مجله سنجش و ایمنی پرتو، جلد ٤، شمارهٔ ۳، تابستان ۱۳۹۵

روشی جدید برای اندازه‌گیری پارامترهای چشمه‌های آلفازای فوق اورانیوم

محمود یزدان‌پناه‌کجانی و محمد لامعی‌رشتی *

آزمایشگاه واندوگراف، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، تهران، ایران.

*تهران، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، آزمایشگاه واندوگراف، کدپستی: ۸۳۶-۱۴۳۹۵

پست الکترونیکی : mlamehi@aeoi.org.ir

چکیده

روش همفرودی آلفا-گاما با استفاده از سامانه تحلیل‌گر چند پارامتری در حالت لیست برای اندازه‌گیری پارامترهای چشمه‌های آلفازای فوق اورانیم استفاده شده است. مزیت استفاده از روش لیست، جلوگیری از تکرار آزمایش‌های زیاد و به تبع آن صرفه جویی در هزینه و زمان صرف شده برای این نوع آزمایش‌هاست، که اغلب به دلیل نرخ بسیار کم نمونه‌ها، زمان زیادی را صرف می‌کنند. دستگاه تحلیل‌گر چند پارامتری اتفاق‌های همزمان دو آشکارساز آلفا و گاما را بدون استفاده از ماجول‌های زمان‌گیری خاص، در قالب فایل لیست ثبت کرده، و نرم افزار تحلیل‌گر، طیف‌های یک و دوپارامتری آشکارسازها را با استفاده از فایل لیست تشکیل می‌دهد. آزمایش استاندارد همفرودی آلفا-گاما با چشمه‌ی ^{241}Am که اغلب برای نشان دادن کارایی این سیستم‌ها بکار برده می‌شود، انجام شده و طیف‌های بدست آمده گزارش شده است. همچنین برای نشان دادن کارایی سیستم آزمایش تعیین فعالیت چشمه نامعلوم با استفاده از تکنیک همفرودی آلفا-گاما بدون نیاز به کالیبراسیون بازدهی آشکارسازها اجرا شده و با دقت ۲۵٪ مقدار فعالیت چشمه تعیین شده است.

کلیدواژگان: محفظه خلاء، همزمانی آلفا-گاما، چشمه‌های آلفازای فوق اورانیم، تحلیل‌گر چندپارامتری.

۱. مقدمه

مقررات پادمان‌های هسته‌ایی آژانس بین المللی انرژی اتمی، ابزاری ضروری برای عدم اشاعه هسته‌ای و همکاری صلح‌آمیز هسته‌ای است. پیمان منع تکثیر سلاح‌های هسته‌ای (NPT) انعقاد موافقتنامه‌های پادمانی (نظارتی) جامع با آژانس را توسط کشورهای عضو، اجباری می‌داند. کشورها می‌توانند با تشکیل پادمان‌های ملی، فعالیت‌های هسته‌ای خود را شفاف‌سازی نموده و از این طریق منافع ملی بیشتری تامین نموده و فشارها و تبلیغات سوء را خنثی نمایند.

یکی از فعالیت‌های مهم پادمان هسته‌ای اندازه‌گیری مواد هسته‌ایی از دسته آکتنیدها همچون اورانیم، پلوتونیم، نپتونیوم، آمرسیوم و کوریم با روش‌های مختلف آنالیز می‌باشد. روش همفرودی آلفا-گاما یکی از روش‌های دقیق و غیر مخرب برای این منظور است. امروزه استفاده از تکنیک همفرودی آلفا-گاما برای شناسایی عناصر فوق اورانیم در نواحی که انرژی دختران رادن در آن تداخل دارند بسیار کاربرد دارد [۱]. به دلیل تداخل انرژی‌های آلفای عناصر فوق اورانیم در یکدیگر، بدون استفاده از این تکنیک، حتی با استفاده از آشکارسازهای با قدرت تفکیک

بالا هم نمی‌توان عناصر فوق اورانیم را در این نواحی از یکدیگر تمیز داد [۲-٤].

