

روش بهینه‌سازی ساختار پالس نوترون برای جداسازی گامای آبی H، O و C حاصل از اندرکنش نوترون‌های حرارتی و سریع (۱۴MeV)

حسین قدس - مرتضی جعفرزاده*^۱ - جوادرحیقی - ولی ا... طحانی - احمد امام جمعه

گروه فیزیک نوترون سازمان انرژی اتمی ایران

چکیده:

در این مقاله استفاده از نوترون پالسی کوتاه (در حدود ۱۰ میکرو ثانیه) به جای باریکه پیوسته نوترون در جدا سازی گامای حاصل از اندرکنش نوترون با C، O و H در کاربردهایی نظیر تشخیص برخی از مواد آلی (همچون مواد منفجره) از ترکیبات آلی دیگر به کمک تعیین نسبت عناصر فوق، مورد بررسی قرار گرفته است.

طیف گامای حاصل از اندرکنش پالس نوترون با ماده ترکیبی از طیف‌های گاما حاصل از برهمکنش نوترون‌های سریع و حرارتی با نمونه است. به دلیل تفاوت زمانی در تولید نوترون‌های حرارتی و سریع در حالت پالسی، این دو طیف در زمان‌های متفاوت از یکدیگر تشکیل می‌گردند لذا می‌توان با جدا سازی و ذخیره آنها بصورت مجزا از هم، میزان تداخل قله‌های موجود در طیف گاما را کاهش داد. دستیابی به شکل پالس نوترونی بهینه به منظور جداسازی بهتر عناصر، نحوه تعیین میزان تاخیر زمانی بین پالس کنترل مولد نوترون تا شروع تولید نوترون و نیز تعیین دقیق مدت زمان تولید نوترون در یک پالس از اهداف اصلی تحقیقات موضوع این مقاله است.

کلیدواژه: مولد نوترون - نوترون سریع - نوترون حرارتی - جداسازی گامای آبی - فعال‌سازی نوترونی

مقدمه

برای اندازه گیری کمی عناصر تشکیل دهنده ترکیبات آلی با روش فعال‌سازی نوترونی، به دلیل ماهیت این عناصر عموماً از یک مولد نوترون به عنوان چشمه نوترون سریع [۲،۱] استفاده می‌شود.

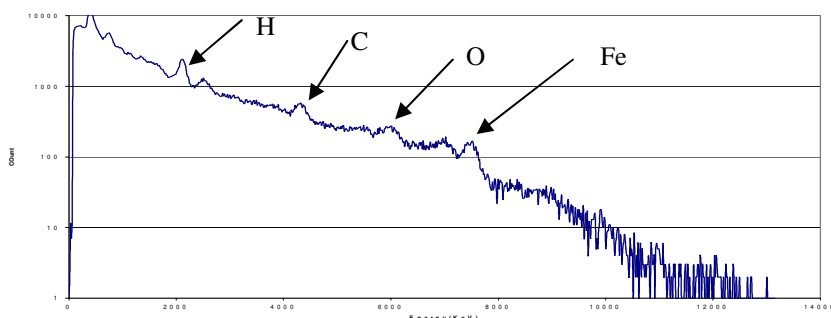
جدول (۱) مهمترین واکنش‌های هسته‌ای نوترون با عناصر H، O، C و N

نام عنصر	واکنش هسته‌ای	انرژی نوترون	انرژی گاما (MeV)	سطح مقطع (mb)	نوع واکنش
N	$^{14}\text{N}(n,\gamma)^{14}\text{N}$	Thermal	۱۰/۸	۷۵	Prompt
N	$^{14}\text{N}(n,n^{\prime}\gamma)^{14}\text{N}$	Fast (>۳MeV)	۵/۲		Prompt
H	$^1\text{H}(n,\gamma)^1\text{H}$	Thermal	۲/۲۲	۳۳۲	Prompt
C	$^{12}\text{C}(n,n^{\prime}\gamma)^{12}\text{C}$	Fast (>۵MeV)	۴/۴۳	۲۰۰	Prompt
O	$^{16}\text{O}(n,n^{\prime}\gamma)^{16}\text{O}$	Fast (>۷MeV)	۶/۱۳	۷۵۰	Prompt
O	$^{16}\text{O}(n,p)^{15}\text{N}$	Fast (>۹MeV)	۶/۱۳		Activation ($t_{1/2} = 7/13 \text{ sec}$)

