

شبیه سازی آشکارساز اتاقک یونش برای محاسبه انرژی به جا گذاشته شده ناشی از پرتوهای

یونیزان کم انرژی محیطی

حسین دولت آبادی^{۱*}، مهدی نصری نصرآبادی^۲، محمد افشار^۳، میثم مژدی^۴

^۱ گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه پیام نور مشهد، مشهد

^۲ گروه مهندسی هسته ای، دانشکده علوم و فناوری های نوین، دانشگاه اصفهان

^۳ گروه فیزیک، دانشگاه علوم تحقیقات پیشرفته کرمان، کرمان

^۴ گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه سمنان

(تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۰۳/۲۶ - تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۰۷/۱۱)

چکیده

یکی از عوامل زیان آور وجود پرتوهای یونساز می باشد که آسیب های جدی، جبران ناپذیر و غیر قابل درمانی، برای افراد در بردارد. تماس با مقدار بیش از حد مجاز با این پرتوها می تواند اثراتی روی دستگاه خونساز، دستگاه گوارش، سیستم اعصاب مرکزی و در نهایت کل بدن بگذارد. بیشتر تجهیزات تصویر برداری پزشکی از جمله رادیولوژی تشخیصی و ماموگرافی، نیازمند یک دزیمتر با دقت بالا جهت اندازه گیری میزان دز جذب شده و همچنین تضعیف صورت گرفته بر روی بیم اشعه ای ایکس حین عبور از بافت بدن می باشند. در این تحقیق، شبیه سازی این نوع از آشکارسازهای اتاقک یونش، با استفاده از شبیه ساز آشکارسازهای گازی، ⁺⁺Garfield که توانایی پیش بینی سیگنال های به دست آمده از آشکارسازها را بر خلاف سایر برنامه های شبیه ساز دارد، انجام شده است. اتاقک یونش استوانه ای مورد استفاده در این تحقیق دارای حجم حساس ۳۰ سانتی متر مربع است. استفاده از ورقه های پلکسی پوشیده شده با گرافیت مشکلات عدیده ای به بار می آورد که از جمله ی آنها می توان به مشکل نحوه اتصال الکتروود ها به پایه های پلکسی و همچنین شکنندگی و غیر یکنواختی سطوح ورقه های پلکسی اشاره کرد. عموماً آغشته نمودن یک لایه از پلکسی گلاس توسط اسپری گرافیت، منجر به ایجاد پستی و بلندی های زیادی روی سطوح شده و این امر منجر به غیر یکنواخت شدن خطوط میدان الکتریکی مابین الکتروود ها شده و در نتیجه بر عملکرد مطلوب اتاقک های یونش تأثیر منفی می گذارد.

واژه های کلیدی: انرژی به جا گذاشته شده، اتاقک یونش، پرتوهای یونیزان، دوزیمتر

۱. مقدمه

آشکارسازی ذرات عبارتست از فرآیندی که در آن جرم، انرژی، بار، مسیر حرکت و نوع ذره حامل انرژی که در واکنش‌های هسته‌ای بوجود می‌آید، تعیین می‌شود. در اثر برخورد پرتوهای پرانرژی با ماده، تغییرات فیزیکی و شیمیایی خاصی در آن پدید می‌آید. این تغییرات موقتی یا دائمی، اساس کار آشکارسازی پرتوهای پرانرژی را تشکیل می‌دهند. البته، این تغییرات عموماً ناچیز و نامحسوس هستند [۱]. این فرآیند متشکل از یک دستگاه آشکارساز است، که این دستگاه بسته به نوع ذره تابشی و ماده آشکارسازی می‌تواند متفاوت باشد. سهم عمده در آشکارسازی ذره، توسط ماده‌ای متناسب با ذره تابشی در دستگاه آشکارساز انجام می‌شود که عبارت است از برهم‌کنش ذره باردار حامل انرژی مداری ماده آشکارسازی که این برهم‌کنش به یک تب الکتریکی توسط مدارهای الکترونیکی آشکارساز تبدیل می‌شود. لازم بذکر است که در روش‌های آنالیز مواد، فیزیک هسته‌ای و شناسایی نواحی آلوده به مواد رادیواکتیو، اطلاع از میزان انرژی پرتو برای شناسایی عنصر، یک نیاز اساسی است [۲].

