



# بیست و یکمین کنفرانس هشتای ایران

۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

## شبیه سازی ماتریس پاسخ و بازیابی طیفیک سامانه طیفسنج کره بانر با آشکارساز

### مرکز ییدور لیتیوم ( $LiI(Eu)$ ) برای چشمه نوترون Am-Be

مهديه، کلایي: نیما، قلعه : عقیل ، محمدی،

<sup>(۱)</sup> دانشگاه دامغان، دانشکده فیزیک

<sup>(۲)</sup> دانشگاه صنعتی امیر کبیر، دانشکده مهندسی انرژی و فیزیک

#### چکیده

در مطالعه‌ی حاضر، طیفانرژی نوترونهای چشمه Am-Be با روش کره‌های بانرو با استفاده از کد بازیابی AFITBUNKI بازیابی شده است. سامانه اندازه‌گیری شامل یک آشکارساز سوسوزن یدور لیتیوم ( $LiI$ ) است که در مرکز ۷ کره پلی اتیلنی با قطرهای مختلف (صفر، ۲، ۳، ۵، ۸، ۱۰، ۱۲ و ۱۸ اینچی) قرار گرفته است. ماتریس پاسخ سامانه با استفاده از کد MCNPX برای نوترونهایی با انرژی از  $10^{-11}$  تا  $14/42$  مگا الکترون ولت محاسبه شده است. نهایتاً طیفانرژی نوترونهای چشمه Am-Be که با استفاده از کد بازیابی AFITBUNKI محاسبه شده با نتایج کدهای بازیابی BUNKI و FRUIT و نیز طیفهای استاندارد ISO و IAEA مقایسه شده است.

کلمات کلیدی: کره‌های بانر، چشمه Am-Be، نوترون، بازیابی

#### ۱. مقدمه

طیفسنج کره‌های بانر (BSS) در سال ۱۹۶۰ برای اولین بار توسط برامبلیت و همکارانش معرفی شد. این سامانه شامل تعدادی کره‌ی کندکننده‌ی پلی اتیلنیبا چگالی جرمی بالا با قطرهای ۲ تا ۱۲ اینچ و یک آشکارساز نوترون حرارتی در مرکز است (شکل ۱). از آنجایی که پاسخ سامانه BSS گستره انرژی وسیعی را پوشش می‌دهد و پاسخ تقریباً همسانگردی را نیز به نمایش می‌گذارد، یکی از ابزارهای مهم در طیفسنجی نوترون به حساب می‌آید. حساسیت طیفسنج BSS در انرژی‌های بالاتر از  $20 \text{ MeV}$  به طور چشمگیری کاهش می‌یابد که مطالعات متنوعی برای برطرف کردن این مشکل (به عنوان مثال با استفاده از لایه‌هایی با مواد دارای عدد اتمی بالا) در حال انجام است [۱].

آشکارساز نوترون حرارتی‌بکار رفته در مرکز طیفسنج کره‌ی بانر، انواع مختلفی از آشکارسازها و دزیمترها را شامل می‌شود که می‌توان به سوسوزن  $LiI(Eu)$ ، سوسوزن شیشه‌ای لیتیوم، دزیمترها و TLD، پولک‌های فعال‌سازی طلا و ایندیوم، شمارنده‌های تناسبی  ${}^3\text{He}$  [۲] و  $\text{BF}_3$  اشاره کرد [۳].

در شبیه‌سازی سامانه کره بانر، پاسخ آشکارساز نوترون حرارتی که در مرکز کره قرار می‌گیرد، تابعی از قطر کره و انرژی نوترون تک‌انرژی گسیل شده از چشمه است. بر این اساس می‌توان مجموعه‌ای از توابع پاسخ را بر حسب گروه‌های انرژی نوترون و ضخامت کره بانر تهیه کرد که ماتریس پاسخ نامیده می‌شود [۴]. سامانه کره بانر با قرار گرفتن در یک میدان نوترونی، یک آهنگ



## بیست و یکمین کنفرانس هشتای ایران

۱۷ و ۱۸ شهریور ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

شمارش  $C$  را ثبت می‌کند که این کمیت، ماتریس پاسخ  $(R_{\Phi}(E))$  و شار نوترون رسیده به آشکارساز  $(\Phi_E(E))$  از طریق معادله (۱) به یکدیگر مرتبط می‌شوند.

