مقاله کنفرانسی

مجله سنجش و ایمنی پرتو، جلد ۱۱، شمارهٔ ٤، زمستان (ویژه‌نامه) ۱٤۰۱، صفحه ۱۹-۲٤
ششمین کنفرانس سنجش و ایمنی پرتوهای یون‌ساز و غیریون‌ساز (مردادماه ۱٤۰۰)
تاریخ دریافت مقاله: ۱٤۰۰/۰۷/۰۹، تاریخ پذیرش مقاله: ۱٤۰۱/۰۵/۰۸

بررسی امکان اندازه‌گیری رادن با استفاده از آشکارساز سوسوزن

مصطفی کاظمی‌نیکو، محمدرضا رضایی‌راینی*، علی نگارستانی و سعیده خضری‌پور

گروه مهندسی هسته‌ای، دانشکده علوم و فناوری‌های نوین، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران.
*کرمان، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، دانشکده علوم و فناوری‌های نوین،
گروه مهندسی هسته‌ای، کدپستی: ۷٦۳۱۸۱۸۳۵٦.
پست‌الکترونیکی: mr.rezaie@kgut.ac.ir

چکیده

ذرات آلفا در اثنای متوقف شدن در محیط به علت یونیزاسیون و برانگیخته کردن اتم‌ها تابش‌های الکترومغناطیسی ازخود گسیل می‌کنند. طیف انرژی و شدت تابش به جنس و درصد عناصر موجود در هدف وضخامت آن بستگی دارد. با قرار دادن لایه‌هایی از فلزات و مواد مختلف و تغییر ضخامت آن‌ها در جلوی پنجره ورودی یک آشکار سوسوزن CsI(Tl) و تفسیر تغییر شدت در کانال‌های مختلف آشکارساز یک روش مناسب برای آشکارسازی ذرات آلفا معرفی شده است. در این تحقیق ذرات آلفا یک چشمه امرسیوم ۲٤۱ با انرژی ۵.٤۸ MeV به لایه‌های آلومینیوم، مس، آهن، استیل، کاغذ، فیلم رادیولوژی، سرب و پلاستیک با ضخامت‌های مختلف تابانده شده و تغییر شمارش کانال‌های آشکار سوسوزن CsI(Tl) بررسی شده است. با تفسیر نتایج کانال‌هایی که ماکزیمم شدت فوتون‌های گسیل شده در اثر توقف ذرات آلفا و الکترون‌های کنده شده را نشان می‌دهند به‌دست آمده است. با توجه به مشاهده کانال‌های اشعه ایکس مربوط به توقف ذرات آلفا، روشی برای آشکارسازی رادن نیز معرفی شده است. در این روش آب چشمه آب‌گرم جوشان در یک ظرف پلاستیکی که در انتهای آن لایه‌ای نازکی از جنس آهن تعبیه شده ریخته شده است و طیف زمینه اندازگیری شد. سپس آب داخل ظرف بهم زده شده و اختلاف در طیف زمینه اندازگیری شده است. مناسب‌ترین کانال برای اندازه‌گیری رادن، کانال ۵۷ است. با توجه به نتایج به‌دست آمده رابطه بین غلظت رادن و آهنگ شمارش در این کانال استخراج شده است.

کلیدواژگان: آلفا، رادن، CsI(Tl)، آشکارساز، آب.