امروزه به طور گسترده از آشکارسازهای مختلف، برای اندازه‌گیری دز جذبی و میزان تضعیف پرتو X در بافت‌های بدن استفاده می‌شود [۳]. جهت اندازه‌گیری میزان تضعیف پرتوهای الکترونی و پرتوهای X با استفاده از دزیومتر ها، روش‌های بسیاری از جمله سوسوزنی، واکنش شیمیایی پرتو با ماده و یونیزاسیون گازها وجود دارد، که در این میان روش یونیزاسیون گازی به علت سادگی و قابلیت اطمینان بهتر، سرعت و دقت

مطلوب در اندازه‌گیری گستره وسیعی از نرخ دز جذب شده، نسبت به بقیه روش‌ها ارجحیت داشته و به همین دلیل به عنوان یک سیستم دزیمتری رایج مد نظر است [۲].

کار یک دستگاه آشکارساز عبارت است از تولید یک سیگنال به ازای هر ذره‌ای که وارد آن می‌شود. هر آشکارساز با استفاده از نوعی برهم‌کنش ذرات با ماده کار می‌کند. خروجی اغلب آشکارسازها یک تب ولتاژ است. هر ذره‌ای که وارد آشکارساز می‌شود، می‌بایست در محل خروجی شمارنده تولید تبی کند که از سطح نوفه الکترونیکی دستگاهی که آن را می‌پذیرد، بالاتر باشد. در چنین موردی تمامی ذرات یونیزانی که وارد آشکارساز می‌شوند، آشکار خواهند شد و بازده آشکارساز که به صورت نسبت ذرات آشکارسازی شده به تعداد ذرات وارد شده به آن تعریف می‌شود، ۱۰۰٪ خواهد بود. زمان تولید تب نیز باید کم باشد بطوری که، ذراتی که یکی پس از دیگری به سرعت وارد آشکارساز می‌شوند، تولید تب جداگانه‌ای نمایند. در واقع دوام تب، میزانی از زمان مرده‌ی شمارنده است که ممکن است منجر به افت شمارش در آهنگ‌های شمارش بالای پرتوهای یونیزان شود. اگر مقصود اندازه‌گیری انرژی ذره باشد، ارتفاع تب تولید شده در آشکارساز باید ارتباط مستقیمی با انرژی پرتوهای یونیزان داشته باشد. اگر دو ذره و یا بیشتر، به یک اندازه در آشکارساز انرژی بر جای بگذارند، تب‌های همخوان با آنها باید ارتفاع یکسانی داشته باشد. این ضرورت را بر حسب توان تفکیک انرژی آشکارساز بیان می‌کنند [۲].

اگر میدان تابشی، متشکل از ذراتی با انرژی‌های متفاوت باشد و هدف، اندازه‌گیری و تفکیک سطح انرژی این پرتوها باشد،

توان تفکیک انرژی آشکارساز از اهمیت بالایی برخوردار می شود [۴]. لازم به ذکر است که زمان مرده یا قدرت تفکیک زمانی یک دستگاه آشکارساز، به صورت زمان کمینه ای تعریف می شود که باید بین ورود پی در پی ذرات به آشکارساز طی می شود تا دو تپ متمایز تولید شوند. بنابراین زمان مرده، زمان لازم بین لحظه ی برخورد ذره به آشکارساز و لحظه ای است که تپ ولتاژ درون آشکارساز در حال شکل گیری است. در واقع پارامتری که دارای اهمیت است زمان مرده ی شمارنده است، نه زمان مرده ی آشکارساز به تنهایی [۲].

