

افزایش قدرت تفکیک انرژی آشکارسازهای مانیتورینگ ذرات آلفا دهنده هوا برای اندازه

گیری عناصر آلفازای مصنوعی

هما، برجیسی؛ مرتضی، جعفرزاده؛ کاوه، احمدی

شرکت نوین طیف پرتو گستر

خلاصه:

برای کاهش تداخل ناشی از عناصر آلفازای طبیعی و دنباله (tail) انرژی آلفا در طیف سنجی و تشخیص عناصر آلفازای مصنوعی از کلیماتور استفاده شده است. استفاده از کلیماتور قدرت تفکیک انرژی (FWHM) برای آلفازای ناشی از ^{241}Am حدود ۴ برابر کاهش می دهد. مینیمم حد آشکارسازی (MDL) برای عناصر آلفازای مصنوعی با ۴۳٪ خطا 0.18 Bq/m^3 و با ۲۳٪ خطا 0.05 Bq/m^3 بدست آمده است.

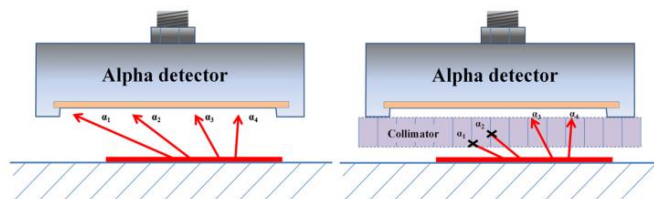
کلید واژه: آلفا اسپکتروسکوپی، قدرت تفکیک انرژی، کلیماتور آشکارساز آلفا

مقدمه

برای کاهش اثرات مداخله کننده های طبیعی در اندازه گیری پرتوزایی آلفا، روش های گوناگونی پیشنهاد و اجرا شده است. روش هایی که که اخیرا در بعضی از سیستم های جدید در پیش گرفته شده است مبتنی بر افزایش قدرت تفکیک آشکارسازهای آلفا در محیط خارج از خلاء و در شرایط نرمال در فشار یک اتمسفر است. یکی از این روش ها، استفاده از یک موازی کننده (collimator) در مسیر رسیدن ذرات آلفا به آشکارساز سیلیکونی (pipe detector) است. هر چند که این روش باعث کاهش راندمان آشکارسازی می شود ولی قدرت تفکیک آشکارساز افزایش قابل ملاحظه ای می یابد. بیش از ۵۰ درصد از پرتو گیری بشر بر روی زمین ناشی از فعالیت دادن طبیعی موجود در هوا و دختران بتازا و آلفا زای آن $^{218}\text{Po}: 6.0 \text{ MeV}$, $^{214}\text{Po}: 8.9 \text{ MeV}$, $^{214}\text{Po}: 7.7 \text{ MeV}$ است از طرفی انرژی ذرات آلفای گسیل شده از مهمترین ذرات آلفازای مصنوعی یعنی ^{241}Am , ^{239}Pu , ^{233}U ، به ترتیب 5.5 MeV ، 5.2 MeV و 4.8 MeV است [۱]. بنابراین پهن شدگی ناشی از عناصر آلفا زای طبیعی مانع از آشکارسازی هسته های آلفازای مصنوعی توسط آشکارساز سیلیکونی می شود. در این تحقیق سعی شده است تداخل ناشی از گستردگی طیف آلفای حاصل از عناصر آلفازای طبیعی به حداقل ممکن کاهش داده شود.

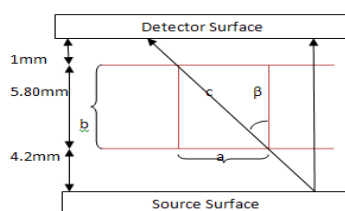
۱- روش کار

آشکارسازی که در این تحقیق استفاده شده است، از نوع ultra CAM Ortec با مساحت موثر 900 mm^2 می باشد. این نوع آشکارسازهای سیلیکونی برای شمارش و اسپکتروسکوپی ذرات آلفا روی فیلتر توسط پایش پیوسته هوا بکاربرده می شود. مطابق شکل ۱-۱ [۲] یک عدد موازی ساز از جنس آلومینیوم طراحی شده است.