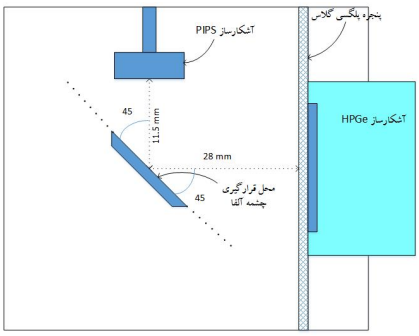
مدار متداول برای سیستم همفرودی آلفا –گاما، استفاده از یک مبدل آنالوگ به دیجیتال است که در مسیر آشکارساز گاما قرارگرفته و گیت آن به مدار زمان‌گیری شاخه آشکارساز آلفا وصل می‌شود [٤]. بدین ترتیب خروجی مبدل آنالوگ به دیجیتال، طیف گامای همفرودی است که با آلفا گیت شده است. اخیراً روش دیگری برای این کار استفاده شده، که در آن دستگاه تحلیل‌گر چندپارامتری و منحنی‌های کانتوراستفاده شده است [۵]. در این روش بهترین پنجره همزمانی با تکرار متوالی آزمایش در زمان‌های طولانی و ثبت منحنی دوپارامتری آلفا-گاما و انتخاب ناحیه مورد نظر برای هر آزمایش و تعیین شمارش‌های حقیقی برای هر پنجره همزمانی، بدست می‌آید.

در روش ابدایی که در کار حاضر توضیح داده شده، بجای تکرار آزمایش‌های متوالی، یک بار آزمایش همفرودی آلفا-گاما توسط تحلیل‌گر چندپارامتری در مد لیست انجام شده و تمام داده‌های مبدل‌های آنالوگ به دیجیتال به همراه زمان وقوع آن‌ها، در فایل لیست ثبت می‌شود. برای تولید منحنی‌های دوپارامتری آلفا-گاما، ابتدا پنجره همزمانی بصورت نرم افزاری تنظیم شده و با استفاده از تابع تکرار، فایل لیست ساخته شده فراخوانی شده و داده‌های همزمان دو آشکارساز آلفا و گاما با وارسی فایل لیست از ابتدا تا انتها، تعیین شده و در قالب منحنی دو پارامتری رسم می‌شود. مزیت استفاده از روش لیست، جلوگیری از تکرار آزمایش‌های زیاد و به تبع آن صرفه‌جویی در هزینه و زمان صرف شده برای این نوع آزمایش‌ها می‌باشد، که اغلب به دلیل نرخ بسیار کم نمونه‌ها زمان زیادی را صرف می‌کنند.

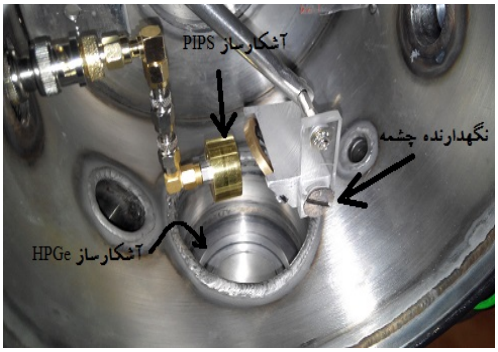
۲. مواد و روش‌ها

شکل (۱ نمای داخلی محفظه خلاء را نشان می‌دهد. همانطور که ملاحظه می‌شود، چشمه رادیواکتیو با یک میله، که در انتهای آن برش ٤۵ درجه خورده است، بین دو آشکارساز نگه داشته شده است. در کارهای قبلی که توسط وارگاس و همکاران انجام شده [۵]، بهترین زاویه قرارگیری چشمه بین دو آشکارساز برای این نوع آزمایش‌ها، برای بدست آوردن بهترین رزولوشن در طیف آلفا، زوایه ٤۵ درجه است [۵]، لذا در این کار نیز همین زاویه انتخاب شده است. دو آشکارساز نسبت به هم با زاویه ۹۰ درجه قرارگرفته‌اند و چشمه رادیواکتیو به نحوی در بین آن‌ها قرارگرفته که بردار عمود بر سطح آن، با بردار عمود بر سطح آشکارسازها، زاویه ٤۵ درجه می‌سازد.