در صورتی که زمان مرده ی یک آشکارساز قابل توجه باشد، این امکان وجود دارد که بعضی از ذرات ثبت نشوند، زیرا آشکارساز برای آن ها تپی ایجاد نکرده است. در چنین حالتی آشکارساز مشغول تولید علامتی است که از ذراتی که قبلاً وارد آشکارساز شده اند، تولید شده است. از دست دادن شمارش ناشی از پرتوهای یونیزان، بویژه در آهنگ های شمارش بالا اهمیت پیدا می کند، زیرا بایستی آهنگ شمارش را برای از دست دادن شمارش های ناشی از زمان مرده تصحیح نمود [۲].

بررسی بازترکیب حجمی در گازهای مختلف

در این تحقیق برای بررسی بازترکیب در گازهای مختلف، پارامتر m که به شکل زیر و به صورت یک ضریب در رابطه بازترکیب وارد می شود، در گازهای مختلف مورد مقایسه قرار گرفته است.

$$m = \sqrt{\frac{\alpha}{ek_1k_2}} \quad (1)$$

در این رابطه، α ضریب بازترکیب گازها بر حسب cm^3/s ، e بار

الکترون بر حسب C و k_1 و k_2 نیز به ترتیب بیانگر تحرک پذیری بارهای مثبت و منفی بر حسب $\text{cm}^2/\text{V.s}$ می باشند. در هوا، ضریب بازترکیب α در حالتی که بارهای منفی شامل یون های منفی باشد، در محدوده ی $10^{-6} \text{ cm}^3/\text{s}$ تا $2 \times 10^{-6} \text{ cm}^3/\text{s}$ و برای الکترون ها در محدوده $10^{-7} \text{ cm}^3/\text{s}$ تا $10^{-10} \text{ cm}^3/\text{s}$ است [۴]. مقدار α برای گاز نیتروژن در فشار پایین برابر $1/5 \times 10^{-6} \text{ cm}^3/\text{s}$ [۳] و برای آرگون در دمای 300 K برابر با $10^{-7} \text{ cm}^3/\text{s}$ [۳] است. مقادیر مربوط به تحرک پذیری بارهای مثبت و منفی نیز در گازهای مختلف در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱. مقادیر تحرک یون های مثبت و منفی برای چند نوع گاز مختلف [۴]

نوع گاز	هوا	آرگون	هیدروژن	نیتروژن	دی اکسید کربن
K_1 ($\frac{\text{cm}^2.\text{mmHg}}{\text{s.Volt}}$)	۱۰۷۰	۱۰۴۰	۴۳۰۰	۹۸۰	۶۰۰
K_2 ($\frac{\text{cm}^2.\text{mmHg}}{\text{s.Volt}}$)	۱۳۵۰	۱۲۹۰	۶۵۰۰	۱۳۸۰	۷۲۰

در راستای این تحقیق با توجه به مقادیر فوق، ضرایب m در سه گاز هوا، نیتروژن و آرگون محاسبه و مورد مقایسه قرار گرفتند و نتایج حاصل در جدول ۲ آورده شده اند. محاسبات در فشار 760 mmHg انجام شده است. با مقایسه ی مقادیر مربوط به ضرایب m در سه گاز مذکور، مشاهده می شود که میزان بازترکیب در هوا بیشترین و در آرگون کمترین مقدار است.

جدول ۲. مقادیر محاسبه شده m در سه گاز مختلف هوا،

نیتروژن و آرگون

نوع گاز	هوا	نیتروژن	آرگون
ضریب m	$2/23 \times 10^7$	$1/79 \times 10^7$	$1/48 \times 10^7$

جدول ۳. مقادیر مختلف W در گازهای مختلف [۴]

نوع گاز	انرژی اولین یونش	W-Value (eV/ion pair)	
		الکترون‌های سریع	ذرات آلفا
آرگون	۱۵/۷	۲۶/۴	۲۶/۳
هلیوم	۲۴/۵	۴۱/۳	۴۲/۷
هیدروژن	۱۵/۶	۳۶/۵	۳۶/۴
نیتروژن	۱۵/۵	۳۴/۸	۳۶/۴
هوا		۳۳/۸	۳۵/۱
اکسیژن	۱۲/۵	۳۰/۸	۳۲/۲
متان	۱۴/۵	۲۷/۳	۲۹/۱