$$C \quad (1)$$

با حل رابطه (۱) که یک معادله فردهولم نوع یک است و عموماً با روشهای عددی حل می‌شود (اساس کار کدهای بازیابی طیف کره‌های بانر)، شار نوترون بصورت تابعی از انرژی  $(\Phi_E(E))$  بدست می‌آید. با استفاده از شار نوترون و رابطه (۲) می‌توان دز نوترون  $(\Delta)$  را بدست آورد.

$$\Delta \quad (2)$$

که در رابطه فوق،  $\delta_{\Phi}(E)$  ضرایب وابسته به انرژی تبدیل شار به دز است.



شکل ۱: چشمه Am-Be و سامانه طیف‌سنجی نوترون کره‌های بانر.

در این مقاله، ماتریس پاسخ یک طیف سنج کره‌ی بانر که در معرض تابش چشمه Am-Be قرار گرفته، با استفاده از یک سوسوزن یدورلیتیوم در محدوده‌ی انرژی  $10^{-11}$  تا  $14/42$  مگاالکترون‌ولت با استفاده از کد MCNPX تهیه شده و با استفاده از کد بازیابی AFITBUNKI بازیابی می‌شود.



## بیست و یکمین کنفرانس هشتای ایران

۷ و ۶ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

### ۲. مواد و روشها

#### (الف) تهیه ماتریس پاسخ آشکارساز

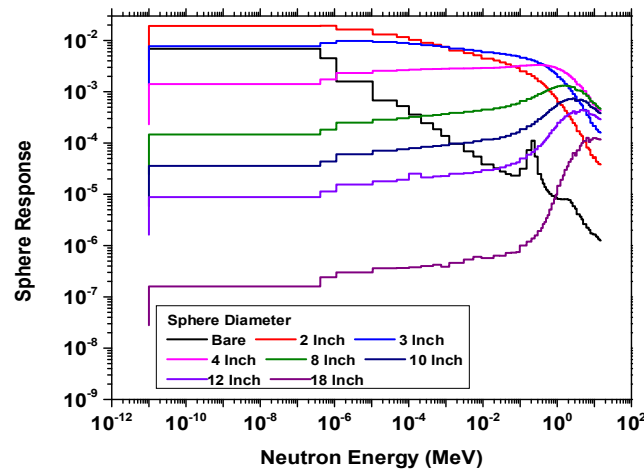
آشکارساز بکار رفته در سامانه کره بانر این مطالعه، یک سوسوزن یدورلیتیوم و از نوع غیرآلی است. لیتیوم طبیعی، دارای ۹۲/۵٪ لیتیوم ۶ و ۷/۵٪ لیتیوم ۷ است ولی ید تنها دارای یک ایزوتوپ با عددجرمی ۱۲۷ است. سوسوزن یدور لیتیوم یا  $(\text{Eu})\text{LiI}$ ، دارای درصد وزنی ناچیزی  $\text{Eu}$  به عنوان ناخالصی نیز می باشد.  $\text{Li}$  دارای سطح مقطع بالایی برای نوترونهای حرارتی است. بنابراین نوترونها تنها پس از اینکه در کره های پلی اتیلنی کند شدند، می توانند با بهره بالایی آشکارسازی شوند.

به منظور تهیه ماتریس پاسخ کره های بانر، مجموعه آشکارساز شامل یک آشکارساز سوسوزن  $\text{LiI}$  با ابعاد  $(0.6\text{cm} \times \Phi 1.25\text{cm})$ ، محفظه آشکارساز و نیز کره های پلی اتیلن با ابعاد مختلف در کد MCNPX مدل شد. شبیه سازی برای کره های مختلف شامل آشکارساز بدون کندکننده و با کره های کندکننده ۲، ۳، ۵، ۸، ۱۰، ۱۲ و ۱۸ اینچی انجام شد. آهنگ واکنش  $(n, \alpha)$  که با شماره واکنش ۱۰۷ در کد MCNPX مشخص می شود به عنوان خروجی مناسب و ملاکی از پاسخ آشکارساز یدورلیتیوم در نظر گرفته شد. در شکل ۲، توابع پاسخ برای ۵۴ گروه انرژی وقتی سامانه کره های بانر در معرض نوترونهای تک انرژی قرار گرفته است را نشان می دهد. مطابق شکل، پاسخ آشکارساز بدون کره کندکننده چنانچه انتظار می رود همان شکل سطح مقطع لیتیوم ۶ را داراست و با افزایش ضخامت کندکننده، بیشینه پاسخ به سمت انرژی های بالاتر میل می کند. داده های شکل ۲ بصورت گروه های انرژی ۵۴ تایی در متن برنامه بازیابی آفیتبانکی داده می شود.