آشکارساز آلفا از نوع پاپس با سطح حساس ۱۰۰ میلی-مترمربع، داخل محفظه جاسازی شده و خروجی آن از طریق کانکتور به بیرون محفظه منتقل شده است. آشکارساز خلوص بالای ژرمانیوم که دارای سطح حساس ۱۲۵٦ میلی‌مترمربع است، در بیرون محفظه قرارگرفته و از طریق یک پنجره با اورینگ مناسب به محفظه متصل شده است.



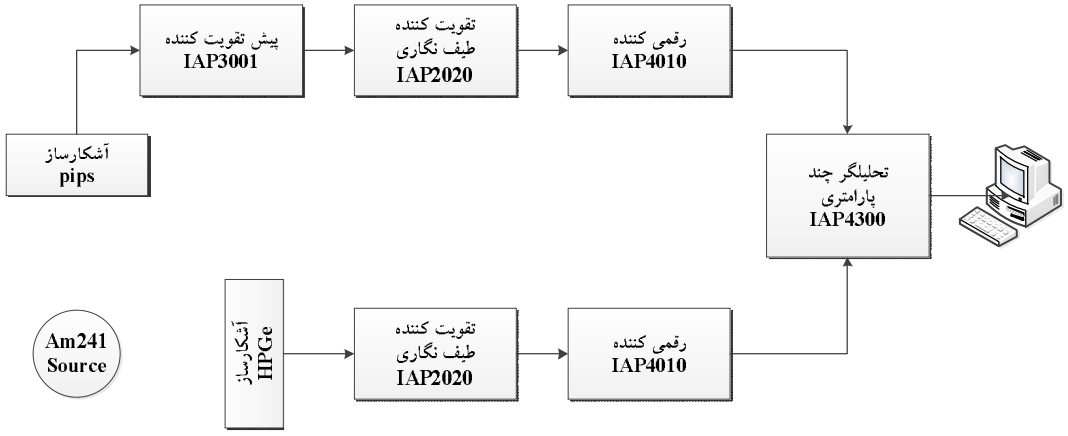
الف



ب

شکل (۱): نمای داخلی محفظه خلاء و چگونگی قرارگرفتن آشکارسازها و چشمه الف) نمای شماتیک ب) نمای واقعی

محفظه خلاء، بعد از نصب تمام اجزء، با یک پمپ خلاء روتاری بمیزان ۸ پاسکال [٦] خلاء شده وآشکارسازها مطابق شکل ۲ به ماجول‌های تقویت کننده، رقمی‌کننده و تحلیل‌گر چندپارامتری متصل شده‌اند.



شکل (۲): بلوک دیاگرام آزمایش همفرودی آلفا-گاما.

همانطور که در شکل ۲ نشان داده شده است، خروجی آشکارساز پایپس به پیش تقویت کننده حساس به بار ، متصل شده و سپس سیگنال خروجی آن به تقویت کننده طیف نگاری با گین ۳۰ و ثابت شکل دهی پالس ۱۰ میکروثانیه، منتقل شده و خروجی تک قطبی تقویت کننده به ورودی دستگاه رقمی‌کننده با ۲۰۲٤ کانال، به ورودی اول تحلیل‌گر چند پارامتری وصل شده است. خروجی انرژی پیش تقویت کننده‌ی آشکارساز ژرمانیوم نیز به تقویت کننده طیف نگاری با گین ۳۰ و ثابت شکل‌دهی پالس۱۰ میکروثانیه، منتقل شده و خروجی تک قطبی تقویت کننده به ورودی دستگاه رقمی‌کننده با ٤۱۹٦ کانال، به ورودی دوم تحلیل‌گر چند پارامتری وصل شده است.

