

بررسی تجربی جداسازی نوترون-گاما در سوسوزن نسل جدید UGAB

نازیلا دیوانی ویس* ، اسمعیل بیات، محمد مهدی فیروزآبادی

دانشگاه بیرجند، دانشکده علوم، گروه فیزیک

چکیده

سوسوزن‌های مایع، رایجترین آشکارسازها برای جداسازی نوترون‌های سریع و گاما در میدانهای آمیخته هستند. سمیت و قابلیت اشتعال زیاد برخی از این سوسوزن‌ها، مانند NE-213، استفاده از آنها را محدود می‌کند. سوسوزن UGAB^۱ از ترکیب یک حلال آلی کم خطر و سایر ترکیبات سوسوزن و سرفکتانت‌ها ساخته شده است که بازدهی خوبی برای آشکارسازی آلفا و بتا دارد. در این مقاله با هدف گسترش امکان بکارگیری این سوسوزن و یا ساخت ترکیبات مشابه کم خطر، توانایی جداسازی نوترون - گاما توسط این سوسوزن بررسی شده و فاکتورهای ضرایب شایستگی و نسبت قله به دره برای آن اندازه‌گیری شده است که در مقایسه با سایر سوسوزنهای رایج نتایج نسبتاً قابل قبولی بدست داده است.

کلمات کلیدی: جداسازی نوترون و گاما- سوسوزن مایع - کوکتل‌های LSC

مقدمه

سوسوزن‌های مایع بخش مهمی از فرآیند آشکارسازی پرتوهای هسته‌ای مانند آلفا، بتا، گاما و نوترون را بر عهده دارند. کلیه این سوسوزن‌ها دارای یک حلال آلی به عنوان پایه اصلی و یک یا دو ماده سوسوزن می‌باشند. تفاوت این سوسوزن‌های مایع در حلال اصلی (زیلین، تولوئن، DIN، LAB، دوترون‌دار و...)، سوسوزن اولیه (PPO، Butyl PBD و...)، سوسوزن ثانویه (Dimethyl POPOP، Bis-MSB و...) و نوع افزودنی (سرفکتانت، بور، گادولنیم و...) می‌باشد [۱،۲]. بنابراین گروه سوسوزن‌های مایع گسترده وسیعی از کاربردها را پوشش می‌دهند. در این میان بررسی کارایی یک سوسوزن در زمینه‌های مختلف جدا از کاربرد اصلی آن، می‌تواند نکات جدیدی را آشکار نموده و راهگشای توسعه ساخت و کاربرد سوسوزن‌ها باشد که این تحقیق در این راستا شکل گرفته است.

سوسوزن UGAB از شرکت Perkin Elmer^۲ جهت جداسازی آلفا-بتا و شمارش 4π آنها در نمونه‌های آبی و اسیدی بصورت کوکتل‌های LSC^۳ ساخته و بهینه شده است. این سوسوزن شامل ترکیبات ذیل می‌باشد [۳]:

- حلال اصلی، ایزومرهای دی ایزوپروپیل نفتالین^۴ (حدود ۴۰ تا ۶۰ درصد حجم سوسوزن)

^۱ Ultima Gold AB (Alpha and Beta)

^۲ www.perkinelmer.co.uk

^۳ Liquid Scintillation Counting

^۴ C₁₆H₂₀ (Diisopropyl naphthalene) DIN با فرمول

- سوسوزن اولیه، دی فنیل اکسازل^۵ (کمتر از ۲/۵ درصد حجم سوسوزن)
- سوسوزن ثانویه، متیل استایریل بنزن^۶ (کمتر از ۲/۵ درصد حجم سوسوزن)
- سرفکتانت، آلکیل فنول سوار شده بر پلیمر اتوکسیلات^۷ (حدود ۲۰ تا ۴۰ درصد حجم سوسوزن)
- سرفکتانت، نونیل فنول سوار شده بر پلیمر اتوکسیلات^۸ (حدود ۲/۵ تا ۱۰ درصد حجم سوسوزن)^۹
- افزودنی، بوتوکسی اتانول^{۱۰} (حدود ۲۰ تا ۲۰ درصد حجم سوسوزن)
- افزودنی، نونیل فنیل پلی اکسی اتیلن اتر فسفات^{۱۱} (کمتر از ۲/۵ درصد)