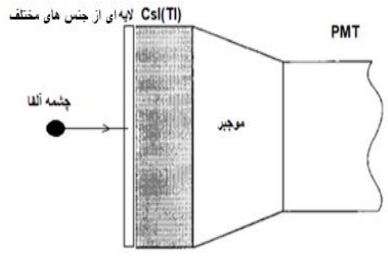
۱. مقدمه

آشکارسازهای تابش برای اندازه‌گیری جداگانه ذرات آلفا، بتا و گاما وجود دارد، آشکارسازهای ZnS(Ag) رایج ترین آشکار ساز برای تشخیص ذرات آلفا هستند و آشکار ساز NaI(Tl) و CsI(Tl) معمولاً برای تشخیص گاما به‌کار می روند. در این تحقیق سعی می‌شود تا امکان استفاده از آشکارهای سوسوزن برای آشکار سازی آلفا بررسی گردد. آشکارسازهای فوزویچ برای طیف‌سنجی پرتوها دارای ارزش هستند، به‌ویژه در مواردی که راه حل ارزان برای تابش‌های مختلف وجود دارد [۲،۱]. آشکارساز فوزویچ یک سیستم آشکارساز سوسوزن که متشکل از یک یا دو سوسوزن متخلف که به یک لوله نوری متصل است می‌باشد [٤،۳]. سوسوزن‌های غیرآلی نقش مهمی در تشخیص و طیف سنجی ذرات‌آلفا، اشعه ایکس، گاما و همچنین نوترون‌ها

و ذرات باردار دارند. کریستال‌های سوسوزن CSI(Tl) از موادی هستند که دارای حساسیت کم نسبت به رطوبت، عدد اتمی زیاد، کار با سهولت و هزینه کم، ویژگی‌هایی که آن را به عنوان آشکارساز ترجیح می‌دهد [۵]. سوسوزن، به‌عنوان یک آشکارساز ذرات آلفا مورد آزمایش قرار گرفته است [٦]. با تنظیم طول موج فوتون سوسوزن به ناحیه انتقال فیبر نوری، آشکارساز فوزویچ قادر به انجام شمارش همزمان آلفا و بتا می‌شود [۸،۷]. برای تشخیص ذرات آلفا و اشعه ایکس از منبع آمرسیوم ۲٤۱ با انرژی ۵.۵ MeV استفاده می‌شود [۱۰،۹]. در این تحقیق سعی می‌شود تا با قرار دادن لایه‌هایی مختلفی از آلومینیوم، مس، آهن، استیل، کاغذ، فیلم رادیولوژی، سرب و پلاستیک در جلوی پنجره ورودی یک آشکار سوسوزن CsI(Tl) و تفسیر تغییر شدت درکانال‌های مختلف آشکارساز یک روش مناسب برای آشکارسازی ذرات آلفا و رادن در آب معرفی شود که در ادامه به ذکر چگونگی انجام کار پرداخته می‌شود.

۲. مواد و روش‌ها

لایه‌هایی با ضخامت‌های مختلف از جنس آلومینیوم، مس، آهن، استیل، کاغذ، فیلم رادیولوژی، سرب و پلاستیک بین یک منبع آمرسیوم-۲٤۱ و آشکارساز CsI(Tl) قرار گرفته است. تعداد فوتون‌های دریافت شده در هر کانال انرژی مربوط به پرتوهایی ساطع شده در اثر توقف ذرات آلفا و الکترون‌های ثانویه در لایه‌های با ضخامت‌های مختلف در آشکارساز CsI(Tl) (شکل ۱) و اختلاف شمارش آن‌ها با حالت بدون لایه بررسی می‌گردد.



شکل (۱): نمایی از آشکارساز آلفای معرفی شده در این تحقیق.