داده‌های دریافت شده از دستگاه‌های رقمی‌کننده پس از ثبت در حافظه داخلی تحلیل‌گر چند پارامتری، از طریق درگاه یواس‌بی به رایانه منتقل می‌شوند. داده‌ها در بسته‌های ۵۱۲ بایتی ارسال می‌شوند. در ابتدای هر بسته یک شمارنده ٤ بایتی و در انتهای آن ٤ بایت که نشان‌دهنده انتهای بسته است، قرارداده شده است. هر بسته از ٤۲ بخش ۱۲ بایتی تشکیل شده است. دو بایت دوم هر بخش داده‌ی مبدل آنالوگ به دیجیتال، شش بایت بعدی زمان رسیدن سیگنال مبدل آنالوگ به دیجیتال است، که با استفاده از لبه بالا رونده سیگنال مرده مبدل آنالوگ به دیجیتال و با رزولوشن ۲۰ نانو ثانیه ثبت شده، دو بایت بعدی شامل زمان مرده است که با رزولوشن ۱٦۰ نانوثانیه ثبت شده است.

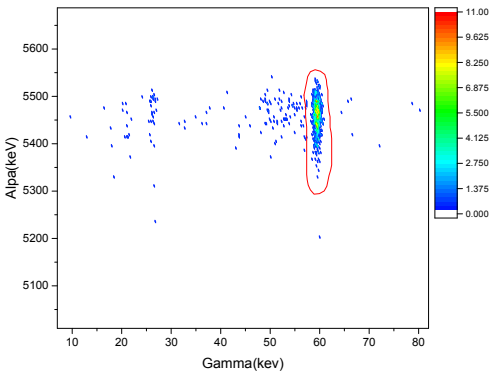
برنامه کاربردی بسته‌های ۵۱۲ بایتی را وارسی کرده و داده‌های مبدل آنالوگ به دیجیتال و زمان ثبت آن را پیدا می‌کند. با مقایسه زمان ثبت مبدل‌های آنالوگ به دیجیتال و زمان پنجره همزمانی که توسط کاربر قابل تنظیم می‌شود، داده‌های همزمان مشخص شده و ذخیره می‌گردند. بعد از آنالیز اولیه، طیف‌های بدست آمده، روی صفحه نمایشگر نشان داده می‌شوند.

برای این آزمایش از چشمه ^{241}Am با فعالیت ٪۲/۹۹± ۱۰۲/٤٤ بکرل استفاده شده است. آهنگ شمارش آلفا ۲/٤۱ شمارش بر ثانیه، آهنگ شمارش گاما در پیک ۵۹/۵ کیلو الکترون‌ولت ۰/۵ شمارش بر ثانیه، آهنگ شمارش گامای همفرود در همان پیک، ۹/٤ میلی شمارش بر ثانیه بوده، و زمان کل شمارش نیز ۵٦۰۳۰ ثانیه بوده است.

۱.۲. انتخاب بهترین پنجره همزمانی

اگر پنجره زمانی همفرودی خیلی بزرگ انتخاب شود علاوه بر ثبت تمام همفرودی‌ها، علامت‌های تصادفی زیادی نیز ثبت می‌گردند، و چنانچه این پنجره خیلی کوچک انتخاب شود، ممکن است بسیاری از علامت‌های همفرود ثبت نشوند، لذا باید بهترین مقدار پنجره هم‌زمانی تعیین شود. برای این منظور از فایل لیستی که حاوی تمام رخدادهای آلفا و گاما است، استفاده شده است.