شکل ۱-۱. شماتیک روش اندازه‌گیری ذرات آلفا در فشار هوای محیط، سمت چپ بدون استفاده از کلیماتور و سمت راست با بکارگیری آن [۲]

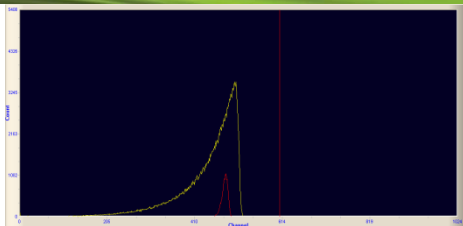
این کلیماتور دارای ضخامت $b=5,80 \text{ mm}$ است. قطر حفرها (شش ضلعی) $3,43 \text{ mm}$ و ضخامت دیوارها از محدوده $180-120$ میکرون می‌باشد. این جزئیات در شکل ۱-۲ نشان داده شده است.



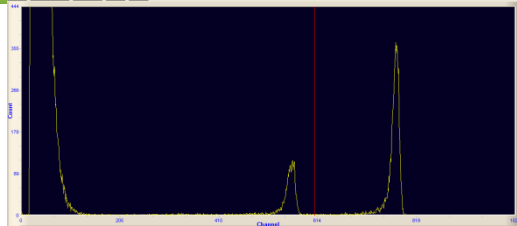
شکل ۱-۲. هندسه ساده یک سلول کلیماتور

طیف سنجی آلفا با قراردادن کلیماتور در جلوی آشکارساز و بدون استفاده از آن انجام شد. ابتدا کلیماتور در مقابل آشکارساز نیمه هادی بدون فاصله قرار داده شد. پیشرفت قابل توجهی در قدرت تفکیک با وجود کلیماتور بدست آمد، اما در مورد بهره‌ی آشکارسازی بدلیل حذف پرتوهای پراکنده شده که به دیواره برخورد کرده کاهش می‌یابد. مطابق شکل ۱-۲ ذرات پراکنده ورودی با زاویه β و کوچکتر از آن که از سطح مشخصی گسیل می‌شوند و در دیواره‌ی سلول کلیماتور جذب نشده‌اند، به سطح آشکارساز خواهند رسید ولی ذراتی با زاویه‌ی بیشتر از آن در برخورد با دیواره‌ی کلیماتور جذب خواهند شد. در نتیجه این دو دسته از ذرات یعنی ذراتی با زاویه‌ی کمتر از بتا که خارج از سطح مشخص گسیل شده‌اند و ذراتی با زاویه‌ی بزرگتر از بتا که هر دو در دیواره‌ی سلول جذب می‌شوند منجر به کاهش راندمان می‌شوند. برای بهبود راندمان لازم است که قطر سلولها بزرگتر در نظر گرفته شود، تا آن دسته از ذراتی که با زاویه‌ی کمتر از بتا وارد می‌شوند و به دیواره برخورد می‌کنند نیز به سطح آشکارساز برسند، به این ترتیب از سهم پرتوهایی که به واسطه جذب در دیواره کلیماتور منجر به کاهش راندمان می‌شوند کاسته خواهد شد.

در شکل ۱-۳ تأثیر این روش در افزایش قدرت تفکیک به خوبی مشخص شده است که البته با کاهش راندمان توأم است.



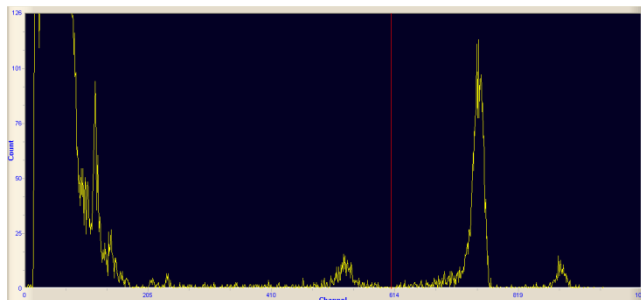
شکل ۳-۱. افزایش قدرت تفکیک با استفاده از کلیماتور



شکل ۴-۱. قله های مربوط به دختران رادن حاصل از چشمه Rn-190

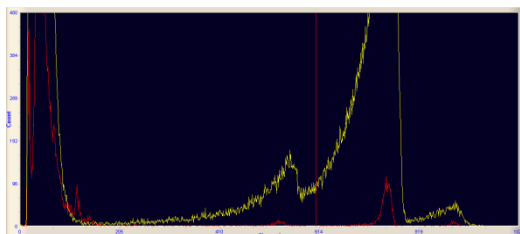
در شکل ۴-۱ می توان اثر این روش در جداسازی قله های مربوط به دختران رادن حاصل از چشمه Rn-190 رابه خوبی مشاهده کرد.