۳. نتایج و بحث

جداول ۱-٤ ماکزیمم تغییرشمارش‌کانال‌های حساس به فوتون‌های گسیل شده در اثر توقف ذرات آلفا و الکترون‌های ثانویه در لایه‌های مختلف آلومینیوم، مس، آهن، استیل، کاغذ، فیلم رادیولوژی، سرب و پلاستیک در کانال‌های مختلف را نشان می‌دهد. با توجه به جدول ۵ که بر اساس نتایج جداول ۱-٤ استخراج شده است کانال ۱۰٤ با بیش‌ترین فراوانی در ماکزیمم شمارش افزایش شمارش در ضخامت‌های در حد ۱ میلی‌متر لایه‌های آلومینیوم، مس، آهن، استیل، کاغذ، فیلم رادیولوژی، سرب و پلاستیک مناسب‌ترین کانال برآورد می‌شود. اکتیویته چشمه برابر ۵ میکروکوری و شمارش فوتون‌های دریافت شده در مدت ۱۱٦۰ ثانیه انجام شده است. بنابراین کانال ۱۰٤، کانالی است که ماکزیمم شدت فوتون‌های گسیل شده در اثر توقف ذرات آلفا و الکترون‌های ثانویه در لایه‌های مختلف را نشان می‌دهد. براساس نتایج جدول ۵، لایه آهن با ضخامت ۰/۲ میلی متر در کانال ۱۰٤ با اختلاف شمارش ۸٦ عدد مناسب‌ترین‌گزینه برای آشکارسازی آلفا با آشکارساز سوسوزن معرفی شده در این تحقیق است.

جدول (۱): ماکزیمم تغییر شمارش فوتون‌های گسیل شده در اثر توقف ذرات آلفا در لایه‌های و کانال‌های مختلف.

Aluminium				Copper			
Deference Counts	Number of sheet	Energy(kev)	Channel	Deference Counts	Number of sheet	Energy(kev)	Channal
٦۳	۵	۳٦۰	۹۸	۲۷	٤	۳۸۳	۱۰٤
۵۱	٤	۳۸۳	۱۰٤	۱۸	۲	۵۷۲	۱۵۲
۳۳	۷	٤۱۸	۱۱۳	۲۵	٤	٦۳۷	۱٦۸
٤۵	٦	٤۸٤	۱۳۰	۱٦	٤	٦٤۹	۱۷۱
۳۲	۳	۵۰۸	۱۳٦	۱۸	۳	۷٤۸	۱۹۵
۲۷	٤	۵۲٤	۱٤۰	۱۹	۲	۸۲۹	۲۱٤
۲۵	۵	۵۲۸	۱٤۱	۱۵	۲	۱۲۲۹	۳۰۳
٤۷	۵	۵۳٦	۱٤۳	۱۳	۱	۱۳۲۰	۳۲۲
۲٤	۷	۵٦٤	۱۵۰	۱۱	٤	۱۳٤٤	۳۲۷
۳۸	۳	۵۷۲	۱۵۲	۱۰	۱	۱٦۷۹	۳۹۳
۲۵	۵	۵۸۰	۱۵٤	۱٦	۳	۱۷۵۹	٤۰۸
۱۷	۵	٦۱۲	۱٦۲	۱۱	۳	۲۲۱۸	٤۸۹

جدول (۲): ماکزیمم تغییر شمارش فوتون‌های گسیل شده در اثر توقف ذرات آلفا در لایه‌ها و کانال‌های مختلف.

iron			lead			
Deference Counts	Number of sheet	Energy(kev)	Channel	Deference Counts	Number of sheet	Energy(kev)	Channal
۸۶	۲	۳۸۳	۱۰۴	۲۰	۳	۳۸۳	۱۰۴
۶۰	۲	۴۵۷	۱۲۳	۶	۶	۵۸۰	۱۵۴
۲۳	۲	۵۱۶	۱۳۸	۱۰	۳	۷۹۵	۲۰۶
۱۸	۴	۵۲۰	۱۳۹	۱۳	۸	۸۲۵	۲۱۳
۳۰	۳	۵۲۴	۱۴۰	۱۶	۱	۱۳۲۰	۳۲۲
۴۲	۵	۵۲۸	۱۴۱	۹	۲	۱۳۳۴	۳۲۵
۳۲	۴	۵۶۰	۱۴۹	۱۲	۶	۱۳۶۴	۳۳۱
۲۴	۴	۵۶۴	۱۵۰	۱۴	۶	۱۶۰۰	۳۷۸
۲۰	۲	۵۷۲	۱۵۲	۹	۸	۱۶۷۹	۳۹۳
۳۶	۵	۵۸۰	۱۵۴	۱۱	۶	۱۷۵۹	۴۰۸
۲۵	۵	۶۳۷	۱۶۸	۱۱	۸	۲۲۶۶	۴۹۷
۱۴	۲	۷۳۶	۱۹۲	۹	۸	۲۳۲۱	۵۰۶

جدول (۳): ماکزیمم تغییر شمارش فوتون‌های گسیل شده در اثر توقف ذرات آلفا در لایه‌ها و کانال‌های مختلف.