از این روش می‌توان در کاربردهایی نظیر تشخیص مواد منفجره، مواد مخدر پنهان شده در چمدان مسافری، مین‌یابی و تعیین درصد ناخالصی در ذغال‌سنگ و سیمان استفاده نمود [۳]. معمول‌ترین روش در این گونه

^۱ mortezajk@yahoo.com

کاربردها استفاده ترکیبی از نوترون‌های سریع و حرارتی می‌باشد. طیف گامای آنی حاصل از اندرکنش باریکه پیوسته نوترون با ماده ترکیبی از طیف‌های گاما حاصل از برهمکنش نوترون‌های سریع و حرارتی با نمونه است که بدلیل تفاوت انرژی نوترون از یکدیگر متفاوت می‌باشند. از آنجا که در اکثر کاربردها آشکارسازها (عموماً NaI(Tl) و BGO که کارایی زیاد و قدرت تفکیک انرژی کم دارند)، نزدیک سیستم تابش‌دهی قرار داده می‌شوند، جمع‌آوری همزمان تمام گامای مربوط به نمونه باعث افزایش آهنگ شمارش می‌شود و روی هم افتادگی پالسها^۱ زمینه را در ناحیه انرژی‌های زیاد طیف افزایش خواهد داد.



شکل (۱) طیف گامای آنی حاصل از برهمکنش نوترون‌های سریع و حرارتی با یک نمونه آلی با جایگزینی پالس نوترون یک مولد نوترون که با واکنش D-T نوترون ۱۴ MeV پالسی تولید می‌کند، به جای باریکه پیوسته نوترون، و به دلیل تفاوت زمانی در تولید نوترون‌های حرارتی و سریع در حالت پالسی، این دو طیف در زمان‌های متفاوت از یکدیگر تشکیل می‌گردند لذا می‌توان با جدا سازی و ذخیره آنها بصورت مجزا از هم، میزان تداخل قله‌های موجود در طیف گاما را کاهش داد.

روش کار

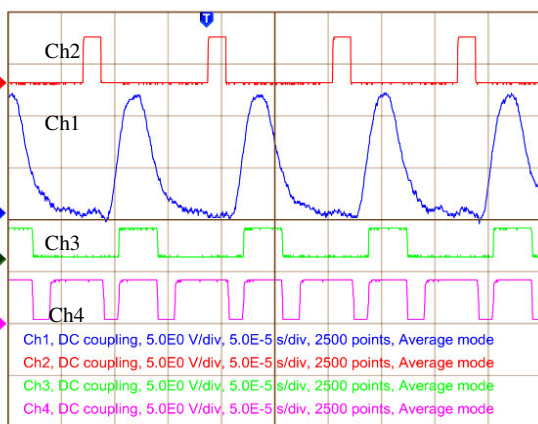
یکی از متداول‌ترین روش‌های تولید پالس نوترون، اعمال پالس مناسب به چشمه یونی مولدهای نوترون است. این پالس فرمان عموماً به قسمت تقویت کننده RF (که نقش اصلی را در یونیزه کردن اتمهای دوتریوم برعهده دارد) اعمال میشود، به این ترتیب تنها با ساختار زمانی مورد نیاز کاربر، باریکه یون و در نتیجه باریکه نوترون‌ها تولید می‌شوند.

با تولید نوترون‌های سریع در زمان معین و جمع‌آوری داده‌ها همزمان با برخورد پالس نوترون، گاما‌های حاصل از واکنش $(n, n'\gamma)$ با عناصر C و O را می‌توان در یک قسمت از حافظه سیستم جمع‌آوری نمود. در فاصله زمانی بین پالسها، نوترون سریع در نمونه انرژی خود را در برخورد با عناصر تشکیل دهنده نمونه از دست می‌دهد و هنگامیکه انرژی آن به کمتر از ۱eV می‌رسد، توسط عناصر H و N و Fe گیر افتاده و پرتو گامایی تولید می‌شود که در قسمت دوم از حافظه سیستم جمع‌آوری داده‌ها ضبط می‌شود. نکته کلیدی در این روش، ایجاد پالس کنترل کننده حافظه است که تعیین کننده زمان شروع و مدت زمان جمع‌آوری طیف در هر