همانگونه که مشاهده می شود، این مایع علاوه بر حلال اصلی و مواد سوسوزن، دارای مقادیر قابل توجهی از سرفکتانت نیز می باشد تا توانایی انحلال انواع نمونه های آبی و اسیدی را در خود دارا باشد. بنابراین انتظار می رود ترابرد فوتون در این سوسوزن ضعیف باشد هرچند با افزودن ترکیباتی، میزان فرونشانی فوتون در آن کاهش داده شده است. از نکات مثبت این مایع سوسوزن، حلال اصلی آن، DIN^{۱۲}، می باشد. این حلال آلی دارای سمیت کم، فشار بخار پایین و نقطه اشتعال ناگهانی 140°C بوده و در حمل و نقل و نگهداری به عنوان ماده «بی ضرر» شناخته می شود. Hamel و همکاران [۴] به روش مقایسه بار میزان جداسازی نوترون-گاما را در این سوسوزن اندازه گیری نموده اند. در بین روش های مختلفی که جهت جداسازی نوترون-گاما بکار می رود روش های «مقایسه بار» و «گذر از صفر» رایج تر می باشند. Wolski و همکاران [۵] این دو روش را مقایسه نموده و برتری روش «گذر از صفر» را نشان داده اند. بنابراین جهت اندازه گیری بهتر میزان جداسازی نوترون-گاما توسط این سوسوزن از روش گذر از صفر استفاده گردید.

تئوری کار

در روش گذر از صفر با بکارگیری روش های زمانگیری پالس، از تفاوت فروافت پالس های نوترون و گاما استفاده می شود و مدارهای الکترونیک مختلف با قابلیت های گوناگون در این زمینه استفاده می گردد. در شکل ۱ یکی از رایج ترین آنها آورده شده است. در این مدار، جداسازی با استفاده از سیگنال آند آشکارساز و

^۵ PPO (2,5-Diphenyloxazole) با فرمول $C_{15}H_{11}NO$

^۶ Bis-MSB (1,4-Bis-(2-methylstyryl)-benzene) با فرمول $C_{24}H_{22}$

^۷ (Polymer based on alkylphenoethoxy) با فرمول $C_{15}H_{24}O(C_2H_4O)_n$

^۸ (Polymer based on nonylphenoethoxy) با فرمول $C_9H_{19}-C_6H_6-O-[CH_2CH_2O]_nH$

^۹ در این پلیمرها از آلکیل های بلند استفاده می کنند زیرا توانایی مخلوط کردن فاز آبی و آلی را به خوبی دارند.

^{۱۰} (2-(2-butoxyethoxy)ethanol) با فرمول $C_8H_{18}O_3$

^{۱۱} (Nonylphenyl (branched) polyoxyethylene ether phosphate) با فرمول $C_9H_{19}C_6H_4(OCH_2CH_2)_nO-PO_3$

