بررسی تاثیر هندسه و محتوای حجم فعال آشکارساز اتاقک یونش بر پاسخ و کارایی آن

محمد افشار [۱،*]، امین گراوند[۲]، حسین جعفری[۳] ، سید محمد هاشمی نژاد[۴]

۱ دانشگاه تحصیلات تکمیلی و فناوری پیشرفته‌ی کرمان(m.afshar410@gmail.com)

۲ دانشگاه جامع امام حسین(ع) تهران(a,geravand@mail.com)

۳ دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)(hossein.jafari@aut.ac.ir)

۴ دانشگاه آزاد واحد علوم تحقیقات تهران(smhna_61@yahoo.com)

چکیده

از آشکارساز های مختلف، برای اندازه گیری دُز جذبی و میزان تضعیف بیم پرتو X در بافت بدن استفاده می شود. جهت اندازه گیری میزان تضعیف بیم های الکترونی و پرتوی X با استفاده از دُزیمتر ها، روش های بسیاری ازجمله سوسوزنی، واکنش شیمیایی پرتو با ماده و یونیزاسون گازها وجود دارد که در میان روش های اشاره شده یونیزاسیون گازی به علت سادگی و قابلیت اطمینان بهتر، سرعت و دقت مطلوب در اندازه گیری گستره وسیعی از نرخ دز جذب شده، نسبت به بقیه روش ها ارجحیت داشته و به همین دلیل به عنوان یک سیستم دُزیمتری رایج مد نظر است. در این مقاله نتایج نشان می‌دهد، که نوع گاز درون اتاقک بر پاسخ اتاقک یونش اثر می‌گذارد. نوع تاثیر مربوط به بازترکیب یونی در گازهاست. با توجه به آهنگ دز در سیستم‌های پرتودهی گاما و روند رو به رشد بازترکیب حجمی نسبت به افزایش آهنگ دز، لازم است از گازی استفاده شود که کمترین بازترکیب را به همراه داشته باشد. از طرفی هندسه آشکارساز نیز بر کارایی و پاسخ اتاقک یونش تاثیر گذار است. اتاقک استوانه‌ای، سریع‌تر و در جریان پایین‌تری به اشباع می‌رسد و بازده جمع‌آوری بار واحد را تولید می‌کند. لذا در آهنگ دز بالا که جریان اشباع زیاد است، استفاده از هندسه‌ی استوانه‌ای در مقایسه با اتاقک صفحه موازی، موجب کاهش جریان اشباع می‌شود و مناسب‌تر می‌باشد.

کلمات کلیدی: اتاقک یونش-هندسه-حجم حساس-آهنگ دوز- پرتودهی گاما

Archive of SID

۱- مقدمه

طراحی و ساخت آشکارسازهای اتاقک یونش با هندسه استوانه‌ای در چند سال اخیر به طور قابل توجهی در زمینه پزشکی از جمله محاسبه دُز دریافتی ناشی از پرتوهای یونیزان و رادیو دارو ها در رادیولوژی تشخیصی، فلوروسکوپی و همچنین ماموگرافی مورد استفاده قرار گرفته است. همانطور که پیش از این نیز اشاره شد، اتاقک های یونیزاسیون یکی ازکاربردی ترین نوع آشکارساز های پرتو های یونیزان محسوب می شوند. ساختمان این نوع از آشکارسازها، ساده و آسان تهیه می شوند و نیز سریع پاسخ می دهند که بسته به مواد به کار رفته در تهیه آنها، ساختار یا حجمشان برای اهداف مختلفی مورد استفاده قرار می گیرند[۱].

آشکارسازهای اتاقک یونش با هندسه استوانه‌ای ، به دلیل حساس بودن حجمشان به طیف گسترده ای از بیم های پرتو ایکس بویژه پرتو های کم انرژی، در آشکارسازی پرتوهای ناشی از لامپ اشعه ی X مورد استفاده در دستگاه های فلوروسکوپی و ماموگرافی و همچنین رادیولوژی تشخیصی جهت اطمینان از پرتودهی صحیح به ناحیه تومور و کاهش دُز جذب شده توسط بافت های سالم، و مانیتورینگ پرتو ها، به وفور مورد

www.SID.ir

استفاده قرار گرفته اند. در آزمایشگاه های کالیبراسیون، این نوع ویژه از آشکارساز های اتاقک یونش، برای تصحیح هرگونه تغییر در شدت پرتوهای یونیزان، حین عمل کالیبراسیون استفاده می شود. لازم بذکر است به علت گستردگی سطح پنجره ورودی این نوع از آشکارساز ها، گزینه بسیار مناسبی برای اندازه گیری دُز های سطحی و عمقی بیم های درمانی فوتونی و الکترونی می باشند[۲].