^۱ Pulse Pileup

یک از دو قسمت حافظه به ازای هر پالس فرمان، می‌باشد. اگر این پالس کنترل کننده جمع‌آوری داده‌ها، همان پالس ارسال شده به تقویت کننده RF باشد، سه نکته مهم مطرح می‌شود. اول اینکه چون نحوه و میزان تغییرات جریان باریکه یون (دوترون) روی هدف (تریتم) معمولاً اندازه‌گیری نمی‌شود، نمی‌توان از کیفیت پالس نوترون مطمئن بود. دوم عدم اطمینان از اینکه تنها در زمان موجود بودن پالس فرمان، نوترون تولید می‌شود. (عرض پالس نوترون‌ها می‌تواند به راحتی متفاوت از عرض پالس تحریک کننده RF باشد). سوم مشخص نبودن فاصله زمان ارسال پالس فرمان تا شروع تولید نوترون است، این بدان معنی است که لحظه

دقیق هدایت داده‌ها به حافظه معین نمی‌باشد.

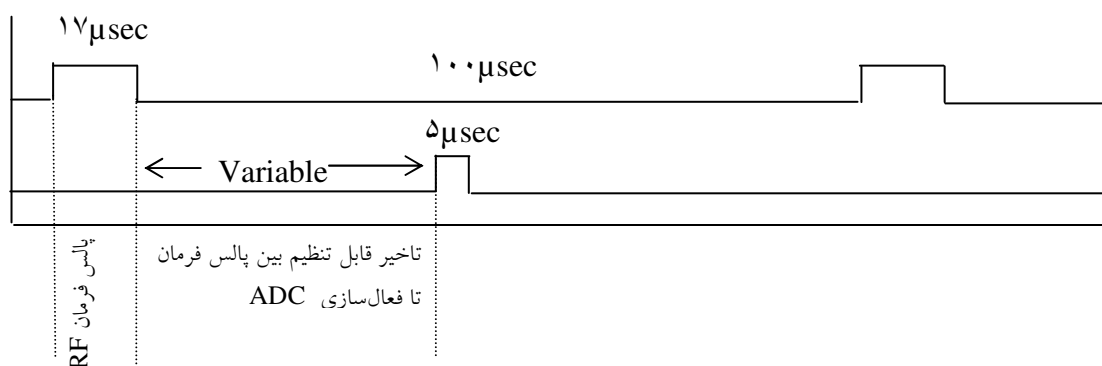


برای رفع موارد فوق با تقویت جریان بسیار ضعیف هدف تریتم و نشان دادن آن روی اسیلوسکوپ از کار سیستم در حالت پالسی اطمینان حاصل کرد. ساختار پالس دوترون که به این روش تولید شده است نشان می‌دهد که به دلیل اینرسی الکترونیکی سیستم RF، چشمه یونی و یونیزه شدن گاز دوتریوم و خروج یونها

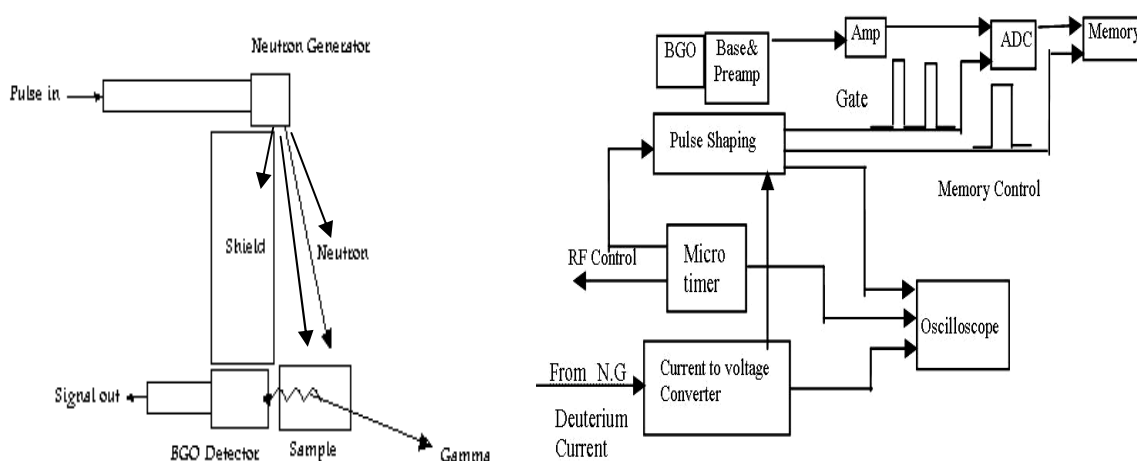
شکل (۲) - پالس فرمان (Ch2)، جریان دوترون (Ch1)، پالس انتخاب کننده حافظه (Ch3)، پالس فعال کننده حافظه (Ch3)