همچنین در شکل ۵-۱ نیز تأثیر کلیماتور بر طیف جمع آوری شده در حین عبور هوا از فیلتر و انباشته شدن ذرات معلق بر روی آن مشاهده می شود. به خوبی دیده می شود که در شکل ۴-۱ در ناحیه ی مربوط به دختران تورون هیچ اثری از روی هم افتادگی پالسها به چشم نمیخورد، زیرا تنها از چشمه رادن استفاده شده بود. در حالیکه در شکل ۵-۱ دختران تورون موجود در هوا به خوبی تشکیل یک قله در انتهای سمت راست طیف را داده اند.



شکل ۵-۱ تأثیر آشکارساز بر طیف جمع آوری شده در حین عبور هوا از فیلتر و انباشته شدن ذرات معلق بر روی آن را نشان می دهد.

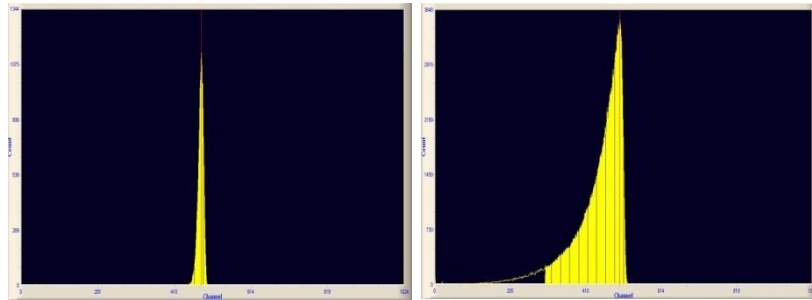
برای مقایسه کیفی اثر کلیماتور بر روی طیف جمع آوری شده از فیلتر، دو طیف که مدت زمان هر دوی آنها ۸ است در شکل ۶-۱ آورده شده است.



شکل ۶-۱. مقایسه کیفی اثر کلیماتور بر روی طیف جمع آوری شده از فیلتر

۲- نتایج و محاسبات

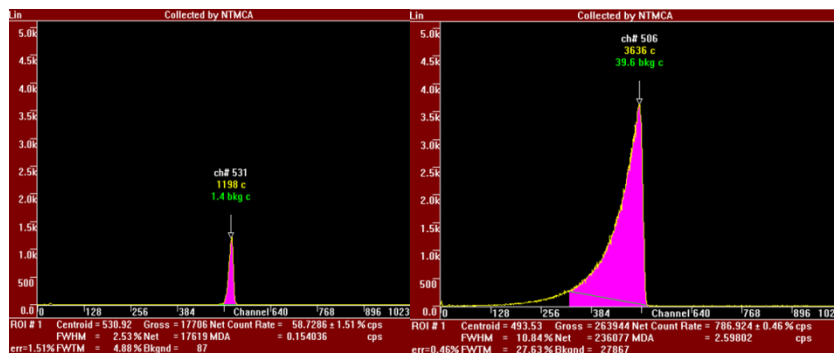
علیرغم کاهش راندمان در استفاده از کلیماتور زمانی که قدرت تفکیک انرژی اهمیت داشته باشد استفاده از آن بدرستی توصیه شده است. بازده آشکارساز با استفاده از یک چشمه استاندارد ^{241}Am ($0.09\mu\text{Ci}$) در حدود ۲۸/۸ درصد اندازه گیری شد و در صورتی که تنها ناحیه 3MeV تا 5.5MeV در اندازه گیری لحاظ شود، راندمان برای آشکارساز تقریباً معادل ۲۷/۱ درصد محاسبه می شود. در این حالت مساحت سطح زیر پیک در حدود 270600 شمارش در زمان 300 ثانیه میباشد.