۲. مواد و روش‌ها

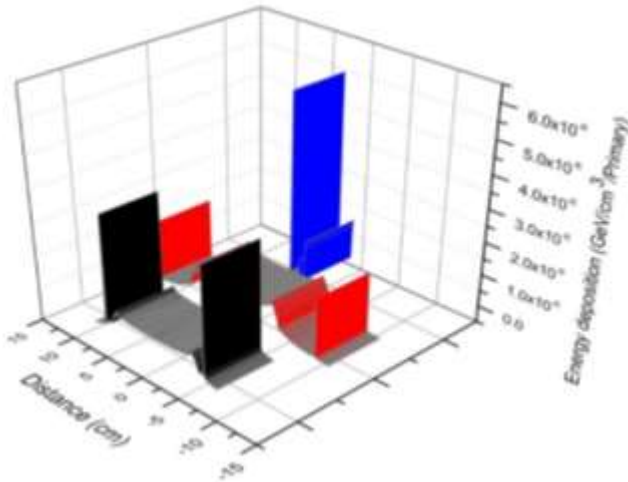
بدون شک اتاقک‌های یونش با هندسه‌ای استوانه‌ای، یکی از مناسب‌ترین ابزارها جهت آشکارسازی و دزیمتری پرتوهای یونیزان می‌باشند. ضریب اطمینان بالا، پاسخ سریع و به ویژه هزینه‌ی ساخت نسبتاً پایین این گونه از آشکارسازها نسبت به سایر آشکارسازهای اشاره شده در متن، از جمله مواردی است که توجه روز افزون به ساخت و بهبود عملکرد این نوع از آشکارسازها را موجب می‌شود. در سال‌های اخیر نیز تلاش‌هایی در زمینه‌ی ساخت این چنین آشکارسازهای پرتوهای

یونیزان جهت استفاده در آزمایشگاه‌های استاندارد دزیمتری داخل کشور صورت گرفته است. استفاده از برنامه‌های شبیه‌ساز، قبل از ساخت، به منظور صرفه جویی در زمان و هزینه، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این تحقیق، شبیه‌سازی این نوع از آشکارسازهای اتاقک یونش، با استفاده از شبیه‌ساز آشکارسازهای گازی، $Garfield^{++}$ ، که توانایی پیش‌بینی سیگنال‌های به دست آمده از آشکارسازها را بر خلاف سایر برنامه‌های شبیه‌ساز دارد، انجام شده است. آشکارسازهای ذرات یونیزان به این صورت عمل می‌کنند که تشعشعات مواد رادیو اکتیو مثل گاز رادون وارد آن‌ها شده و با اتم‌های ماده آشکارساز برهم‌کنش می‌کنند. ذرات ورودی بخشی از انرژی خود را صرف جدا سازی الکترون‌های کم‌انرژی ماده آشکارساز از مدارهای اتمی خود می‌کنند. این الکترون‌ها و یونش‌های ایجاد شده، جمع‌آوری و توسط یک مدار الکترونیکی برای تحلیل به صورت یک تپ ولتاژ یا جریان در می‌آید. حال از روی دامنه‌ی سیگنال به وجود آمده، می‌توان به میزان مواد رادیو اکتیو موجود در محل پی برد. لذا با دانستن مقدار انرژی بر جای مانده در حجم حساس آشکارساز، می‌توان به اطلاعات بسیار مهمی از میزان مواد رادیو اکتیو موجود در محیط دست یافت.