Paper			plastic			
Deference Counts	Number of sheet	Energy(kev)	Channel	Deference Counts	Number of sheet	Energy(kev)	Channal
۲۹	۴	۳۵۲	۹۶	۶۷	۱	۳۸۳	۱۰۴
۲۲	۵	۳۵۶	۹۷	۳۴	۲	۳۹۱	۱۰۶
۴۸	۲	۳۶۰	۹۸	۳۲	۲	۴۵۷	۱۲۳
۲۹	۱	۳۶۴	۹۹	۱۲	۲	۴۶۱	۱۲۴
۴۲	۲	۳۵۷	۱۰۲	۱۹	۵	۴۶۸	۱۲۶
۷۸	۴	۳۸۳	۱۰۴	۳۷	۲	۴۸۴	۱۳۰
۵۳	۲	۳۹۱	۱۰۶	۱۹	۳	۵۳۶	۱۴۳

جدول (۴): ماکزیمم تغییر شمارش فوتون‌های گسیل شده در اثر توقف ذرات آلفا در لایه‌ها و کانال‌های مختلف.

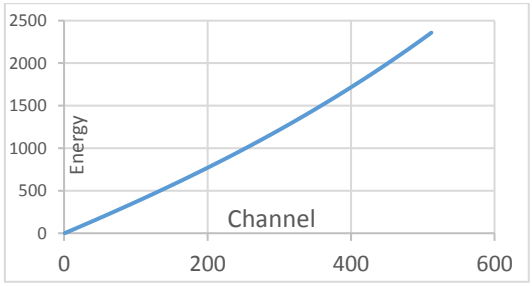
Radiology film			Steel			
Deference Counts	Number of sheet in maximum gamma ray radiation	Energy(kev)	Channel	Deference Counts	Number of sheet in maximum gamma ray radiation	Energy(kev)	Channal
۲۹	۴	۳۵۶	۹۷	۸۳	۱	۳۷۵	۱۰۴
۲۲	۵	۳۶۰	۹۸	۲۴	۲	۳۹۱	۱۰۶
۴۸	۲	۳۶۴	۹۹	۱۰	۱	۴۳۳	۱۱۷
۲۹	۱	۳۸۳	۱۰۴	۴۴	۲	۴۵۷	۱۲۳
۴۲	۲	۴۱۸	۱۱۳	۳۴	۱	۴۸۴	۱۳۰
۷۸	۴	۴۴۱	۱۱۹	۱۶	۳	۵۰۸	۱۳۶
۵۳	۲	۴۵۸	۱۲۳	۱۹	۵	۵۶۰	۱۴۹
۱۳	۲	۴۶۱	۱۲۴	۲۶	۳	۵۶۴	۱۵۰
۲۷	۲	۴۸۴	۱۳۰	۳۵	۲	۶۳۷	۱۶۸
۲۳	۲	۵۱۶	۱۳۸	۱۵	۵	۸۲۹	۲۱۴
۳۸	۳	۵۲۰	۱۳۹	۱۸	۳	۸۷۲	۲۲۴
۲۸	۲	۵۲۸	۱۴۱	۱۹	۲	۹۰۷	۲۳۲

جدول (۵): کانال‌های شمارش ماکزیمم در لایه‌های آلومینیوم، مس، آهن، استیل، کاغذ، فیلم رادیولوژی، سرب و پلاستیک.