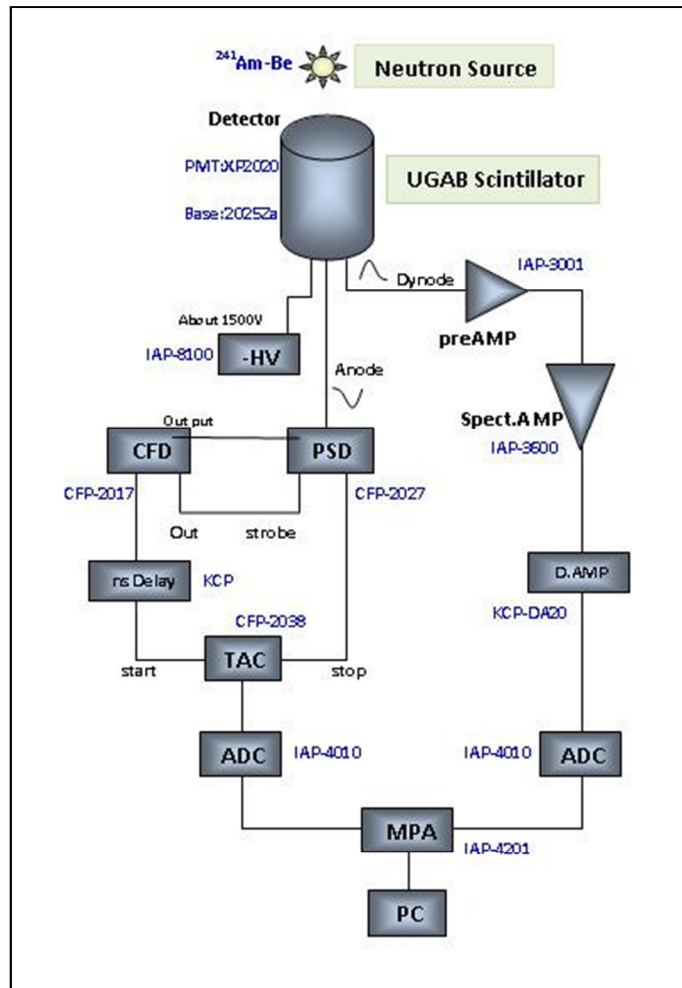
^{۱۲} دی ایزوپروپیل نفتالین

با بکارگیری ماژول PSD^{۱۳} صورت می‌پذیرد. این روش به علت استفاده از سیگنال‌های سریع، علاوه بر کیفیت جداسازی خوب، زمان مرده بسیار کمی داشته و جهت جداسازی نوترون-گاما در آهنگ شمارش زیاد کاملاً مناسب است. بررسی میزان جداسازی نوترون-گاما توسط فاکتورهایی مانند ضریب شایستگی^{۱۴} (FOM) و نسبت قله به دره (P/V)^{۱۵} تعریف می‌شود. که این فاکتورها عموماً با افزایش بازه تغییرات ارتفاع پالس و یا با افزایش میزان شمارش ناخالص کاهش می‌یابند. ضریب شایستگی از تقسیم فاصله بین دو قله نوترون و گاما بر مجموع FWHM های آنها بدست می‌آید [۵]. هر قدر عدد FOM بزرگتر از یک باشد، کیفیت جداسازی آشکارساز بهتر خواهد بود. نسبت (P/V) که بر میزان پهن شدگی طیف نوترون و گاما دلالت دارد، بصورت میانگین شمارش دو قله نوترون و گاما تقسیم بر شمارش پایین‌ترین ارتفاع در دره موجود بین دو قله تعریف می‌شود [۶].

آشکارساز سوسوزن با استفاده از یک سلول حاوی مایع سوسوزن UGAB، تکثیرکننده فوتونی (PMT)، مقسم ولتاژ و حفاظ مغناطیسی مونتاژ شد. سلول از جنس آلومینیم که اندرکنش کمی با نوترون دارد و به ضخامت 1mm و در ابعاد 2"×2" Ø ساخته شده است و فضای داخل آن با استفاده از رنگ سفید EJ-520 ساخت شرکت ELGEN^{۱۶} رنگ آمیزی گردید. رنگ سفید پخشیده در برابر حلالهای سوسوزن مقاوم است و به دلیل سفیدی خاصی که دارد از بازتاب داخلی فوتونها ممانعت می‌کند و باعث انعکاس هر چه بیشتر آنها می‌شود. پنجره سلول به منظور کوپل مناسب با پنجره PMT، از شیشه بروسیلیکات^{۱۷} که ضریب شکست مناسبی دارد و بر روی بازدهی آشکارساز اثر نامطلوب ندارد، ساخته شده است. انتخاب PMT نقش مهمی در کیفیت جداسازی نوترون-گاما یک سوسوزن دارد. با توجه به کاربرد مورد نظر و امکانات موجود، PMT، مدل XP2020 به قطر دو اینچ از شرکت Photonis^{۱۸} انتخاب گردید. این PMT با زمان عبور 30ns و گستردگی زمان عبور 2.4ns، از نوع پنجره انتهایی^{۱۹} با فتوکاتد حساس به آبی-سبز و دوازده داینود با طراحی خطی می‌باشد. مقسم ولتاژ بایستی دارای خروجی آند و داینود بوده و آند دارای دامنه مناسب و بدون پالس‌های بازگشتی^{۲۰} باشد. بنابراین مقسم ولتاژ مدل 2025Za از شرکت IAP انتخاب شد. جهت حذف اثر میدان مغناطیسی زمین بر بازدهی PMT، طبق سفارش شرکت سازنده PMT، حفاظ مغناطیسی مدل MS172 بکار رفت. چشمه نوترون، ²⁴¹Am-Be با اکتیویته 100mCi استفاده شد. جهت کاهش اثر پراکندگی، آشکارساز و چشمه بر روی یک میز به ارتفاع ۱متر و در فاصله ۱/۵ متری از دیوارها قرار گرفتند.