شکل ۱-۲- تعیین راندمان مجموعه آشکارساز برای ذرات آلفا در ناحیه ۳ تا ۵ مگا الکترون ولت (سمت چپ با استفاده از کولیماتور)

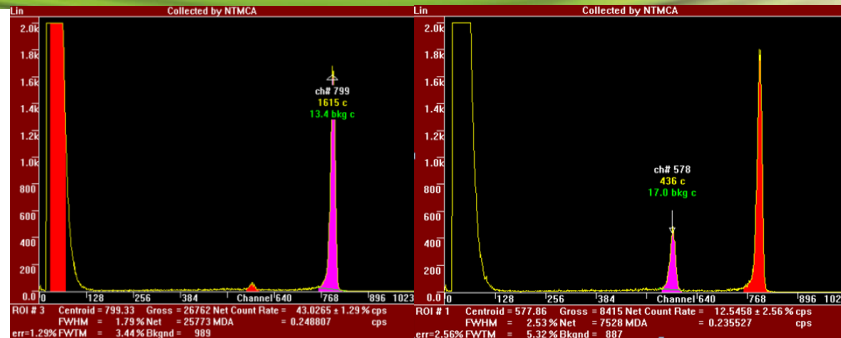
در صورتی که از کولیماتور استفاده شود مجموع سطح زیر پیک در مدت 300 ثانیه به حدود 18500 شمارش کاهش میابد که بیانگر راندمانی در حدود $1/85$ درصد می باشد.

در شکل ۲-۲ با استفاده از نرم افزار aptec قدرت تفکیک انرژی (FWHM) بر حسب درصد برای چشمه ^{241}Am در دو حالت بدون کلیماتور و با بکارگیری آن محاسبه و درج شده است. استفاده از کلیماتور قدرت تفکیک انرژی را حدود چهار برابر بهتر می کند



شکل ۲-۲. قدرت تفکیک انرژی برای ^{241}Am

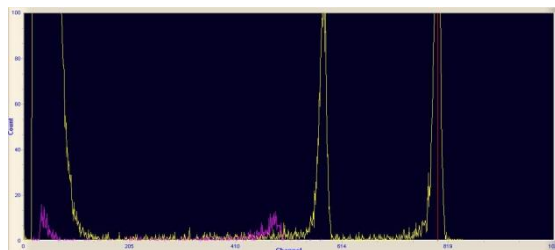
برای کاهش تداخل ناشی از عناصر آلفازای طبیعی همانگونه که در شکل ۲-۲ مشاهده می شود. قدرت تفکیک انرژی برای ^{214}Po (7.6MeV) و ^{218}Po (6.1MeV) به ترتیب 2.53 و 1.79 درصد محاسبه شده است. این میزان قدرت تفکیک با توجه به اینکه در ناحیه $3-5.5\text{MeV}$ طیف آلفا تداخل بسیار اندکی بوجود می آورد، لذا امکان آشکارسازی عناصر آلفازای طبیعی را به شدت بهبود می بخشد [۳] .



شکل ۳-۲. قدرت تفکیک انرژی برای ایزوتوپ های ^{202}Po ، ^{202}Po

استفاده از کلیماتور از این جهت که با افزایش قدرت تفکیک اثر تداخل را کاهش می دهد حائز اهمیت است. به این ترتیب در ابتدای شمارش با توجه به اینکه حجم هوای عبوری از فیلتر بسیار کم است، حداقل اکتیویته قابل آشکارسازی باید عدد بزرگی باشد. یعنی غلظت هسته آلفا باید آنچنان بالا باشد که با عبور کمترین مقدار هوا از فیلتر، آشکارساز اقدام به ثبت شمارش کند. سپس با افزایش حجم هوای عبوری این میزان کاهش می یابد و مجدداً با افزایش شمارش زمینه در اثر فعالیت رادن و دخترانش و انباشته شدن آنها بر روی فیلتر این حداقل محدوده آشکارسازی افزایش میابد که در نتیجه برای جبران آن یا باید فیلتر را تعویض نمود و یا اینکه به نحوی از تداخل طیف دختران رادن کاست. با استفاده از کلیماتور می توان از این تداخل کاست. میزان تداخل طیف ^{218}Po و ^{214}Po در ناحیه $3MeV$ تا $5.5MeV$ است. برای اینکار از چشمه استاندارد RN-190 استفاده شد به این منظور ابتدا طیفها با استفاده از دو پیک مربوط به $6.0MeV$ و $7.68MeV$ برای انرژی کالیبره شد و سپس نسبت شمارش زمینه در ناحیه $3MeV$ تا $5.5MeV$ بر حسب سطح زیر پیک مربوط به ^{218}Po و ^{214}Po با استفاده از مدل رگرسیونی محاسبه شده است.