قبل از خواندن داده‌ها و تحلیل آن‌ها پارامترهای سخت افزار و نرم افزار از نظر تعداد کانال‌ها و چگونگی همزمانی آن-ها و نحوه نمایش فرم‌ها تعیین شده است. سپس با استفاده از نرم افزار تحلیل‌گر، فایل لیست را باز کرده و برای پنجره‌های همزمانی بین ۵ تا ٤٠ میکروثانیه در حالت تکرار، بافر دو پارامتری به اندازه ۲۰٤۸×٤۰۹٦ رسم شد و ناحیه تقاطع پیک گامای ۵۹/۵ کیلو الکترون‌ولت و آلفاهای چشمه آمرسیوم مطابق شکل ۳ انتخاب شد. شکل ۳ قسمت بزرگ شده بافر دو پارامتری را در ناحیه پایین طیف گاما را نشان می‌دهد. محور افقی شماره کانال گاما و محور عمودی شماره کانال آلفا را نشان می‌دهد. ناحیه تقاطع پیک گامای ۵۹/۵ کیلو الکترون‌ولت و آلفاهای چشمه آمرسیوم با رنگ تیره‌تر نشان داده شده است.



شکل (۳): بافر دو پارامتری که در آن ناحیه تقاطع پیک گامای ۵۹/۵ کیلو الکترون ولت و آلفاهای چشمه آمرسیوم با رنگ تیره تر نشان داده شده است.

مقدار شمارش واقع در این ناحیه از شمارش‌های تصادفی (r_{ch}) که از فرمول زیر بدست می‌آید کم شده و شمارش‌های حقیقی بدست آمده است [۷].

$$r_{ch} = 2\tau r_\alpha r_\gamma \qquad (۱)$$

در این فرمول τ زمان همفرودی و r_α نرخ شمارش آشکارساز آلفا و r_γ نرخ شمارش آشکارساز گاما است. با تقسیم کردن شمارش‌های حقیقی بر زمان شمارش، نرخ شمارش‌های حقیقی بدست می‌آید.

۲.۲. کارایی سیستم

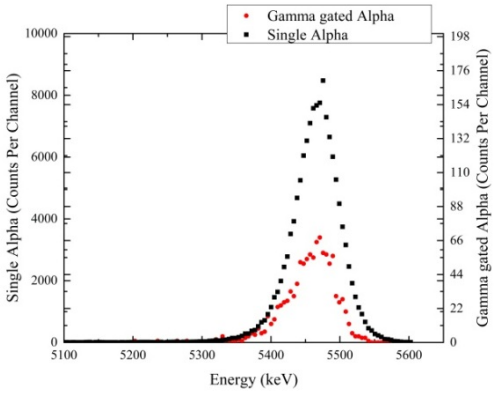
برای نشان دادن کارایی سیستم، فعالیت یک چشمه معلوم با استفاده از همفرودی آلفا – گاما بدست آمد. برای این کار از معادله زیر استفاده شده است [۷].

$$s = \frac{r_\gamma r_\alpha}{r_t - r_{ch}} \qquad (۲)$$

که در آن S فعالیت چشمه و r_t نرخ شمارش همفرودی حقیقی و r_{ch} نرخ شمارش همفرودی تصادفی است. r_γ نرخ شمارش آشکارساز گاما و r_α نرخ شمارش آشکارساز آلفا در نظر گرفته شده است. با استفاده از مقادیر به دست آمده از آزمایش قبل در بهترین زمان همفرودی (۱۰ میکروثانیه)، مقدار فعالیت چشمه ۵/٦٪ ± ۱۲۷/۷ بکرل بدست آمد.

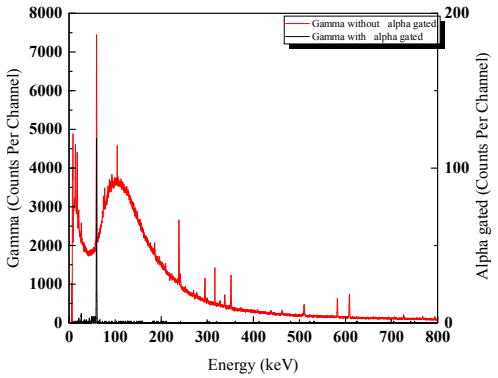
۳. نتایج

طیف واپاشی آلفای ^{241}Am در شکل ٤ نمایش داده شده است.