از چشمه یونی و ستون شتابدهنده، با سرعت پالس اعمال شده متفاوت است. از دیگر نکاتی که با مشاهده نمونه جریان هدف بر روی اسیلوسکوپ - شکل (۲) - مشخص شد عبارت بود از: متفاوت بودن عرض پالس جریان هدف (یا همان پالس نوترون) از عرض پالس کنترل و وجود اختلاف زمانی قابل توجه بین آنها. به این ترتیب میتوان با این روش تا حد زیادی زمان اعمال و عرض پالس فعال کننده حافظه و زمان اعمال پالس انتخاب کننده حافظه را تعیین نمود. اما این تخمین بدلیل وجود اختلاف زمانی بین برخورد یونها با هدف یعنی پالس جریان و تولید نوترون‌ها، اندرکنش نوترون با ماده، گسیل گاما و زمان مرگ آشکارساز و سیستم‌های الکترونیکی، از دقت کافی برخوردار نمی‌باشد. برای تعیین دقیق این میزان تاخیر و عرض واقعی پالس نوترون‌های سریع، مداری طراحی گردید که بتواند با تولید یک پالس با عرض $5\mu\text{sec}$ (که فعال کننده سیستم جمع‌آوری داده بود) و تاخیر قابل تنظیم نسبت به پالس فرمان، کل بازه زمانی پالس فرمان را جاروب کند. انتظار می‌رود در زمان وجود نوترون سریع نرخ تولید گاما برای عناصر دارای سطح مقطع مناسب مثل C و O ماکزیمم و برای H که دارای سطح مقطع مناسبی برای نوترون‌های سریع نیست این مقدار مینیمم باشد و در زمان عدم وجود نوترون سریع این مقادیر معکوس شوند. با کمی دقت در نتایج آزمایش (شکل ۵) می‌توان مشاهده نمود هنگامی که تاخیر پالس فعال کننده حافظه نسبت به پالس فرمان در حدود $70\mu\text{sec}$ - $30\mu\text{sec}$

باشد، برای عناصر O و C سطح زیر قله در طیف حدوداً ۲/۵ برابر افزایش می‌یابد در حالی که برای عنصر H این میزان حدوداً ۱/۵ برابر کاهش می‌یابد.

