مدلسازی تحلیلی تابع پاسخ نوترونی آشکارساز سوسوزن NE۲۱۳ در بازه‌ی انرژی ۰/۲ MeV تا ۱۴MeV

قرقانی پور، حسن[(1)]– تاجیک، مجتبی*[(2)]

دانشگاه دامغان، دانشکده فیزیک، گروه فیزیک هسته ای

چکیده:

در این مقاله نحوه تولید تابع پاسخ تحلیلی نوترونی یک آشکارساز سوسوزن NE ۲۱۳ در بازه‌ی انرژی ۰/۲MeV تا ۱٤MeV ارائه شده است. برای این منظور ابتدا توابع پاسخ تجربی نوترون با توجه به رفتارشان در بازه‌های انرژی مختلف دسته بندی گردید. برای هر بازه‌ی انرژی نوترون توابع مختلف تحلیلی به داده‌های تجربی تابع پاسخ آشکارساز برازش داده شد و تابعی که بهترین برازش و همخوانی را با داده‌های تجربی داشت، انتخاب گردید. سپس برنامه ای کامپیوتری نوشته شد که با استفاده از پارامترهای تابع تحلیلی که وابسته به انرژی هستند، پارامترهای تابع تحلیلی برای هر انرژی دلخواه را محاسبه و توابع پاسخ را تولید کند. مقایسه نتایج توابع پاسخ تجربی و تحلیلی همخوانی بسیارخوبی را نشان می‌دهد.

کلمات کلیدی: *آشکارساز سوسوزن، تابع‌پاسخ تحلیلی، نوترون*

Analytical response function for an NE213 scintillator detectors in the range of 0.2 to 14.0 MeV for neutrons

Gharaghani Pour, Hasan[(1)]; Tajik, Mojtaba*[(2)]

[1.2] Damghan University, school of Physics

Abstract:

The paper reports on how to generate the response function of an NE213 scintillator using a phenomenological analytical model for neutrons with energies ranging from 0.2 to 14.0 MeV. Therefore, first well classify the experimental response function in according to their treatment in different every range energy. Then, the analytical response function of the detector to mono-energetic neutrons has been calculated for each range of neutron energy in which they have the best fitting with experimental data. Then with use of parameters of analytical response function which related to energy, parameters of analytical response function will be calculate for each range of neutron energy. Comparing of experimental and analytical response function results show a good consistency.

Key words: scintillator detector, analytical response function, neutron

مقدمه :

آشکارسازهای آلی از نوع سوسوزن به خاطر ویژگی تبعیض شکل پالس به طور گسترده برای اندازه‌گیری‌های طیف انرژی نوترون در میدان‌های آمیخته‌ی نوترون-گاما مورد استفاده قرار می‌گیرند به منظوربه دست آوردن طیف انرژی نوترون و راندمان آشکارساز باید اطلاعات تابع پاسخ (طیف ارتفاع پالس) در هر انرژی نوترون را به دست آورد.اندازه‌گیری تابع پاسخ آشکارساز به صورت آزمایشگاهی در هر انرژی نوترون کار بسیار مشکلی است و در برخی از موارد غیر ممکن است.پیش‌تر Pozzi و همکاران[۱] (در بازه‌ی انرژی ۰/۲ تا ۲MeV) سپس Carasco[۲] با استفاده از کد مونت کارلوی Geant(در بازه‌ی انرژی۰/۲ تا ۵MeV) تابع پاسخ نوترونی را تولید و با استفاده توابع پاسخ بدست آمده، توابع تحلیلی، توابع پاسخ نوترونی را بدست آورند. در بازه های انرژی بالاتر از ۸MeV به علت وقوع واکنشهای $^{12}C(n,\alpha)^{9}Be$ ، $^{12}C(n,n')3\alpha$ تابع پاسخ پیچیده تر می‌شود.برای تولید تابع پاسخ تحلیلی نوترونی در انرژیهای بالاتر از۸MeV نیاز به طراحی یک برنامه پردازش دقیق اطلاعات توابع پاسخ تجربی یا شبیه‌سازی می‌باشد. در این کار پژوهشی با استفاده ازتوابع پاسخ نوترونی تجربی وربینسکی و همکاران [۳] در بازه‌ی انرژی ۰/۲ تا ۱۴/۵MeVتوابع تحلیلی تابع پاسخ نوترونی را با دقت بالایی بدست آورده و با نتایج تجربی دیگران مقایسه شد. این روش تولید تابع پاسخ نوترونی نسبت کدهای مستقل (تک منظوره) تولید تابع‌پاسخ و استفاده از کدهای مونت کارلوی چند منظوره،سریع و کم هزینه بودن فرآیند تولید تابع پاسخ است.