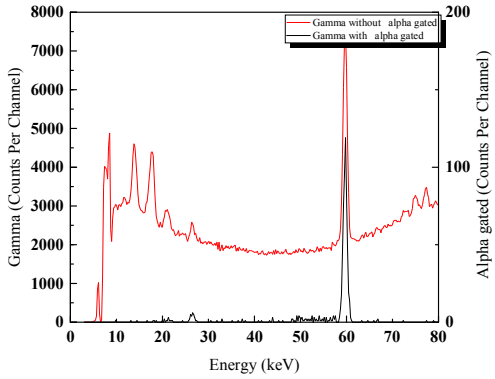
شکل (٤): طیف واپاشی آلفای چشمه‌ی ^{241}Am با و بدون همفرودی .

طیف گاماهای گسیل شده از چشمه درشکل ۵ نمایش داده شده است.



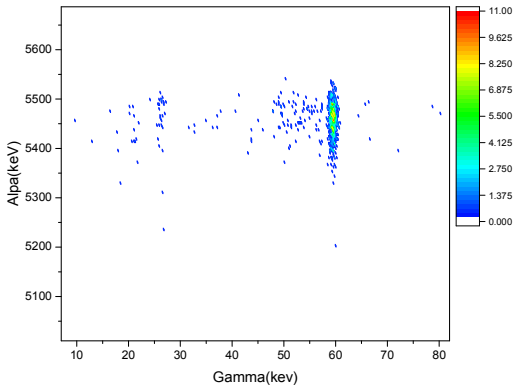
شکل (۵): طیف گاماهای گسیل شده از چشمه‌ی ^{241}Am با و بدون همفرودی آلفا-گاما.

طیف همفرودی آلفا-گاما با گیت آلفا، که در آن ناحیه زیر ۸۰ کیلو الکترون‌ولت باز شده، در شکل ٦ نمایش داده شده است.

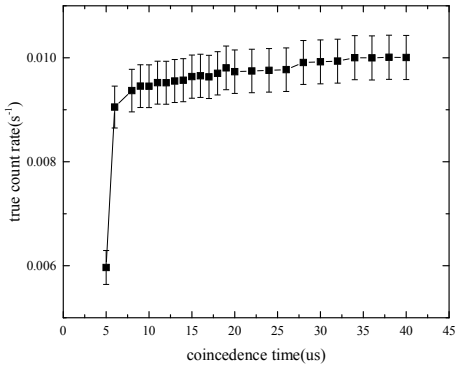


شکل (٦): طیف گامای با و بدون همفرودی آلفا-گاما، که در آن ناحیه زیر ۸۰ کیلو الکترون‌ولت باز شده است.

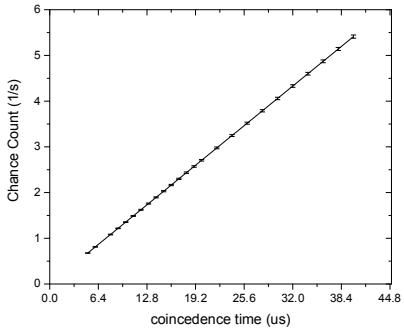
شکل ۷ قسمت بزرگ شده بافر دو پارامتری را در ناحیه پایین طیف گاما نشان می دهد. نتایج بخش انتخاب بهترین پنجره همزمانی در شکل‌های ۸ و ۹ نشان داده شده است. چنانچه مشاهده می‌شود، بهترین زمان همفرودی ۱۰ میکروثانیه بدست آمده است. شکل ۸ نرخ شمارش‌های حقیقی را بر حسب زمان همفرودی نشان می‌دهد.