در شکل ۴-۲. به منظور مقایسه کیفی دو طیف مربوط به چشمه رادن RN-190 به همراه طیف حاصل از شمارش یک چشمه بسیار ضعیف ^{241}Am با اکتیویته ۲۲ بکرل آورده شده است. در این شکل به خوبی تاثیر شمارش زمینه، در مشاهده مقادیر کم از آلفای مصنوعی مشهود است.



شکل ۴-۲. طیف زرد رنگ مربوط به چشمه رادن و طیف صورتی رنگ مربوط به $Am-241$ با اکتیویته ۲۲ بکرل می باشد

جدول ۱- شمارش مربوط به ناحیه های مختلف برای محاسبه اثر تداخل

Po-۲۱۴	سطح زیر پیک	۲۹۴۹	۵۱۹۹	۱۰۰۶۶	۱۴۹۹۲	۱۴۶۶۳	۲۷۷۲۲	۲۹۶۳۷	۱۹۲۱۲
Po-۲۱۸	سطح زیر پیک	۱۸۷۹	۲۹۷۸	۴۹۰۰	۶۲۳۷	۹۳۳	۱۳۹۴	۸۵۹۲	۱۱۲۲
۳-۵,۵ MeV	شمارش ناحیه	۴۷۳	۷۷۱	۱۳۶۳	۱۹۱۹	۱۴۵۷	۲۷۳۶	۳۵۵۴	۱۹۰۷

جدول ۲- نتیجه محاسبات رگرسیون برای تعیین میزان تداخل دختران رادن

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower ۹۵%	Upper ۹۵%
Intercept	۰					
Po-۲۱۴ Peak	۰,۰۹۴۲۸۸۱۴۹	۰,۰۰۰۷۲۲۰۱۲	۱۳۰,۵۹۰۷۶۵۶	۱۱	۰,۰۹۲۵۲۱۴۴۸	۰,۰۹۶۰۵۴۸۵
Po-۲۱۸ Peak	۰,۰۸۶۵۲۶۴۶۶	۰,۰۰۲۹۷۰۲۴	۲۹,۱۳۱۱۳۳۳۳	۰۷	۰,۰۷۹۲۵۸۵۵	۰,۰۹۳۷۹۴۳۸۲

به این ترتیب میتوان مینیم حد آشکارسازی (MDL) را به روش زیر برای ناحیه فوق مشخص نمود:

- این سیستم در شرایطی که غلظت رادن کمتر از ۴Bq/m^3 باشد پس از پمپ نمودن هوا بر روی فیلتر در زمان حداقل ۱ ساعت، غلظت آلفازای های مصنوعی در هوا را، در صورتی که بیشتر از $۰,۰۵\text{Bq/m}^3$ باشد، تشخیص می دهد

$$C_{^{221}\text{Rn}} \left(\frac{\text{Bq}}{\text{m}^3} \right) = \frac{^{218}\text{Po} (\text{cpm}) * ۲.۲}{۰.۰۱۸۴ * ۷۵ * ۴.۴ * ۰.۰۲۷ * ۰.۸۵} \leq ۴ \left(\frac{\text{Bq}}{\text{m}^3} \right)$$