# بیست و یکمین کنفرانس هسته‌ای ایران

۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان



شکل ۲: ماتریس پاسخ محاسبه شده با استفاده از کد MCNPX برای سامانه BSS با آشکارساز مرکزی LiI.

## (ب) بازیابی طیف

در این پژوهش از کد بازیابی طیف [AFITBUNKI] که بهینه‌سازی شده کد BUNKI محسوب می‌شود و توسط شان میلر نوشته شده، استفاده شده است. نسخه در دسترس کد آفیتبانکی به زبان فرترن ۷۷ و در حدوداً ۱۵۰۰ خط نوشته شده است.

مشکل اصلی استفاده از نسخه اصلی کد در این است که داده‌های مربوط به توابع پاسخ کره‌های بانر، داده‌های مربوط به طیف‌های نوترون اولیه پیشنهادی، داده‌های ضرایب تبدیل شار به دز و نیز خطوط مربوط به الگوریتم بازیابی طیف (الگوریتم با روش تکرار [ASPUNIT]) همگی در یک روال برنامه نوشته شده که این موضوع هرگونه تغییر را با مشکل مواجه می‌سازد. بر این اساس تصمیم گرفته شد که کد به یک روال و ۲۲ زیرروال تبدیل شده و برای آن یک پنجره مکالمه نیز طراحی گردد (شکل ۳).

چنانچه مشاهده می‌شود، تعداد کره‌ها و قرائت‌های هریک مهمترین اطلاعات ورودی کد بازیابی آفیتبانکی محسوب می‌شوند. همچنین برنامه قابلیت استفاده از ضرایب کالیبراسیون و هموارسازی را نیز در اختیار کاربر قرار می‌دهد. تعداد تکرار و رسیدن به مناسبترین جواب نیز به عنوان ورودی قابل تعیین شدن است. پس از اجرای برنامه، طیف انرژی نوترون (بصورت فراوانی شار نوترون در ۵۴ گروه انرژی) بصورت فایل تکست و به عنوان یکی از اطلاعات خروجی برنامه در اختیار کاربر قرار می‌گیرد.



# بیست و یکمین کنفرانس هشتای ایران

۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

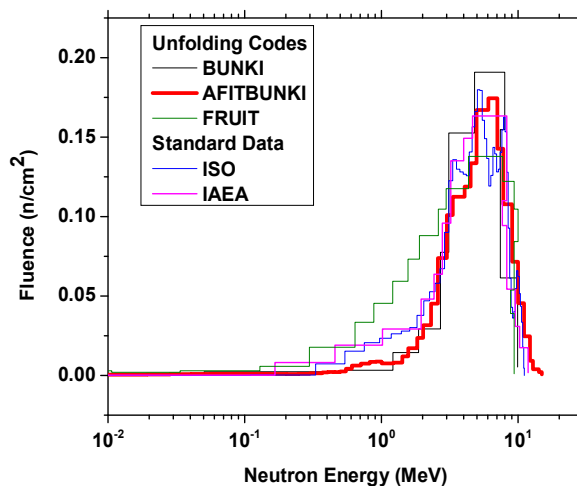
# of	<input type="text" value="8"/>	Max. # of	<input type="text" value="170"/>	AFITBUNKI visual program (Version
Detector	<input type="text" value="7B"/>	Ball data in a file?	<input type="text" value="Y"/>	
Initial spect.	<input type="text" value="4"/>	File name of ball	<input type="text" value="01.dat"/>	<input type="button" value="RUN"/>
End test (%)	<input type="text" value="1.0"/>	Output	<input type="text" value="02.dat"/>	<input type="text"/>
Smooth.	<input type="text" value="0.4"/>			
Calib.	<input type="text" value="1.0"/>			
Iter. b4 err.	<input type="text" value="100"/>			<input type="button" value="OK"/> <input type="button" value="Cancel"/>

شکل ۳: پنجره مکالمه‌ای که برای اجرای کد بازیابی طیف AFITBUNKI اصلاح شده نوشته شده و در آن مقادیر مناسب پیشنهاد شده است.