روش کار :

تولید تابع‌پاسخ تحلیلی با استفاده از داده‌های تجربی:

برای این منظور پاسخ آشکارساز سوسوزنNE۲۱۳ (آشکار ساز به شکل استوانه به قطر ٤/٦٥cm و ارتفاع ٤/٦٠cm در نظر گرفته شد)با استفاده از داده‌های تابع‌پاسخ تجربی معتبر وربینسکی و همکاران برای آشکارساز مذکور در انرژی‌های۰/۲ تا ۱٤MeVبا استفاده از نرم افزار MATLAB، یک تابع تحلیلی برای هر انرژی نوترون برازش شد. تابع برازشی که در نظر گرفته شده در بازه‌های مختلف انرژی به شکل رابطه (۱) می‌باشد که یک سری از توابع گاوسی(برای آشکارساز بزرگتر توابع فوریه در نظر گرفته شده) است که هرچه مقدار انرژی نوترون ورودی به آشکارساز بیشتر می‌شود تعداد جملات این سری نیز افزایش پیدا می‌کند به عبارتی تابع تحلیلی برای تابع‌پاسخ آشکارساز پیچیده‌تر می‌شود.

تابع برازشی برای بازه‌های مختلف انرژی به صورت رابطه (۱) است:

$$R(x,a_i,b_i,c_i)=\sum_{i=1}^{n} a_i \exp((x-b_i)/c_i)^2) \qquad (۱)$$

که در آن پارامتر a ارتفاع قله گاوسی ، b محل قله گاوسی روی محور x ها و c پهنای قله گاوسی را تعیین می‌کند. n نمایان گر تعداد توابع گاوسی و R نمایش دهنده تابع پاسخ می‌باشد. x مقدار ارتفاع پالس را به خود می‌گیرد.

$0.2 < E_n \leq 0.3745$	;n=1
$0.3745 < E_n \leq 1$	;n=2
$1 < E_n \leq 2.223$	;n=3
$2.223 < E_n \leq 7.531$	;n=4
$7.531 < E_n \leq 10.99$	;n=5
$10.99 < E_n \leq 14.5$	;n=6

بعد از به دست آمدن پارامترهای تابع تحلیلی یعنی c_iوb_i،a_i آنها برحسب انرژی در جدولی مانند جدول(۱) مرتب می‌شوند. برای هر پارامتر دو نقطه بدست می‌آید (مثلاً برای a_1 (۱۰۸/۳، ۰/۲۰۱) و (۳۱/۱۳، ۰/۳۲۲)) که می‌شود با آن یک خط رسم کرد(مثلاً برای a_1، رابطه (۲) بدست آمده است).

$$a_1=p_1E+P_2 \qquad (۲)$$

که در آن p_1 ضریب زاویه و p_2 عرض از مبدأ به ترتیب طبق رابطه (۳) و (٤) بدست می آید:

$$p_1 = \frac{y_1 - y_2}{x_1 - x_2} \qquad (۳)$$

$$p_2 = y_2 - x_2\left(\frac{y_1 - y_2}{x_1 - x_2}\right) \qquad (٤)$$

که در هر دو رابطه (٤)و(۳)، (x_1,y_1) و (x_2,y_2) دو نقطه مشخص کننده‌ی خط می‌باشند.

جدول(۱):پارامترهای a_1،b_1وc_1 برای بازه‌ی انرژی ۰/۲MeV تا۰/۳۷٤٥MeV.