Sheet	channel	Number of sheet	Deference Counts
Radiology Film	۱۱۹	۴	۷۸
Steel	۱۰۴	۱	۸۳
Plastic	۱۰۴	۱	۶۷
Paper	۱۰۴	۴	۷۸
Lead	۱۰۴	۳	۲۰
Iron	۱۰۴	۲	۸۶
Aluminum	۹۸	۵	۶۳
Copper	۱۰۴	۴	۲۷

۱.۳. کالیبره کردن سوسوزن با کبالت ۶۰

شکل ۲ کالیبره کردن کانال‌های سوسوزن را با کبالت ۶۰ و براساس برنامه کالیبراسیون نرم‌افزار نشان می‌دهد.

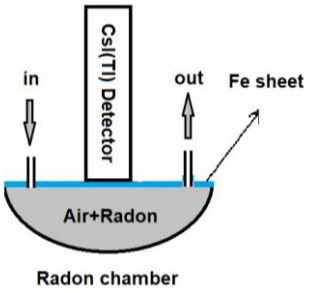


شکل (۲): کالیبره کردن سوسوزن با کبالت ٦٠.

با توجه به شکل ۲، انرژی کانال ١٠٤ برابر KeV ٣٨٣ است.

۲.۳. فرمول‌بندی اندازه‌گیری غلظت رادن با آشکارساز سوسوزن برحسب آهنگ شمارش در یک کانال خاص

مناسب‌ترین لایه ها برای آشکارسازی آلفا آهن با ضخامت‌های ۰/۱ میلی‌متر در انـرژی KeV ٣٨٣ یا کانال ١٠٤ است. شکل ۳ برای آشکارسازی رادن در هوا معرفی می‌گردد.



شکل (۳): اندازه‌گیری رادن با آشکارساز سوسوزن معرفی شده در این تحقیق.

مخزن رادن نیم کره ای به شعاع مساوی با برد ذرات رادن در هوا است. شمارش در یک کانال خاص N با لایه آهن در زمان t متناسب با غلظت رادن C در آب متناسب است. (معادله۱)

$$N = \lambda t C, \qquad (۱)$$

که λ ضریب تناسب است. در نتیجه غلظت رادن با استفاده از این آشکارساز برابر است با (معادله۲)

$$C = N/\lambda\, t. \qquad (۲)$$

در نتیجه برای اندازه‌گیری غلظت رادن در هوا با استفاده از آشکارساز CsI(Tl) و قرار دادن یک لایه آهن با ضخامت ۰/۲ mm در جلوی آن بایستی دستگاه روی کانال خاصی که شمارش ماکزیمم است تنظیم شده باشد و میزان فوتون‌های خالص دریافت شده در این کانال (N) در زمان (t) برحسب ثانیه محاسبه شده و سپس با استفاده از رابطه ۲ غلظت رادن را به‌دست آورد.

۳.۳. اندازه‌گیری رادن با استفاده از آشکارسازهای سوسوزن

در فرمول‌بندی بخش قبل، رابطه شمارش در یک کانال خاص آشکارساز سوسوزن با لایه آهن در زمان t با غلظت رادن به‌دست آمد. رابطه آهنگ شمارش در یک کانال خاص آشکارساز سوسوزن با لایه آهن با غلظت رادن برحسب برابر با فرمول ۳ است.