^{۱۳} Pulse Shape Discrimination^{۱۴} Figure of Merit^{۱۵} Peak to Valley^{۱۶} www.Elgen.com^{۱۷} Borosilicate glass (این نوع شیشه ضریب شکست حدود ۱/۵ دارد).^{۱۸} www.photonis.com^{۱۹} End Window^{۲۰} Ringing

کالیبراسیون انرژی با استفاده از گامای چشمه ^{22}Na با انرژی 1274KeV انجام گردید تا بتوان میزان بایاس را بر حسب انرژی بیان نمود. بدین منظور لبه کامپتون این گاما که برابر 1061KeV می باشد، بکار گرفته شد. مکان این لبه، کانال متناظر با ۸۹٪ شمارش ماکزیمم کمپتون در شیب نزولی پیوستار می باشد [۷]. پس از کالیبراسیون، جداسازی به ازای بایاس های مختلف برای سوسوزن UGAB انجام شده و ثبت گردید.

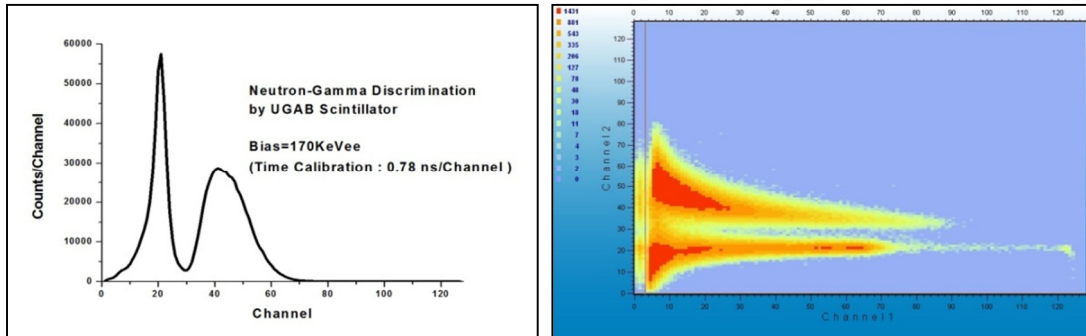


شکل ۱. مدار جداسازی نوترون-گاما به روش گذر از صفر

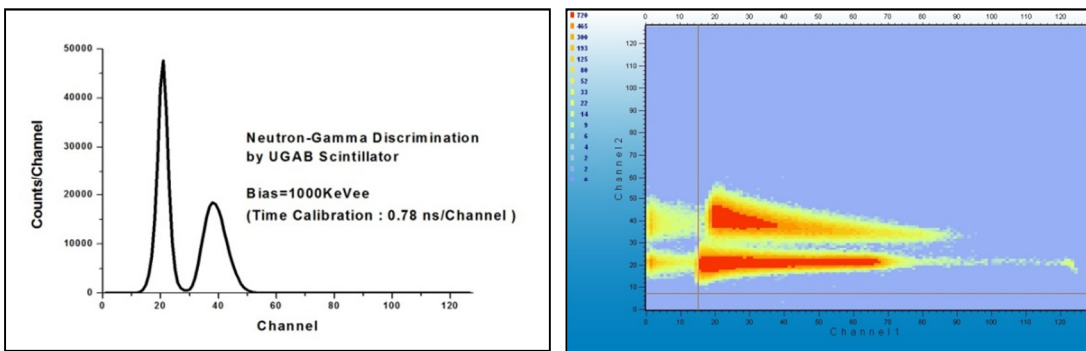
نتایج

نمونه جداسازی نوترون-گاما بصورت دو بعدی و یک بعدی در شکل ۲ و ۳ آورده شده است. در این جداسازی، طیف پایین مربوط به گاما و طیف بالایی مربوط به نوترون می باشد. جداسازی توسط این آشکارساز در بایاس های 170KeV, 500KeV, 700KeV, 800KeV و 1000KeV انرژی الکترون، انجام گرفت. جهت محاسبه فاکتورهای جداسازی در همه موارد از برازش منحنی گاوسی بر روی داده ها توسط نرم افزار Origin استفاده گردید تا بتوان برخی پارامترها، مخصوصاً FWHM ها را با دقت بیشتری نسبت به

روش دستی محاسبه نمود. در جدول ۱ نتایج فاکتورهای جداسازی ها آورده شده است. در نمودار شکل ۳ تغییرات میزان جداسازی بر حسب بایاس رسم گردیده است.