## ۳. نتایج

نتایج حاصل از کد بازیابی طیف آفیتبانکی بر اساس قرائتهای نظری در بازه انرژی  $10^{-11}$  تا  $14/42$  مگاالکترون‌ولت (که یازه مناسب انرژی در اکثر پژوهش‌ها بشمار می‌رود) در شکل ۴ نشان داده شده است. چنانچه ملاحظه می‌شود، نتایج حاصل از کد بازیابی طیف آفیتبانکی با دو کد بازیابی [BUNKI] و [VFRUIT] و نیز طیف‌های استاندارد [ISO] و [IAEA] مقایسه شده‌اند.

از آنجاییکه سامانه طیف‌سنجی کره‌های بانر اساساً از قدرت تفکیک خیلی خوبی برخوردار نیست، انتظار همخوانی بالایی بین طیف انرژی نوترون و طیف‌های انرژی استاندارد را نداریم، ولی چنانچه در شکل (۴) ملاحظه می‌شود، کد آفیتبانکی اصلاح شده بر اساس پاسخ‌هایی که از کد مونت کارلوی MCNPX بدست آمده همخوانی خوبی را با طیف‌های حاصل از کدهای بازیابی



BUNKI و FRUIT نشان می‌دهد.



# بیست و یکمین کنفرانس هسته‌ای ایران

۷ و ۶ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

شکل ۴: مقایسه طیف‌های بدست آمده از سه کد بازیابی طیف AFITBUNKI، BUNKI و FRUIT و دو طیف استاندارد ISO و IAEA.

نتیجه گیری:

با توجه به نتایج بدست آمده و طیف انرژی محاسبه شده، طیف انرژی نوترون برای چشمه های دیگر مثل شتابدهنده های خطی را نیز می توان با استفاده از این کد محاسبه کرد. همچنین این کد بگونه ای نوشته شده است که امکان استفاده از توابع پاسخ آشکارسازهای دیگر نیز در آن وجود دارد.

مراجع

- [۱] R. Bedogni et al., Design and validation of a single sphere multi-detector neutron spectrometer based on LiF:Mg,Cu,P thermoluminescent dosimeter, Radiation Measurements, 45 (2010) 1220-1223.
- [۲] B. Wiegel, A. V. Alevra, NEMUS: The PTB neutron multisphere spectrometer: Bonner spheres and more, Nuclear Instruments and Methods, A476 (2002) 36-41.
- [۳] A. V. Alevra, D. J. Thomas, Neutron spectrometry in mixed fields: multisphere spectrometers, Radiation Protection Dosimetry, 107 (2003) 37-32.
- [۴] H. Vega-Carrillo et al., Response matrix of a multisphere neutron spectrometer with an<sup>3</sup>He proportional counter, Revista Mexicana de Fisica, 51 (2005) 47-52.
- [۵] L. Brackenbush, R. Scherpelz, SPUNIT: A computer code for multisphere unfolding, Computer Applications in Health Physics, Proceedings of Health Physics Topical Meeting, Pasco, WA (1984).
- [۶] Vega-Carrillo et al., Measurement of Am-Be spectra (bare and Pb-covered) using TLD pairs in multi-spheres: spectrum unfolding by different methods, Nuclear Instruments and Methods, A589 (2009) 556-560.
- [۷] J. M. Gomez-Roz et al., Design and validation of a single sphere multi-detector neutron spectrometer based on LiF:Mg,Cu,P thermoluminescent dosimeters, Radiation Measurements, 45 (2010) 1220-1223.
- [۸] P. R. Exline, Characterization of modified neutron fields with americium-beryllium and californium-252 sources, Ph. D. Thesis, GATECH, USA, 2011.
- [۹] IAEA Technical Report, Series 403, 2001.