۳. نتایج و بحث

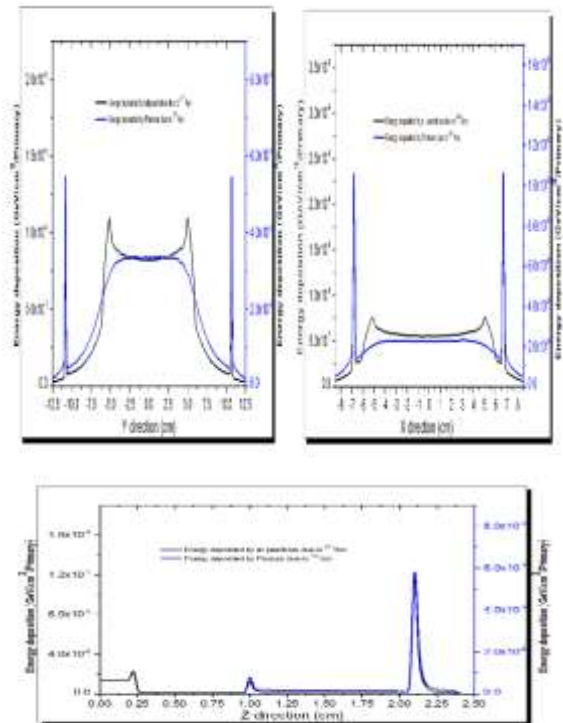
بررسی انرژی بر جای مانده در حجم حساس آشکارساز و همچنین تاثیر پنجره‌های ورودی و خروجی و به ویژه الکتروود مرکزی بر روی مسیر بیم اشعه‌ی X تابیده شده به

آن، یکی از مهم ترین پارامتر هایی است که در روند شبیه سازی و عملکرد این آشکارساز، مورد بررسی قرار گرفته است. برای بررسی این موضوع از کد شبیه ساز Garfield++ استفاده گردید که در این قسمت به نتایج حاصل از آن پرداخته شده است.



شکل ۲- منحنی سه بعدی انرژی بر جای مانده در آشکارساز اتاقک یونش ناشی از چشمه ^{241}Am برای همه ذرات و گاماها

منحنی سه بعدی نمایانده شده در شکل (۲)، انرژی بر جای مانده در آشکارساز اتاقک یونش ناشی از همه ذرات و گاماها را به صورت دقیق و شفاف نمایش می دهد. اثرات Bragg-Peak به این معنا است که ذرات باردار و به ویژه ذرات باردار سنگین، تمام انرژی خود را در ست در لحظه توقف آزاد می کنند. از این خاصیت ذرات سنگین باردار بیشتر در رادیوتراپی جهت انتقال بیشتر انرژی به تومورها استفاده می شود.



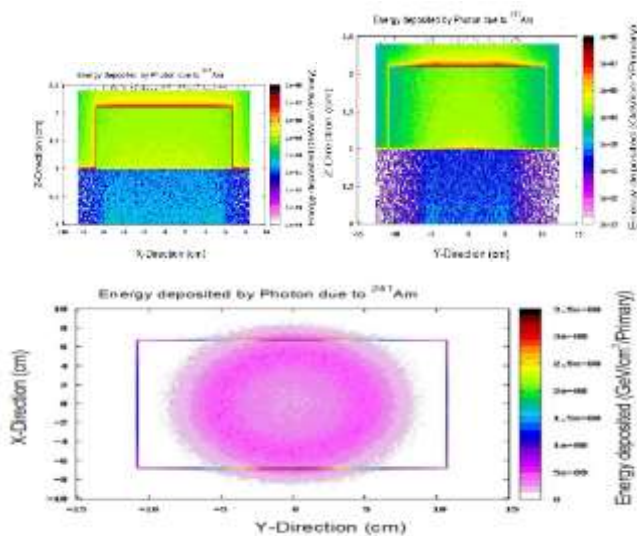
شکل ۱- منحنی انرژی بر جای مانده در آشکارساز اتاقک

