

بازیابی طیف نوترون اندازه گیری شده توسط سیستم طیف سنجی کره های باتر در مقابل چشمه

های Am-Br و ^{252}Cf با کاربرد کد بازیابی BUNKI

بیگلر؛ فریبا^۱، حمیدی؛ سعید^۱، کاظمی موحد؛ علی اکبر^۲، خدام؛ مریم^۱، خباز؛ رحیم^۳

۱ دانشگاه اراک - دانشکده علوم - گروه فیزیک

۲ سازمان انرژی اتمی - حفاظت در برابر اشعه

۳ دانشگاه گلستان - دانشکده علوم - گروه فیزیک

چکیده

بیش از چهل سال است که سیستم طیف سنجی کره های باتر در زمینه طیف سنجی و دزیمتری مورد استفاده است. این اسپکترومترها به همراه آشکارسازهای مختلفی از جمله ^3He , Bf_3 , $\text{LiI}(\text{Eu})$ و $\text{Li-Glass}(\text{Ce})$ به کار گرفته می شوند. هدف از این کار بازیابی طیف نوترون حاصل از چشمه های Am-Be و ^{252}Cf موجود در سازمان انرژی اتمی می باشد که توسط سیستم کره های باتر همراه با آشکارساز لیتیوم شیشه ای، ساخته شده در دانشگاه اراک، اندازه گیری شده است. عملیات بازیابی طیف تجربی توسط کد بازیابی BUNKI با کاربرد ماتریس پاسخ محاسبه شده توسط کد شبیه سازی MCNP انجام شده است.

Unfolding of measured neutron spectra using Bonner Spheres spectrometer in front of Am-Be and ^{252}Cf sources using BUNKI unfolding code.

Biglar;Fariba¹, Hamidi;Saeid¹, Kazemi Movahed;Ali Akbar², Khoddam;Maryam¹, khabaz;Rahim³

1 Physics Institute, Department of sciences, University of Arak

2 Radiation Protections, Atomic energy organization of Iran

3 Physics Institute, Department of sciences, University of Golestan

Abstract

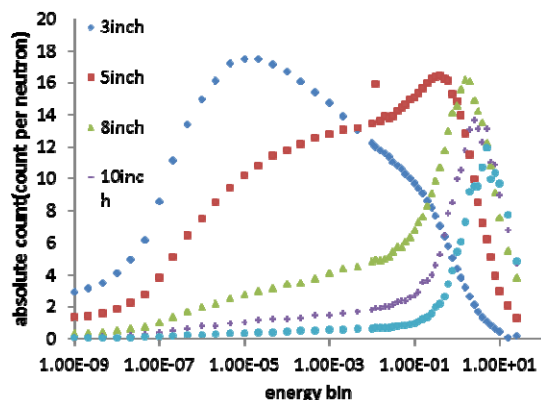
The Bonner sphere spectrometer has been widely applied for more than 40 years in the field of neutron dosimetry and spectrometry. This system applies with different detectors such as Bf_3 , ^3He , $\text{LiI}(\text{Eu})$ and $\text{Li-Glass}(\text{Ce})$. This work has done to unfolding of measured neutron spectra of Am-Be and ^{252}Cf sources in atomic energy organization of Iran. The neutron spectra measured by using Bonner spheres system with lithium crystal detector that fabricated in university of Arak. The unfolding process has done by BUNKI code with the response matrix calculated by MCNP simulation code.

PACS NO 29

سانتی متر مکعب به عنوان کند کننده و آشکارسازی متشکل از سوسوزنی از جنس کریستال لیتیوم Li-Glass به عنوان آشکارساز نوترون های حرارتی استفاده شده است که مجموعه این سیستم برای اولین بار در ایران در دانشگاه اراک، طراحی و ساخته شده و به منظور اندازه گیری طیف چشمه های Am-Be و ^{252}Cf موجود در سازمان انرژی اتمی ایران به کار رفته است.