E	a_1	b_1	c_1
۰/۲۰۱	۱۰۸/۳	۰/۰۰٥٥٥٤	۰/۰۰۸۷۸۲
۰/۳۲۲	۳۱/۱۳	۰/۰۱۸٦۱	۰/۰۱۰۱٦

با توجه به رابطه (۱) می‌توان پارامترهای p_1 و p_2 را با استفاده از معادلات (٤) و(۳) محاسبه نمود، که به قرار زیراند:

p_1=-٦۳۷/۷۷ p_2=۲۳٦/٤۹

برای پارامترهای b_1وc_1 نیز محاسبه می‌شود:

a_1=-637.77E+236.49 (٥)

b_1=0.1079E-0.0161 (٦)

c_1=0.0114E+0.0065 (۷)

پس می‌توان برای هر انرژی بین ۰/۲۰۱ تا ۰/۳۲۲ پارامترهای تابع تحلیلی تابع پاسخ را به دست آورد و سپس آن را رسم نمود.

به عنوان مثال برای به دست آوردن تابع تحلیلی برای انرژی ۰/۳۰۰MeV مقدار ۰/۳۰۰ در معادلات (٥)، (٦) و (۷) قرار می‌گیرد و مقادیر a_1، b_1 و c_1 محاسبه می‌گردد.

a_1=٤٥/۱٦ ؛ b_1=۰/۰۱٦۲٤ ؛ c_1=۰/۰۰۹۱

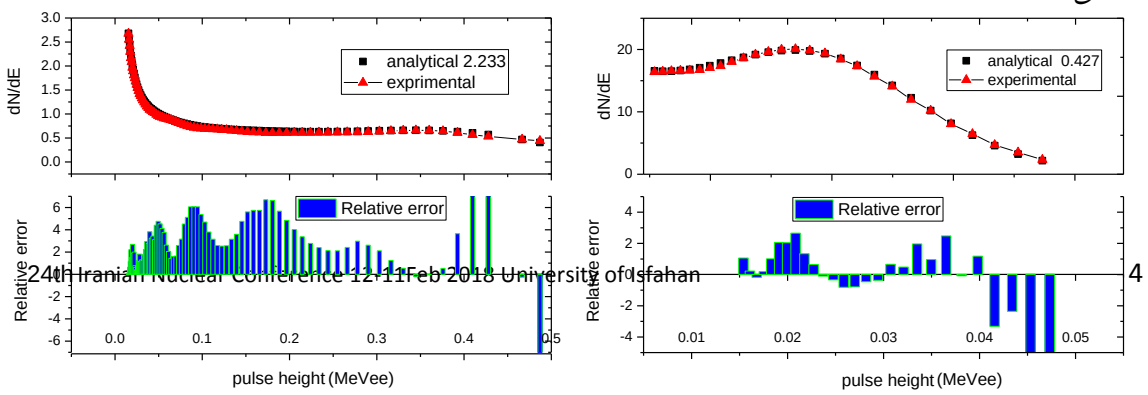
با توجه به رابطه (۱) و مقادیر به دست آمده:

$$R(x)=45.16\times\exp\left(\left(\frac{x-0.01624}{0.00991}\right)^2\right) \quad (۸)$$

در همین راستا برای محاسبه و به دست آوردن این پارامترها برنامه ای نیز به زبان Microsoft Visual Studio نوشته شد که الگوریتم آن در شکل(۲) آورده شده است. در این برنامه با وارد کردن انرژی نوترون، تابع پاسخ نوترونی با حداقل زمان در حدود ٥ ثانیه تولید می‌شود.