$$A = \frac{N}{t} = \lambda c. \qquad (۳)$$

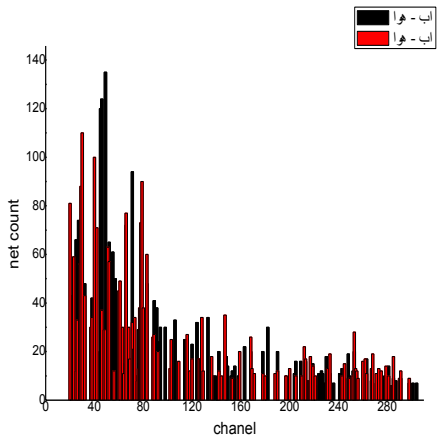
جهت محاسبه λ به‌صورت زیر عمل شده است. آب چشمه آب‌گرم جوشان در یک ظرف پلاستیکی که در انتهای آن لایه‌ای نازکی از جنس آهن تعبیه شده است ریخته شده و طیف زمینه در مدت یک ساعت اندازه‌گیری شد. سپس آب داخل ظرف بهم زده شده و اختلاف در طیف زمینه در مدت ١١٧٧ ثانیه اندازه‌گیری شده است.

شکل (٤): نحوه اندازه‌گیری رادن با CsI(Tl). ظرف آب جلوی آشکارساز CsI(Tl) قرار گرفته است.

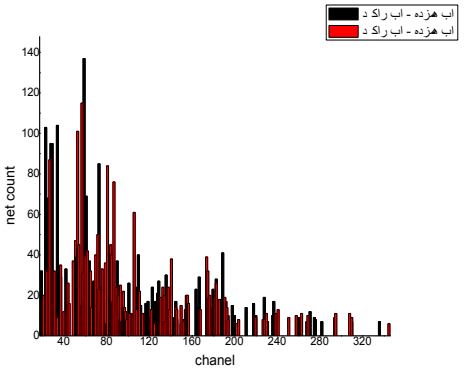
شکل‌های ٥ و ٦ نتایج حاصل از این کار را نشان می‌دهند (توضیح شکل‌ها). شمارش خالص برابر است با شمارش کانال درحضور آب منهای شمارش کانال بدون آب (هوا). با توجه به شکل ٥ مقدار تابش آب در کانال‌های مختلف مقدار آن فرق دارد ولی در کانال‌های پایین‌تر مقدار تابش آن بیش‌تر است.

در اثر به هم زدن آب رادن به هوای بالای آب منتقل می‌شود. رادن و دختران در اثر واپاشی سه آلفا MeV ٥/٤ ٧/٦ و٦ ارسال می‌کند که به آهن نازک برخورد و از خود تابش‌های مختلفی

در کانال های مختلف ارسال می‌کند تا کانال‌های کم‌تر از ۱۲۰ از میزان تابش بیش‌تری نسبت به تا کانال ۲۰۰ دارد و کانال‌های بالاتر از ۲۰۰ میزان تابش کمتری دریافت می‌کند. کانال‌هایی که در آن ماکزیمم شمارش مشاهده شده است در جدول ٦ آورده شده است.



شکل (۵): شمارش خالص کانال‌های مختلف آشکارساز CsI(Tl) برای دو نمونه آب قرار داده شده در ظرف.



شکل (٦): اختلاف در هر کانال را در حالتی که نمونه‌های آب به هم زده باشند و رادن آن‌ها از آب خارج و به هوای بالای آن منتقل شده باشد این اختلاف برابر است با شمارش در هر کانال مربوط به آب به هم خورده باشد منهای آبی که راکد باشد.

جدول ٦ نتیجه نهایی را بر حسب تطابق هر کانال و ماکزیمم و مینیمم شمارش مشاهده شده در هر کانال نشان می‌دهد. کانال‌های ۲۷، ۵۷، ٦۲، ۷۲ برای اندازه‌گیری میزان رادون در آب مناسب است. در بین آن‌ها کانال ۵۷ با ماکسیمم شمارش ۱۳۷ مناسب‌ترین کانال تشخیص داده شده می‌شود. علت آن این است که میزان شمارش در این کانال بیش‌تر از کانال دیگر است و می‌تواند میزان رادون را با دقت بالاتر اندازه بگیرد.

جدول (٦): کانال‌هایی که در آن ماکزیمم شمارش مشاهده شده است.