مقدمه

سیستم بانر کروی به طور گسترده در شیوه های حفاظت پرتو برای تعیین طیف چشمه های مجهول، تعیین توزیع طیف نوترون در اطراف شتاب دهنده های ذرات، تحقیق در مورد نوترون های موجود در پرتوهای کیهانی، دزیمتری و دیگر کاربردهای هسته ای استفاده می شود. سیستم بانر ساخته شده در این پروژه شامل ۵ کره پلی اتیلنی با قطرهای ۳ و ۵ و ۸ و ۱۰ و ۱۲ اینچ با چگالی ۰/۹۲ گرم بر



شکل ۱: ماتریس پاسخ سیستم BSS برحسب شمارش برنوترون

فرایند کالیبراسیون سیستم:

برای استفاده عملی از سیستم طیف سنجی لازم است که ابتدا آن را در یک میدان نوترونی استاندارد مانند چشمه استاندارد Cf و یا Am-Be کالیبره کرد. فرایند کالیبراسیون وقتی قابل قبول است که قرائت های سیستم نسبت به تمام اثرات موثر تصحیح شود. این اثرات شامل پراکندگی از هوا، دیوارها، سقف و کف اتاق کالیبراسیون می باشد.

روش های زیادی برای اندازه گیری تصحیحات پراکندگی در کالیبراسیون مناسب دستگاه طیف سنج نوترون وجود دارد که می توان دو روش مخروط سایه و نیمه تجربی را نام برد. در این کار از هردو روش استفاده شده است. اندازه گیری ها در روش مخروط سایه در فاصله ی ۱۱۵ سانتی متری از چشمه، و در روش نیمه تجربی در فواصل مختلف بین ۷۰ تا ۲۰۰ سانتی متر از چشمه انجام شده است. نحوه ی چیدمان مخروط سایه و کره ۸ اینچی در مقابل چشمه در شکل ۲ نشان داده شده است.

در این کار ابتدا برای محاسبه ماتریس پاسخ سیستم از کد شبیه سازی MCNPX استفاده شده و ماتریس پاسخ به دست آمده پس از کالیبراسیون سیستم و محاسبه فاکتور کالیبراسیون به منظور تصحیح شمارش تجربی کره ها، برای بازیابی طیف اندازه گیری شده توسط کد بازیابی BUNKI استفاده شده است.

توصیف عمومی سیستم

این سیستم شامل ۵ کره ی کند کننده با قطرهای ذکر شده از جنس پلی اتیلن است که به عنوان کند کننده ی نوترون های سریع خارج شده از چشمه های نوترونی نظیر Am-Be و Cf استفاده می شوند. برای آشکارسازی نوترون های کند شده از یک آشکارساز از نوع سوسوزن شامل پوسته آلومینیومی، یک قطعه سوسوزن Li-Glass فعال شده با سریوم به شکل استوانه ای به طول ۲۴ میلی متر و قطر ۵ میلی متر که نسبت به نوترون های حرارتی حساس می باشد، یک قطعه نوربر از جنس plexyglass و سیستم تکثیر کننده ی فوتونی، استفاده شده است که در مرکز کره ها جای می گیرد. سوسوزن ذکر شده قابلیت آشکارسازی نوترون های حرارتی توسط برهم کنش ${}^6\text{Li}(n,\alpha){}^3\text{H}$ را دارا می باشد.

محاسبات شبیه سازی سیستم و تعیین ماتریس پاسخ

برای استفاده در فرایند بازیابی

معمولاً هر سیستم BSS توسط ماتریس پاسخ مشخص می شود که عبارت است از یک دسته از توابع پاسخ برای کره های مختلف که برای پرتوهای نوترونی موازی خارج شده از چشمه های تک انرژی و تک سوی نوترونی هم اندازه با سطح مقطع هر کره از محدوده ی حرارتی تا ۲۵/۱ مگا الکترون ولت محاسبه می شوند. این توابع پاسخ عبارتند از شمارش های آشکارساز مرکزی بر شار ورودی که تابعی از انرژی نوترون هاست. در این کار تمامی سطح مقطع های مواد مورد استفاده در شبیه سازی از کتابخانه ENDF/B-VI، و طیف مرجع گسسته ی چشمه های ذکر شده از مرجع معتبر ISO8529 استخراج شده اند.