یونش ناشی از همه ذرات و فوتون های گسیلی از چشمه ^{241}Am

در سه راستای x-y-z

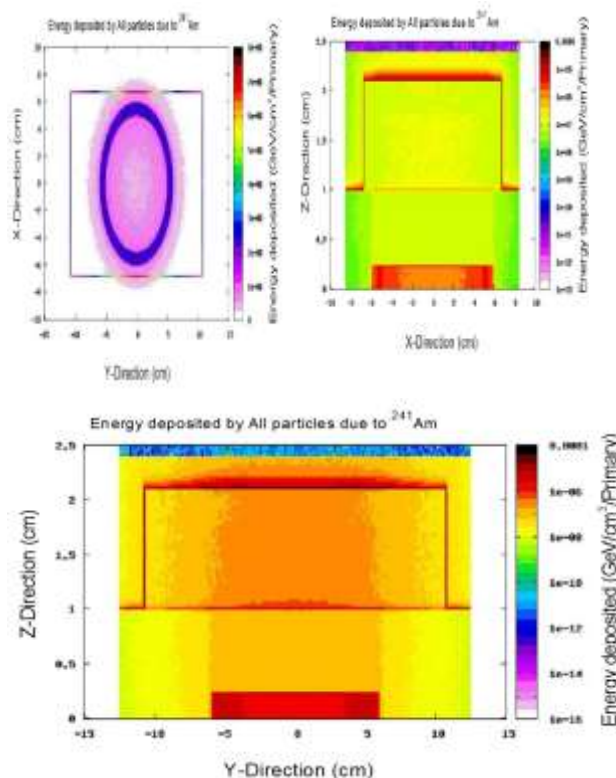
شکل ۱ منحنی انرژی به جای مانده در آشکارساز اتاقک یونش ناشی از همه ذرات و گاماها از چشمه ^{241}Am در سه راستای x-

یونش یک صفحه از جنس مایلار با ضخامت چند میکرومتر قرار داده می شود.



شکل ۴- منحنی دو بعدی انرژی بر جای مانده در آشکارساز

اتاقک یونش، ناشی از گاماها ی چشمه ^{241}Am



شکل ۳- منحنی دو بعدی انرژی بر جای مانده در آشکارساز

اتاقک یونش ناشی از همه ذرات چشمه ^{241}Am

۴. نتیجه گیری

اتاقک یونش استوانه‌ای مورد استفاده در این تحقیق دارای حجم حساس 30 cm^3 است. دیواره‌ی آن از $15 \mu\text{m}$ آلومینیوم با شعاع داخلی $14/97 \text{ mm}$ و روکشی از جنس پلی استایرن (برای برقراری شرایط تعادل الکترونی) به ضخامت $3/35 \text{ mm}$ ساخته شده است. الکتروده میانی آن میله‌ای از جنس آلومینیوم به شعاع 5 mm است که با استفاده از تفلونی به ضخامت 2 mm ، از حلقه‌ی محافظ آلومینیومی به ضخامت 1 mm جدا شده است. عایق به کار رفته برای جداسازی حلقه‌ی محافظ آلومینیومی دیواره‌ی اتاقک نیز از جنس تفلون و به ضخامت $0/65 \text{ mm}$ می باشد. ترکیب عایق و حلقه‌ی محافظ برای هر دو سر اتاقک تعبیه شده است. این اتاقک،

شکل (۳) منحنی دو بعدی انرژی بر جای مانده در آشکارساز اتاقک یونش ناشی از همه ذرات چشمه ^{241}Am را نشان می دهد. این نمودارها به وسیله ROOT که یکی از ابزارهای جانبی نرم افزار گارفیلد می باشد، ترسیم شده است. شکل (۴) منحنی دو بعدی انرژی بر جای مانده در آشکارساز اتاقک یونش ناشی از گاماها ی چشمه ^{241}Am را نشان می دهد. در بحث آشکارسازی گاما باید توجه کرد که در ابتدا گاما بایستی توسط پدیده‌ی فوتوالکتریک به الکترون تبدیل شده و سپس این الکترون تولید شده منجر به یونیزاسیون شده و مقداری انرژی در حجم حساس آشکارساز رها می نماید. به همین دلیل در جلوی آشکارساز اتاقک

یکنواخت شدن خطوط میدان الکتریکی مابین الکترودها شده و در نتیجه بر عملکرد مطلوب اتاقک های یونش تأثیر منفی می گذارد.