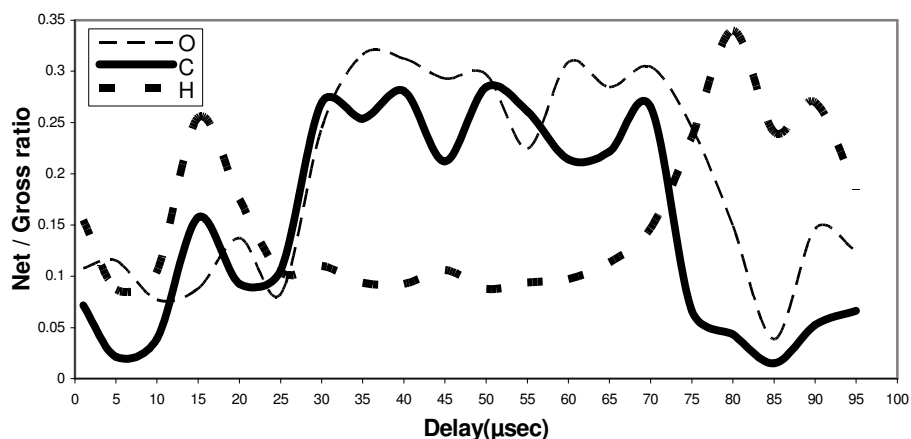


شکل (۳) پالس کنترل و پالس جاروب کننده

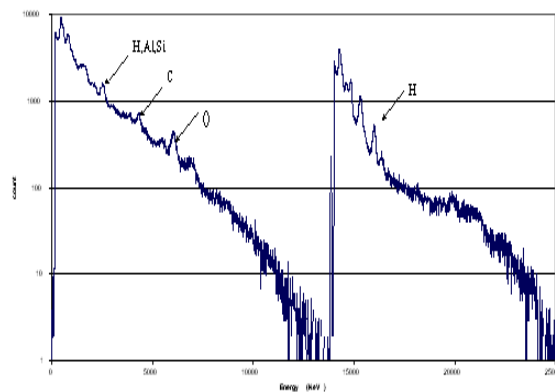
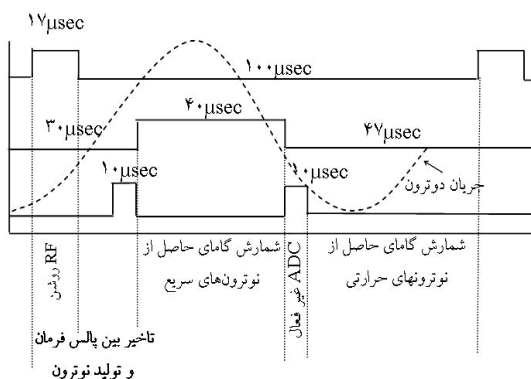


شکل (۴) شمای کلی آزمایش و الکترونیک مورد استفاده

به این ترتیب می‌توان زمان شروع تولید نوترون، میزان تاخیر تا زمان تولید نوترون، بازه مناسب برای شمارش گامای ناشی از اندرکنش نوترون‌های سریع و حرارتی و مدت زمان غیر فعال بودن حافظه را بدست آورد شکل (۷). به این ترتیب اکنون می‌توان گامای آبی حاصل از اندرکنش نوترون‌های سریع و حرارتی را تا حد نسبتاً مطلوبی از یکدیگر تفکیک نمود شکل (۶). برای اطمینان از صحت نتایج فوق در ادامه آزمایشات با استفاده از یک سیستم دو پارامتری مطابق شکل (۸) رابطه بین انرژی پرتوهای گامای تولید شده، با زمان مورد بررسی قرار گرفت. در این آزمایش یکی از دو پارامتر اختلاف بین زمان تولید پالس فرمان و زمان آشکار سازی پرتوهای گامای ناشی از تولید نوترون بود، و پارامتر دیگر نیز طیف گامای ثبت شده توسط آشکار ساز BGO می‌باشد. به این ترتیب می‌توان ارتباط زمانی بین زمان اعمال پالس فرمان و برهم‌کنش عناصر مختلف با نوترون‌ها را بررسی کرد.



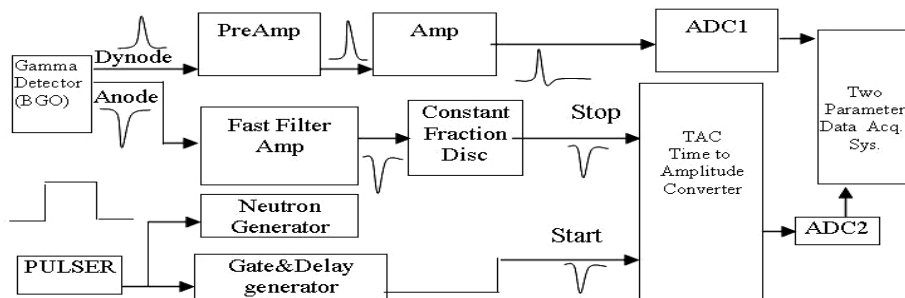
شکل (۵) تغییرات سطح زیر قله گاما مربوط به عناصر O, C, H بر حسب میزان تاخیر پالس فعال کننده حافظه نسبت به پالس فرمان