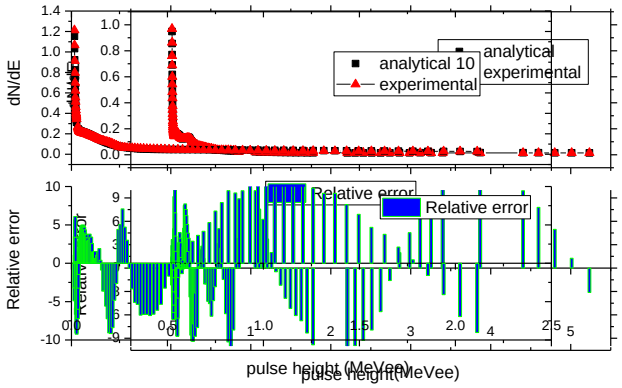
نتایج:

در شکل (۱) برای چند انرژی تابع‌پاسخ تحلیلی و تجربی آشکارساز NE۲۱۳ با هم مقایسه شده‌اند و نموداراختلاف نسبی آنها نیز رسم شده است. همانطور که در این نمودارها مشاهده می‌شود خطای نسبی نتایج کمتر از ۱۰ درصد است، این مقدار اختلاف توانمندی و میزان دقت توابع تحلیلی را درتولید تابع پاسخ نوترونی نشان می‌دهد.



شکل(۱-الف)

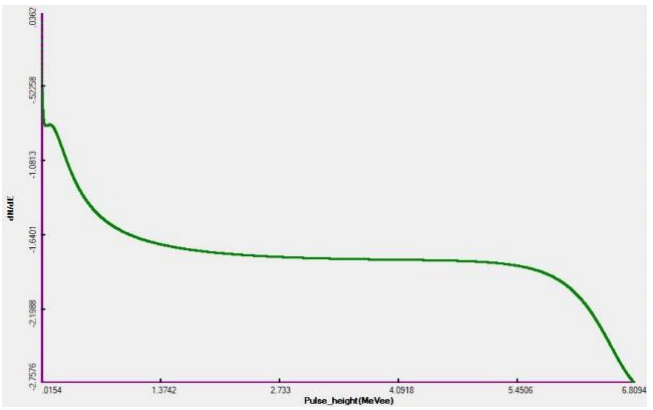
شکل(۱-ب)



شکل(۱-ج)

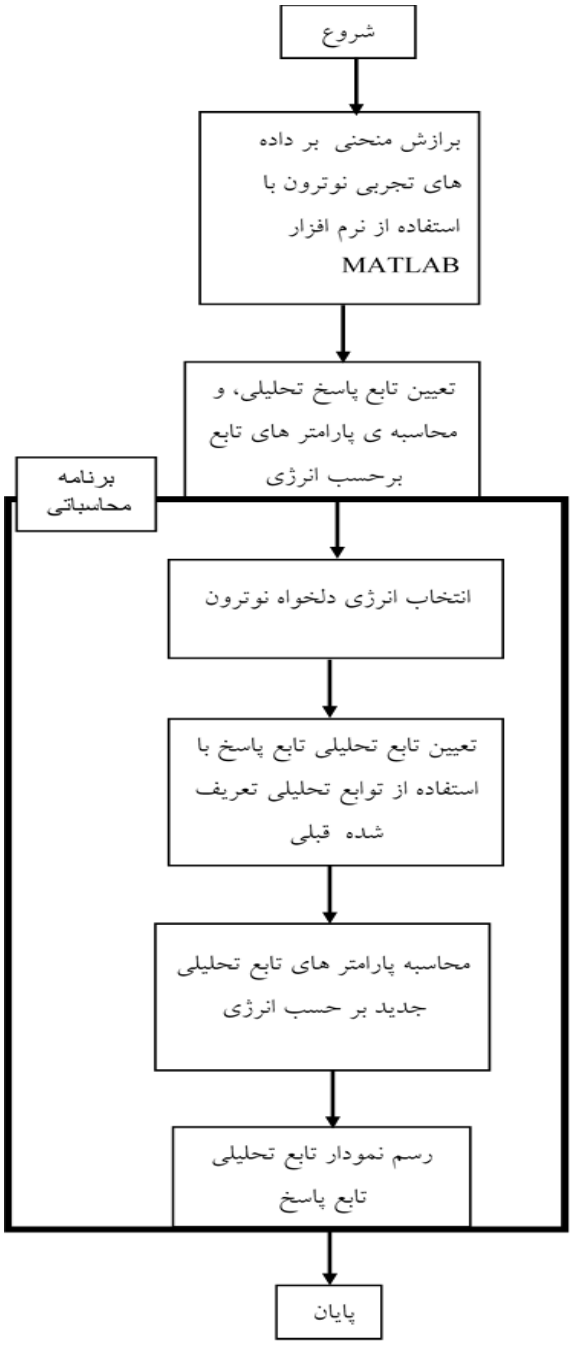
شکل(۱-د)