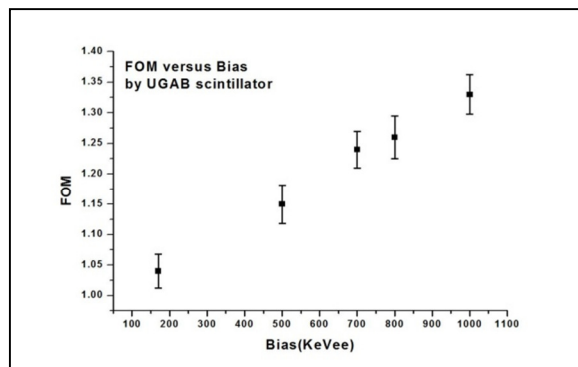
شکل ۲. جداسازی نوترون-گاما، آشکارساز UGAB بایاس 170KeVee، دوبعدی (راست)، یک بعدی (چپ)



شکل ۳. جداسازی نوترون-گاما، آشکارساز UGAB بایاس 1000KeVee، دوبعدی (راست)، یک بعدی (چپ)

جدول ۱. مقادیر فاکتورهای جداسازی برای آشکارساز UGAB

Bias(KeVee)	FOM	Peak to Vally
170	1.04±0.028	13.91±0.57
500	1.15±0.032	27.49±0.54
700	1.24±0.030	47.61±0.54
800	1.26±0.035	53.34±0.56
1000	1.33±0.032	63.99±0.55



شکل ۳. نمودار FOM بر حسب بایاس برای آشکارساز UGAB

بحث و نتیجه گیری

همانطور که در شکل ۲ و ۳ دیده می شود؛ آشکارساز UGAB با وجود حجم زیاد سرفکتانت ها، جداسازی نسبتاً خوبی ارائه داده است. Hamel در جداسازی های خود میزان بایاس را بر حسب بار الکتریکی بیان نموده است که مقایسه نتایج را دشوار می کند. به هر حال وی در بهترین حالت میزان FOM را ۱/۳ برای UGAB گزارش نموده است که با نتایج این آزمایش همخوانی دارد. در مقایسه با سوسوزن NE-213 که مختص جداسازی نوترون-گاما می باشد، کیفیت جداسازی این سوسوزن بسیار کمتر است [۸]، اما در قیاس با برخی سوسوزنهای دیگر مانند BC-519 [۹]، چندان هم ضعیف نیست. سوسوزنهایی مانند NE-213 از تولوئن یا زایلین به عنوان حلال اصلی استفاده می کنند که این مواد دمای اشتعال ناگهانی پایین داشته، سمی و سرطانزا بوده و علاوه بر جذب پوستی به دلیل تبخیر زیاد، از طریق تنفس نیز به آسانی جذب بدن می شود. بنابراین طبق نتایج این تحقیق می توان در بسیاری موارد مانند اهداف آموزشی، دزیمتری نوترون و ساخت آشکارساز در حجم زیاد از ترکیبات مشابه UGAB (بدون سرفکتانت) استفاده نمود.

منابع و مراجع

- [1]. Glenn F. Knoll, "Radiation Detection & Measurement", Third Edition, New York (2000).
- [2]. J. Thomson & D.A. Burns, "Counting Solutions, LSC Technical Tips from Packard", Report, Perkin Elmer Company, CS-004 (07/04/96).
- [3]. PerkinElmer, "Safety Data Sheet", according to 1907/2006/EC, Article 31, Printing data 10.02.2009.
- [4]. Matthieu Hamel, et al, "N-(2,5-di-t-butylphenyl)-4-ethoxy-1,8-naphthalimide :A new fluorophore highly efficient for fast neutrons/gamma-rays discrimination in liquid media", Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 602 (2009) 425-431.
- [5]. D. Wolski, et al, "Comparison of n-y discrimination by zero-crossing and digital charge comparison methods", Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 360 584-592(1995).
- [6]. O. Barnaba, et al, "A Full-integrated pulse-shape discriminator for liquid scintillator counter", Nuclear Instruments And Methods, 410 220-228 (1998).
- [7]. H. KNOX, et al, "A Technique For Determining Bias Settings For Organic Scintillators", Nuclear Instruments And Methods, 101 519-525 (1972).
- [8]. A.Sharghi Ido, M.Shahriari, G.R. Etaati, "Neutron-Gamma Discrimination in Mixed Field by PSD", J. of Nuclear Sci. and Tech No.47, pp. 1-6, (2009).
- [9]. A. Horvath, et al, "Comparison of two liquid scintillators used for neutron detection", Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 440(2000)241.