مراجع

- [1] Oliveira C. and et al. "A comparative study of three ionizing chambers for measurements of personal dose equivalent", Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Laboratório de Metrologia das Radiações Ionizantes, Radiation Physics and Chemistry 116 (2015) 82–86.
- [2] Tsoulfanidis, N., Landsberger, S. Measurement and detection of radiation. CRC press, 2010. Khan, F.M. Physics of Radiation Therapy, University of Minnesota Medical School, Minnesota, 2003.
- [3] Perini, A.P., Neves, L.P., Caldas, L.V.E., Investigation of the applicability of a special parallel-plate ionization chamber for x-ray beam dosimetry, Radiation Physics and Chemistry, 95 (2014) 94-97.
- [4] Costa, A.M., Caldas, L. V. E., A special ionization chamber for quality control of diagnostic and mammography x ray equipment, Radiation Protection Dosimetry, 2015.

گاز را به صورت لوله-گازی^۱، از خود عبور می دهد. دو سوراخ برای ورود و خروج گاز به درون اتاقک در انتهای آن تعبیه شده است. گازها با استفاده از لوله های پلاستیکی به قطر ۳ mm به اتاقک وارد و از آن خارج می شوند. در این تحقیق، جهت یکنواختی هر چه بیشتر میدان الکتریکی بین الکترودها در حین اعمال ولتاژ، از تعبیه الکترودها محافظ در الکترودها جمع کننده استفاده شد. استفاده از ورقه های پلکسی پوشیده شده با گرافیت که امروزه بطور متداول برای تولید این گونه از اتاقک های یونش مورد استفاده قرار می گیرد، مشکلات عدیده ای به بار می آورد که از جمله ی آنها می توان به مشکل نحوه اتصال الکترودها به پایه های پلکسی و همچنین شکنندگی و غیر یکنواختی سطوح ورقه های پلکسی اشاره کرد. عموماً آغشته نمودن یک لایه از پلکسی گلاس توسط اسپری گرافیت، منجر به ایجاد پستی و بلندی های زیادی روی سطوح شده و این امر منجر به غیر

A. Simulation of the ion chamber detector to calculate the energy left by ionizing radiation from ambient energy

Hossein Dolatabadi¹, Mehdi Nasri Nasrabadi², Meysam Mozhdi³, Mohammad Afshar

1. Technical and Vocational School, Imam Khomeini Technical School, Sabzevar

2. Department of Nuclear Engineering, Faculty of Science and Technology, Isfahan University

3. Department of Physics, Faculty of Science, Semnan University, Semnan

4. Department of Physics, Kerman University of Advanced Studies in Advanced Technology, Kerman

** Corresponding author's E-mail: * h_d_ph@yahoo.com*

(Received:16/06/2017 - Accepted:03/10/2017)

ABSTRACT

One of the most harmful factors is the presence of ionizing radiation, which can lead to serious, irreversible and non-therapeutic damage to people. Contact with excessive amounts of these beams can have an effect on the hematopoietic system, the digestive system, the central nervous system, and ultimately the entire body. Most medical imaging equipment, including diagnostic radiology and mammography, requires a high precision dosimeter to measure the absorbed dose and also reduce the risk of X-rays passing through the body's tissue. In this study, the simulation of this kind of ion chamber detectors was carried out using the Garfield ++ gas detector simulator, which has the ability to predict the signals obtained from detectors unlike other simulator programs. The cylindrical ion chamber used in this research has a sensitive volume of 30 cm². The use of graphite-coated plexiglass plates has a number of problems, including the problem of how to connect the electrodes to the plexus and also the fragility and non-uniformity of the plexiglass surfaces. Generally, impregnating a layer of plexiglass with graphite sprays has led to a lot of stains on the surfaces and this leads to the unevenness of the electric field lines between the electrodes and thus negatively affects the performance of the ion chambers.

Keywords: *Left energy, ion chamber, ionizing radiation, dosimeter*