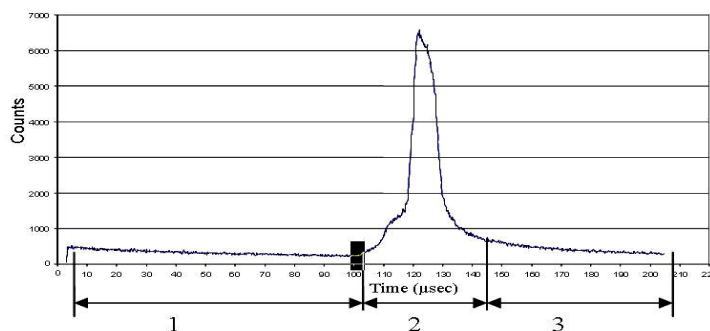
شکل (۷) ترتیب پالسهای مورد نیاز به منظور جداسازی

شکل (۶) طیف گامای آنی جدا شده

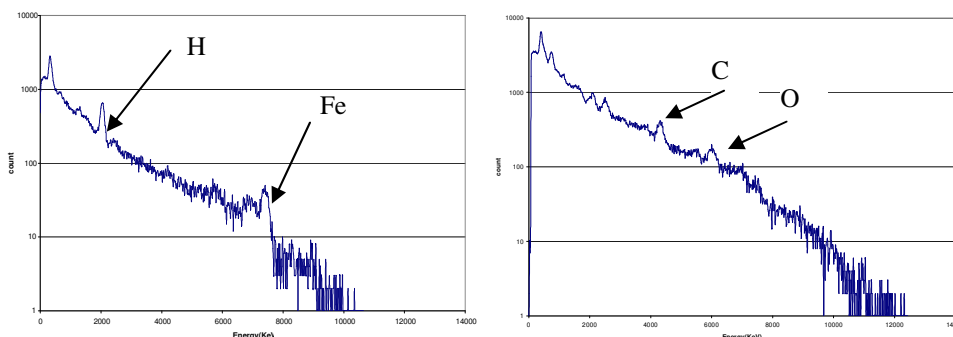
شکل (۹) خروجی TAC در این آزمایش را نشان می‌دهد. پس از ثبت طیف هنگامی که تنها گاماها را که با اختلاف زمانی حدود $30-70 \mu\text{sec}$ نسبت به پالس فرمان ثبت شده‌اند را رسم نماییم، طیف‌های شکل‌های ۱۰ و ۱۱ به دست می‌آید که با طیف شکل ۶ مطابقت زیادی دارد.



شکل (۸) الکترونیک بکار رفته در سیستم دو پارامتری به منظور بررسی رابطه انرژی گاما و زمان



شکل (۹) طیف زمانی سیستم دو پارامتری، ناحیه ۲ همزمانی بین مولد پالس و گامای ثبت شده



شکل (۱۰) طیف انرژی مربوط به بازه زمانی منطقه ۲ شکل (۱۱) طیف انرژی مربوط به بازه زمانی منطقه ۱، ۲

نتیجه گیری

جداسازی پرتوهای گامای آبی حاصل از نوترونهای سریع و حرارتی روشی است که می‌توان از آن برای کاهش زمینه و اندازه‌گیری دقیق‌تر عناصر مختلف در یک نمونه استفاده کرد. چنانچه بتوان عرض پالس تولید نوترون را کوتاه تر نمود این جداسازی دقیق تر انجام خواهد شد.

سپاسگزاری

با تشکر فراوان از جناب آقای حسن زندی و فرهاد ذنوبی که در انجام این تحقیق ما را یاری نمودند.

مراجع

- [1] C.Bruschini, Commercial systems for The Direct Detection of Explosives, Explostudy, Final Report, 2001
- [2] S.S. Nargolwalla, E.P. Przy, Activation Analysis with Neutron Generators, P.17
- [3] P.A.Dokhale, J.Csikai, Investigation On Neutron Induced Prompt gamma Ray Analysis of Bulk samples, Applied Radiation and Isotope, 54(2001)967