شمارش خالص	کانال	شمارش خالص	کانال
۸۵	۷۲	۹۵	۲۷
٦۹	٦۲	۳۷	٦۵
۲٦	۱۰۲	۱۳۷	۵۷
٦۱	۱۱۰	۳۰	۱۳۸
۳۹	۱۷٦	۲۷	۱۳۳
۱۰۳	۲٤	۳۳	٤٤
۸٤	۸٤	۲۰	۱۵٦

لازم به ذکر است که کانال ۱۰۲ یا ۱۱۰ که نزدیک کانال ۱۰٤ برای اندازه‌گیری تک آلفا با انرژی آمرسیوم ۲٤۱ می‌باشد دارای درجه عدم تطابق آلفا برای اندازه‌گیری رادون است. علت آن در اندازه‌گیری رادون سه آلفا با انرژی‌های متخلف به ورقه‌های فلزی تابیده می‌شود که در این جدول برای رادون کانال ۵۷ مناسب تشخیص داده می‌شود.

برای محاسبه‌ی ضریب لاندا با استفاده از فرمول ۳ ابتدا غلظت رادون با استفاده از آشکارساز radv۷ به‌دست آمده است. (۵۰ KBq/m^3) فرض می‌شود. زمان اندازه‌گیری شمارش کانال ۱۱۷۷ ثانیه و میزان شمارش خالص کانال ۵۷ در این بازه‌ی زمانی برابر است با ۱۱۵ در نظر گرفته می‌شود. با توجه به معادله ۳ ضریب لاندا به‌دست می‌آید.

$\lambda = ۱/۹۵E-4\ S/KBq/m^3$.

مناسب‌ترین کانال‌ها، کانال‌های ۲۷ ، ۵۷، ۷۲، ٦۲، ٦۵ و ۱۱۰ با شمارش‌های ۳۲ ، ۴۲، ۵۰، ۱۱۵، ۸۷ و ٤۰ برای حداقل غلظت رادن ۵۰ کیلوبکرل بر مترمکعب در مدت ۱۱۷۷ ثانیه اندازه‌گیری است‌که برای فرمول‌بندی از اطلاعات کانال ۵۷ به‌علت شمارش بالای ان (۱۱۵) استفاده می‌شود. بنابراین ضریب λ برابر با

$\lambda = ۱/۹۵E-4\ S/KBq/m^3$.

در نتیجه معادله اندازگیری غلظت رادن با استفاده از آشکارساز سوسوزن CsI(Tl) در کانال ۵۷ که یک لایه نازک از جنس آهن در جلوی ان تعبیه شده باشد به‌صورت معادله ٤ است.

$$C\left(\frac{kBq}{m^3}\right) = \frac{N}{\lambda}t = ۵۱۱/۷٤\frac{N}{t}. \qquad (٤)$$

با استفاده از رابطه ٤ غلظت رادن در یک نمونه آب دیگر (آب گرم زرند) نیز بدست آمده است. نتایج اختلاف شمارش در کانال‌های مختلف در جدول ۷ نشان داده شده است.

جدول (۷): کانال‌های ماکزیمم شمارش برای آب گرم زرند.

شمارش N	کانال‌های ماکزیمم رادن برای لایه آهن
۸۹	۵۷
۵۵	۵۹
۲۷	۱۵۳
۱۹	۱۱۸
۱۸	۱۰۳
۱۸	۱۵٦

شمارش درکانال ۵۷ برابر با ۸۹ شمارش برای محاسبه غلظت رادن در نمونه آب گرم زرند درمدت ۱۱۷۷ ثانیه است. با توجه به معادله ٤ غلظت رادن در نمونه آب گرم زرند برابر است با:

$C = ۵۱۱/۷٤\ N/t = ۵۱۱/۷٤ * ۸۹/۱۱۷۷ = ۳۸.٦۹\ kBq/m^۳$

که با مقدار اندازه‌گیری شده $۳۸.۵٤\ kBq/m^۳$ هم‌خوانی خوبی در حدود ۹۹٪ دارد.