شکل (۷): طیف دوبعدی همفرودی آلفا-گاما با گیت آلفا



شکل (۸): منحنی نرخ شمارش حقیقی بر حسب زمان همفرودی



شکل (۹): منحنی شمارش تصادفی بر حسب زمان همفرودی

مشاهده می‌شود که با افزایش زمان تا ۱۰ میکروثانیه شمارش‌ها به شدت افزایش یافته ولی از این زمان به بعد با یک شیب ملایمی افزایش می‌یابند. شکل ۹ نیز شمارش‌های اتفاقی را بر حسب زمان همفرودی نشان می‌دهد، همانطور که ملاحظه می‌شود، با افزایش زمان، شمارش‌های تصادفی با شیب ثابتی افزایش می‌یابند.

٤. نتیجه گیری

روش همفرودی آلفا-گاما با استفاده از سامانه تحلیل‌گر چند پارامتری در حالت لیست برای اندازه‌گیری پارامترهای چشمه‌های آلفازای فوق اورانیم توضیح داده شده است. مزیت استفاده از روش لیست، جلوگیری از تکرار آزمایش‌های زیاد و به تبع آن صرفه جویی در هزینه و زمان صرف شده برای این نوع آزمایش‌ها است. بهترین زمان همفرودی با استفاده از روش لیست، ۱۰ میکروثانیه بدست آمد و برای نشان دادن کارایی سیستم، آزمایش تعیین فعالیت چشمه نامعلوم با استفاده از نرخ شمارش‌های حقیقی و تصادفی انجام شد. در این آزمایش از چشمه ^{241}Am با فعالیت ۲/۹۹٪± ۱۰۲/٤٤ بکرل استفاده شد و سیستم تحت خلاء ۸ پاسکال قرار گرفته و طیف‌های واپاشی آلفای ^{241}Am و گسیل گاماهای آن و نیز همفرودی آلفا-گاما بدست آمده و ارایه شده است. آزمایش‌ها نشان می‌دهند که مقدار فعالیت اندازه گیری شده با مقدار واقعی ۲۵٪ اختلاف دارد.

۵. مراجع

[1] K. Perajarvi, S. Ihantola, R.C. Pollanen, H.I. Toivonen, and J.A. Turunen, Determination of 235U, 239Pu, 240Pu, and 241Am in a Nuclear Bomb Particle Using a Position-Sensitive α-γ Coincidence Technique. Environmental science & technology. (2011) 1528-1533.

[2] K. Perajarvi, J. Hakala, A. Jokinen, I.D. Moore, H. Penttila, R. Pollanen, A. Saastamoinen, H. Toivonen, J. Turunen, and J. Aysto, Event Mode Data Acquisition for Characterization of Samples Containing Radioactive Particles. Nuclear Science, IEEE Transactions on. 56 (2009) 1444-1447.

[3] J. Turunen, K. Perajarvi, R. Pollanen, and H. Toivonen, PANDA-A novel instrument for non-destructive sample analysis. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment. 613 (2010) 177-183.

[4] K. Breitenecker, D. Donohue, H. Eisenwagner, A.P. Maddison, and H. Siegmund, Configuration of an alpha–gamma coincidence spectrometer for utilization of safeguards measurements. Applied Radiation and Isotopes, 67 (2009) 2088-2091.

[5] M. Jurado Vargas, B. Caro Marroyo, and A. Martín Sanchez, Measurements of alpha–gamma coincidences with an optimized dual-parameter multichannel system. Applied Radiation and Isotopes, 82 (2013) 308-313.

[6] A. Martín Sanchez, and B. Caro Marroyo, Assembly of an alpha–gamma coincidence measuring device for checking alpha decay schemes. Applied Radiation and Isotopes, 70 (2012) 2263-2266.

[7] G.F. Knoll, Radiation detection and measurement, 4 ed, (2010).