شکل (۱):مقایسه‌ی تابع پاسخ تحلیلی و تجربی همراه با اختلاف نسبی آنها برای آشکارساز NE ۲۱۳ به شکل استوانه به قطر ٤/٦٥cm و ارتفاع ٤/٦٠cm، الف) انرژیMeV ۰/٤۲۷، ب)انرژی ۲/۲۳۳MeV، ج)انرژیMeV ۱۰/۰ و د) انرژی ۱٤/۰۰۷MeV.



شکل(۳): مراحل محاسبه تابع پاسخ تحلیلی به همراه ضرایب تابع تحلیلی برای آشکارساز سوسوزن NE213 بـه شـکل اسـتوانه بـه قطـر ٤/٦٥cm و ارتفاع ٤/٦٠cm، در انـرژی ۱۳MeV با استفاده از برنامه Microsoft Visual Studio.

در شکل(۳) مراحل اجرای برنامه Microsoft Visual Studio . به منظور محاسبه تابع پاسخ تحلیلی به همراه ضرایب تابع تحلیلی برای آشکارساز سوسوزن NE۲۱۳ بـه شـکل اسـتوانه بـه قطـر ٤/٦٥cm وارتفاع ٤/٦٠cm، در انـرژی ۱۳MeV نشان داده شده است.



شکل (۲): فلوچارت تولید تابع پاسخ تحلیلی آشکارساز NE۲۱۳.

بحث و نتیجه‌گیری :

با توجه به این که به دست آوردن تابع پاسخ تجربی آشکارسازهای سوسوزن برای نوترون‌های تک انرژی فرایندی پر زحمت است، در برخی از موارد به علت عدم دسترسی به امکانات تجربی، تابع پاسخ سوسوزن‌ها نسبت به نوترون شبیه‌سازی می‌شوند. با توجه به مشکلات ومحدودیت‌های کدهای شبیه‌ساز، استفاده از تابع تحلیلی تابع‌پاسخ آشکارساز برای تولید تابع‌پاسخ بسیار راحت‌تر و مقرون به صرفه‌تر است . مثلاً برای تولید تابع‌پاسخ نوترونی آشکارساز NE۲۱۳ با استفاده از کد MCNPX برای نوترون‌های با انرژی ۱۰MeV با استفاده از رایانه corei7 با RAM=٦G با NPS=٥٠٠٠٠٠ حدود ۸ ساعت زمان صرف شد در حالی که با روش ذکر شده در این مقاله ٥s (٥ ثانیه) زمان صرف خواهد شد. در صورت داشتن منبع کدهای چندمنظوره و با استفاده از توابع تحلیلی بدست آمده می‌توان زمان محاسبه تابع پاسخ نوترونی را در کدهای چند منظوره بهبود داد. این روش برای تولید تابع پاسخ نوترونی در انرژیهای بالای ۱۰۰MeV در حال انجام است.

مراجع :

[۱] Sara A. Pozzi, Marek Flaska, Andreas Enqvist, Imre Pa´ zsit;2007;Monte Carlo and analytical models ofneutron detection with organic scintillation detectors;*Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A* 582 629.

[۲] Carasco, C., 2012.Organic scintillators response function modeling for Monte Carlo simulation .applied radiation and Isotopes 70 1367-1369.

[۳] V. V. Verbinski t, W. R. Burrus T. A. Love, W. Zobel and N. W. Hill Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee, U.S.A. R. Textor 1968;calibration of an organic scintillator for neutron spectrometry;nuclear instruments and methods *North-Holland publishing co*.