٤. نتیجه‌گیری

در اثر برخورد آلفا به اجسام و متوقف شدن آن، اشعه ایکس تولید می‌شود که طول موج‌های اشعه ایکس تولید شده در کانال‌های مختلف یک آشکارساز CsI(Tl) بررسی شده است. در این تحقیق آلفای ۵/٤۸ MeV ازچشمه‌ی آمرسیوم ۲٤۱ به اهدافی از جنس‌های و ضخامت‌های مختلف داده تابیده شد. ابتدا کانال‌هایی حساس شناسایی شده و سپس با تفسیر کانال‌ها در ضخامت‌های مختلف بهترین ضخامت‌ها برای مشاهده طیف اشعه ایکس گسیل شده در آشکارساز سوسوزن معرفی شده‌اند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که آهن با ضخامت‌های ۰/۱ میلی‌متر برای این کار مناسب هستند. هم‌چنین امکان اندازه‌گیری رادن نیز با استفاده از آشکارساز CsI(Tl) بررسی شد. نتایج نشان می‌دهد که شمارش درکانال ۵۷ برای این کار مناسب است که با جای‌گذاری آن در معادله

$C = ۵۱۱/۷٤\ \frac{N}{t},$

غلظت رادن قابل محاسبه است.

۵. مراجع

1. S. Yamamoto, J. Hatazawa. Development of an alpha/beta/gamma detector for radiation monitoring. *Rev. Sci. Instrum.* 82 (11) (2011) 113503.
2. S. R. Moghadam, S. A. H. Feghhi, M. J. Safari. A phoswich detector for simultaneous alpha–gamma spectroscopy. *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. Sec. A: Accelerators, Spectrometers. Detectors Associated Equipment* 799 (2015) 59-63.
3. W. H. Miller, M. Diaz de Leon. Utilization of phoswich detectors for simultaneous, multiple radiation detection. *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 264 (1) (2005) 163-167.
4. W. Hennig, H. Tan, W. K. Warburton, J. I. McIntyre. Digital pulse shape analysis with phoswich detectors to simplify coincidence measurements of radioactive xenon. Proceedings of the 27th seismic research review: ground-based nuclear explosion monitoring technologies, 2 (2005) 787-794.
5. M. da Conceic, T. Madi Filho. Scintillation Characteristics of CsI Crystal Doped Br under Gamma and Alpha Particles Excitation. *Materials Sci. Appl.* 5 (6) (2014) 45842.
6. R. M. Sahani, C. Kumari, A. Pandya, A. Dixit. Efficient alpha radiation detector using low temperature hydrothermally grown ZnO: Ga nanorod scintillator. Sci. Rep. 9 (1) (2019) 1-9.
7. D. Benchekroun, F. Benrachi, B. Chambon, B. Cheynis, D. Drain, C. Pastor, G. Prete. Scintillating gas proportional phoswiches. *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. Sec. A: Accelerators, Spectrometers. Detectors Associated Equipment* 335 (3) (1993) 503-508.
8. K. Yasuda, S. Usuda, H. Gunji. Development of scintillation-light-transmission type phoswich detector for simultaneous alpha-and beta (gamma)-ray counting. 1999 *IEEE Nucl. Sci. Symposium and Med. Imaging Conf.* (Cat. No. 99CH37019) 2 (1999) 696-699.
9. A. R. Rao, S. Naik, M. Patil, J. P. Malkar, R. K. Kumar. An alpha tagged X-ray source for the calibration of space borne X-ray detectors. *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. Sec. A: Accelerators, Spectrometers. Detectors Associated Equipment* 616 (1) (2010) 55-58.
10. J. C. Cooper, D. S. Koltick, J. T. Mihalczo, J. S. Neal. Evaluation of ZnO (Ga) coatings as alpha particle transducers within a neutron generator. *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. Sec. A: Accelerators, Spectrometers. Detectors Associated Equipment* 505 (1-2) (2003) 498-501.