جدول ۲: جدول کالیبراسیون سیستم BSS توسط چشمه ^{252}Cf

قطر (اینچ)	$C_i(\text{s}^{-1})$	$\Delta C_i(\%)$	$R_i^{252\text{Cf}}(\text{cm}^2)$	f_i
۳	۶۰/۹۵	۰/۲	۱/۱۴	۰/۳۱۷
۵	۱۱۳/۶۵	۰/۲	۱/۵۴	۰/۴۳۶
۸	۹۵/۴۶	۰/۰۸۶	۰/۸۰۴	۰/۷۰۲
۱۰	۹۰/۳۰	۰/۰۸۶	۰/۴۵۲	۱/۱۸
۱۲	۵۰/۱۵	۰/۰۸۶	۰/۲۴۹	۱/۱۹

بازیابی طیف با استفاده از کد BUNKI

پس از انجام هر طیف سنجی تعدادی شمارش اندازه گیری شده بر حسب انرژی وجود دارند که به عنوان داده های خام محسوب می شوند و به ندرت پاسخ مسئله ای را که هدف اندازه گیری است و در این جا همان تعیین طیف چشمه است را در بر میگیرند. در اغلب موارد محاسبه های بیشتر یا تحلیل داده ها ضروری است. یکی از این روش ها بازیابی داده هاست که توسط آن می توان شار انرژی چشمه را توسط تابعی که ماتریس پاسخ و شمارش های تجربی را به هم ربط می دهد، استخراج کرد. در این پروژه برای بازیابی داده ها از کد BUNKI استفاده شده است.

کد BUNKI

این کد ویژگی استفاده از توابع پاسخ متفاوت را داراست که می توانند محدوده های انرژی مابین 10^{-8} تا 400 مگا الکترون ولت را استفاده کنند. این کد قوانینی برای استفاده از طیف ماکسولی، طیف ثابت و یا یک طیف تعریف شده توسط کاربر را به عنوان طیف اولیه داراست. در این کد توزیع نوترونی نتیجه ی چندین اجرای تکراری است که درصد خطای محاسبات بعد از سه یا چهار بار تکرار، کمینه می شود. این طیف نوترون به دست آمده بعد از چهارمین اجرا به عنوان آخرین طیف بازیابی شده با بهترین شکل پیک منظور می شود.

نتایج بازیابی داده ها

نتایج داده های بازیابی شده توسط کد BUNKI برای طیف چشمه های Am-Be و ^{252}Cf در شکل های ۵ و ۶ با طیف مرجع



شکل ۲: نحوه ی چیدمان مخروط سایه و کره ی ۸ اینچ مقابل چشمه

نتایج شبیه سازی و اندازه گیری های تجربی

پس از به دست آوردن توابع پاسخ از روش محاسباتی با کد MCNPX و انجام اندازه گیری های تجربی، می باید قبل از فرایند بازیابی از فاکتور کالیبراسیون به منظور تصحیح شمارش هر کره استفاده شود. فاکتور کالیبراسیون سیستم BSS از طریق معادله ی ۱ به دست می آید.

$$f_i = \frac{C_i}{\Phi_{\text{ref}} \sum_{j=1}^N R_{ij} \Phi_j \Delta E_j} \quad (1)$$

در این معادله C_i داده های تجربی اندازه گیری شده در محیط بدون پراکندگی بر حسب شمارش بر ثانیه است، Φ_{ref} شار مربوط به چشمه ی نوترون در نقطه ی اندازه گیری است، R_{ij} تابع پاسخ هر کره در مقابل چشمه های تک انرژی نوترون است که به صورت تابع گسسته بوده و از طریق کدهای شبیه سازی مانند MCNPX بدست می آید و Φ_j طیف گسسته چشمه Am-Be و ^{252}Cf استخراج شده از مرجع معتبر ISO8529 می باشد. جداول ۱ و ۲ ضرایب کالیبراسیون و مقادیر مربوط به معادله اخیر را برای چشمه های ذکر شده، نشان می دهند.