$$\equiv ^{218}\text{Po} (\text{cpm}) \leq ۰.۲۵$$

- برای محاسبه حداقل شمارش برای ^{218}Po میتوان از یکی از طیفهای جمع آوری شده استفاده نمود. نزدیکترین طیف به شرایط مورد نظر، طیفی است که پس از یک ساعت پمپ نمودن جمع آوری شده است. در این زمان تقریباً غلظت رادن ۴Bq/m^3 بود و سطح زیر پیک ^{218}Po در حدود ۱۹ و سطح زیر پیک ^{214}Po تقریباً ۵۵ بدست آمده است. برای این حالت با توجه به جدول ۲ و ضرائب بدست آمده برای تاثیر ^{218}Po و ^{214}Po (به ترتیب ۰/۰۹۴۲۸ و ۰/۰۸۶۵) مجموع شمارش در یک ساعت برابر خواهد بود با $۶/۸$ در کل ناحیه ۳ تا $۵/۵$ مگا الکترون ولت:

$$۰/۰۸۶ \times ۱۹ + ۰/۰۹۴ \times ۵۵ = ۶/۸$$

که با اندازه گیری (روی طیف جمع آوری شده یعنی ۹ شمارش) نیز همخوانی مناسبی دارد. با توجه به اینکه این عدد در واقع شمارش زمینه در ناحیه مربوط به آلفاها های مصنوعی است، و مقدار آن میتواند به اندازه جذر آن تغییر کند (پهنای ۲ سیکما)، بنابراین خطای شمارش در این ناحیه حداقل برابر است با:

$$\nabla BGD \cong \pm \sqrt{7} \approx 2 \times \sqrt{7} \approx 5.3$$

این بدان معنی است که در طول مدت یک ساعت، چنانچه غلظت رادن از ۴ بکرل بر متر فراتر نرود، در این صورت مجموع شمارش در این ناحیه باید بیش از ۵,۳ باشد تا بتوان تغییری را در زمینه به طور محسوس مشاهده نمود. با در نظر گرفتن راندمان سیستم و حجم هوا عبوری در مدت یک ساعت (۴/۵ متر مکعب) این عدد معادل 4 Bq/m^3 میباشد:

$$MDL_{\alpha} = \frac{5.3/3600 (s)}{0.0184 * 4.5 \left(\frac{m^3}{h}\right) * 1 (h)} = 0.018 \text{ Bq/m}^3$$

در حالی که با این مقدار افزایش شمارش یعنی ۵,۳ شمارش در یک ساعت، خطای شمارش معادل ۴۳٪ میباشد زیرا

$$\nabla MDL_{\alpha} \approx \frac{\sqrt{5.3}}{5.3} = 0.43 \approx 43\%$$

و در صورتی که $MDL_{\alpha} = 0.05 \text{ Bq/m}^3$ مورد قبول باشد، شمارش در ناحیه مورد نظر به عدد ۱۸ در هر ساعت خواهد رسید و در این صورت خطای شمارش به ۲۳٪ کاهش می یابد:

$$\nabla MDL_{\alpha} \approx \frac{\sqrt{18}}{18} = 0.23 \approx 23\%$$

۳- نتیجه گیری

استفاده از کلیماتور قدرت تفکیک انرژی را بهتر می کند، اما حد آشکارسازی را بدلیل کاهش راندمان کلی سیستم طیف سنجی کاهش می دهد. برای رسیدن به یک نتیجه بهینه (Optimum) لازم است تغییراتی در ابعاد سلول های کلیماتور انجام داد. با افزایش ابعاد سلول قدرت تفکیک کاهش و راندمان افزایش خواهد یافت. این تغییرات را می توان با توجه به میزان رادن و تورون (ایزوتوپ های ^{214}PO , ^{212}PO , ^{218}PO) در مناطق مختلف به مقدار بهینه رساند.



دانشگاه گیلان

۷ و ۸ اسفند ماه ۱۳۹۲
رشت - دانشگاه گیلان

بیستین کنفرانس
نیز



Nuclear society of Iran
20th Iranian Nuclear Conference
26-27 February , 2014
University of Guilan Rasht - Iran

مراجع :

[۱] Table of Isotope

[۲] R.Pollanen, K.Perajarvi,T.Siiskonen,J. Turunen nuclear Instrumens and Methods in physics Research A ^{۶۹}s and Methods in physics Research A ۶۹۴(۲۰۱۲)۱۷۳-۱۷۸.

[۳] R.Pollanen,T.Siiskonen,Journal of Environmental Radioactivity ^{۸۷} (۲۰۰۶)۲۷۹.