10^{-3}$	۱۰
$1/73 \times 10^{-3}$	$1/76 \times 10^{-3}$	۱۲



شکل ۵: نمودار مقایسه‌ی پاسخ‌های دتکتور در معرض و چشمه‌ی ^{252}Cf و $^{241}\text{Am-Be}$

بحث و نتیجه‌گیری

به دست آوردن ماتریس پاسخ سیستم اسپکترومتر بانرکروی، به دلیل استفاده از آن برای یافتن طیف نوترونی هر چشمه‌ی دلخواه، بسیار حائز اهمیت است. بنابراین یکی از اهداف این پروژه، شبیه‌سازی و ساخت سیستم Bonner Sphere به منظور یافتن این ماتریس پاسخ و اندازه‌گیری تجربی طیف $^{241}\text{Am-Be}$ و ^{252}Cf می‌باشد و سپس بازیابی (Unfolding) پاسخ سیستم اسپکترومتری از اهداف بعدی این پروژه است، که در نهایت این سیستم را برای تعیین طیف انرژی یک چشمه‌ی مجهول قابل استفاده خواهد کرد.

فهرست مراجع

- [1] Cruzate, J.A. & Carelli, J.L. and Gregori, B.N. "BONNER SPHERE SPECTROMETER". Nuclear Regulatory Authority Argentina
- [2] Nicholas Tsoulfanidis. "MEASUREMENT AND DETECTION OF RADIATION". Second Edition. University of Missouri-Rolla. 579-580
- [3] International Standard ISO 8529. Reference neutron Radiation-Part 1: Characteristic and methods of productions. International Standard ISO 8529-1 (2001).
- [4] Sanjoy Mukhopadhyay^a, Harold R. McHugh^b "Portable gamma and thermal neutron detector using $^6\text{LiI}(\text{Eu})$ crystals". Remote Sensing Laboratory, P.O. Box 98521-8521.