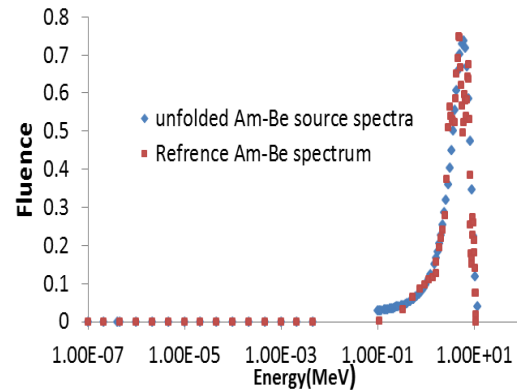
جدول ۱: جدول کالیبراسیون سیستم BSS توسط چشمه Am-Be

قطر (اینچ)	$C_i(\text{s}^{-1})$	$\Delta C_i(\%)$	$R_i^{\text{Am-Be}}(\text{cm}^2)$	f_i
۳	۵۲/۰۹	۰/۲	۰/۳۹۲	۱/۲۴
۵	۹۱/۱۱۵	۰/۲	۰/۹۰۱	۰/۹۴۵
۸	۶۱/۹۹	۰/۰۸۶	۰/۶۷۸	۰/۸۴۲
۱۰	۶۰/۲۸	۰/۰۸۶	۰/۴۴۰	۱/۲۷
۱۲	۴۹/۷۱	۰/۰۸۶	۰/۲۷۱	۱/۷۱

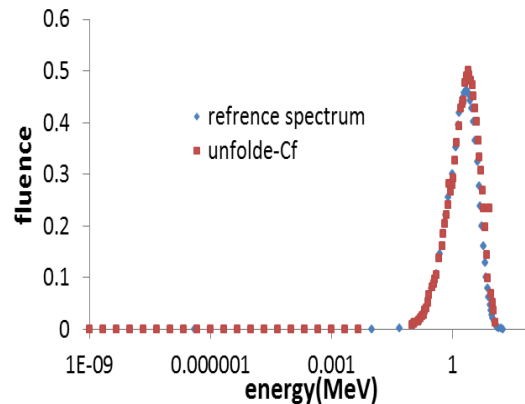
موجود در ISO-8529 مقایسه شده است. همانطور که مشاهده می‌شود مطابقت بسیار خوبی بین طیف باز یابی شده و طیف مرجع برای هر دو چشمه وجود دارد.

مرجع ها

- [1] Brooks, F.D. and Klein, H., "Neutron spectrometry-historical review and present status," *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A* **476**, p. 1-11 (2002).
- [2] Bramblett, R.L., Ewing, R.I. and Bonner, T.W., "A new type of neutron spectrometer", *Nuclear Instruments and Methods* **9** p. 1-12 (1960).
- [3] Gallego, E., Lorente, A. and Vega-Carrillo, H.R., "Characteristics of the neutron field of the facility at DIN-UPM", *Radiation Protection Dosimetry* **110**, p. 73-79 (2004).
- [4] Thomas, D.J., Bardell, A.G. and Macaulay, E.M., "Characterisation of a gold foil-based Bonner sphere set and measurements of neutron spectra at a medical accelerator", *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A*, **476**, p. 31-35 (2002).
- [5] Adolfo Esposito and Maitreyee Nandy, "Measurement and Unfolding of neutron spectra using Bonner spheres", *Radiation Protection Dosimetry* **110**, p. 555-558(2004).



شکل ۵: مقایسه طیف باز یابی شده با طیف موجود در مرجع ISO-8529 برای چشمه Am-Be



شکل ۶: مقایسه طیف باز یابی شده با طیف موجود در مرجع ISO-8529 برای چشمه ^{252}Cf

نتیجه گیری

با توجه به مطابقت بسیار عالی بین طیف باز یابی شده حاصل از اندازه گیری های طیف چشمه های ذکر شده و طیف مرجع استاندارد برای این چشمه ها، می توان نتیجه گرفت که یکی از اهداف این پروژه که استفاده از سیستم کره های بانر برای به دست آوردن طیف چشمه های مجهول می باشد، کاملاً محقق شده است.