۲- اشکال هندسی آشکارساز های گازی

به طور کلی آشکارساز های گازی از لحاظ شکل هندسی به سه دسته کلی صفحه موازی، استوانه ای و کروی تقسیم می شوند (شکل۱). در یک آشکارساز های گازی با آرایش صفحات موازی میدان الکتریکی (صرفنظر از آثار لبه) یکنواخت بوده و اندازه آن از رابطه زیر محاسبه می شود (شکل۱ الف):

$$E = \frac{V_0}{d} \qquad (۱-۱)$$

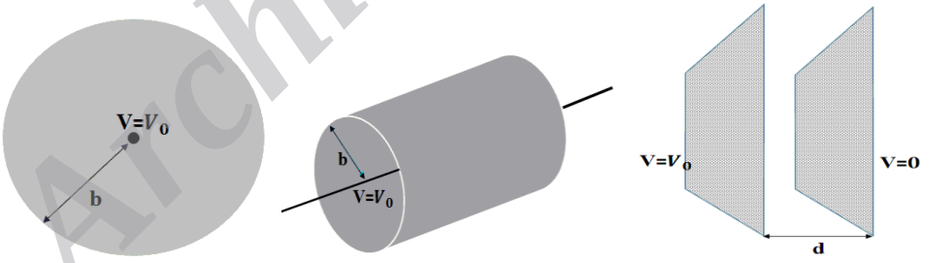
در اتاقک های با آرایش استوانه ای، ولتاژ V_0 به سیم مرکزی اعمال شده و بدنه استوانه به پتانسیل زمین متصل است (شکل ۱-ب). اندازه میدان الکتریکی در فاصله r از مرکز اتاقک از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$E = \frac{V_0}{r} \times \frac{1}{\ln\frac{b}{a}} \qquad (۱-۲)$$

که در رابطه فوق a شعاع سیم مرکزی، شعاع اتاقک و r فاصله از مرکز اتاقک می باشد. با توجه به این رابطه می توان متوجه شد که اندازه میدان در اطراف سیم مرکزی بسیار بزرگ است. لازم بذکر است که تکثیر زوج یون ها در یک آشکارساز گازی با آرایش استوانه ای نسبت به آرایش صفحه موازی بسیار آسان‌تر صورت می گیرد. به همین دلیل شمارنده های تناسبی و گایگر را با آرایش استوانه ای می سازند. در یک آشکارساز با آرایش کروی، ولتاژ V_0 به یک کره کوچک واقع در مرکز آشکارساز اعمال شده و پتانسیل پوسته بیرونی کره صفر می باشد(شکل ۱-ج). اندازه میدان الکتریکی درفاصله r از مرکز این نوع از آشکارساز ها از رابطه زیر قابل محاسبه می باشد:

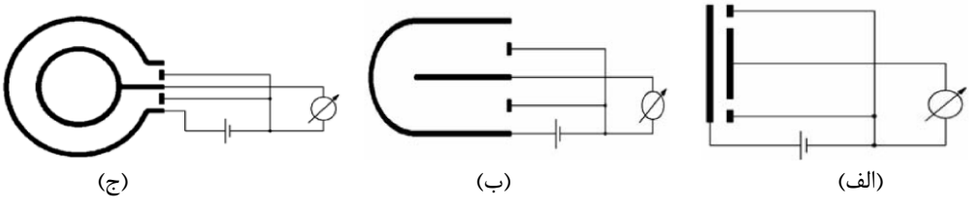
$$EI = \frac{V_0}{r^2} \times \frac{a.b}{b-a} \qquad (۱-۳)$$

در رابطه فوق a و b به ترتیب شعاع کره مرکزی و پوسته خرجی و r فاصله از مرکز می باشد. در این چنین آرایشی نیز می توان میدان های قوی را تولید نمود اما چنین آرایش کروی الکترود ها به دلیل محدودیت و مشکل طراحی، طرفدار چندانی ندارند[۲].



شکل ۱ اشکال هندسی آشکارساز های گازی. الف: صفحه موازی، ب: استوانه ای، ج: کروی

نحوه اعمال اختلاف پتانسیل و همچنین جمع آوری بار در انواع مختلف نامبرده در شکل (۲) مشخص شده است[۷].



شکل ۲. نحوه اعمال پتانسیل به الکترود ها و شمارش بار. الف: صفحه موازی، ب: استوانه ای، ج: کروی

Archive of SID

www.SID.ir

۳-انتخاب گاز مناسب

نوع گاز درون اتاقک از دو وجه اصلی بر پاسخ اتاقک یونش اثر می‌گذارد. وجه اول مربوط به بازترکیب یونی در گازهاست. با توجه به آهنگ دز در سیستم‌های پرتودهی گاما و روند رو به رشد بازترکیب حجمی نسبت به افزایش آهنگ دز، لازم است از گازی استفاده شود که کمترین بازترکیب را به همراه داشته باشد (به رابطه‌ی (۱-۴) توجه شود). یکی از عوامل موثر بر بازترکیب، خواص الکترونگاتیوی گاز است. خاصیت الکترونگاتیوی، تمایل یک گاز به جذب الکترون می‌باشد. همان‌گونه اشاره شد، جذب الکترون یکی از موانع رسیدن به جریان اشباع است. از گازهای الکترونگاتیو می‌توان به اکسیژن، هوا، SF_6، فریون ۱۲ و سایر گازهای شامل مقادیر اندک اکسیژن، آب، آمونیاک، کلرید هیدروژن، SiF_4 و هالوژن‌ها اشاره کرد. از گازهای غیرالکترونگاتیو هم می‌توان از گازهای (به فرم خالص) نیتروژن، آرگون، هیدروژن، هلیم، دی اکسید کربن، متان، اتیلن، تری فلوئورید بور، بوتان و گازهای بر پایه‌ی متان نام برد. هرچه تمایل گاز به جذب الکترون بیشتر باشد، تعداد یون‌های منفی بیشتری تولید می‌شوند. در شرایط عادی، سرعت سوق یون‌های منفی در حدود $1\ \frac{cm/s}{V/cm}$ و سرعت سوق الکترون‌ها $1000\ \frac{cm/s}{V/cm}$ می‌باشد. لذا حتی در ولتاژهای معمول (۱۰۰ تا ۱۰۰۰ ولت) هم الکترون‌ها نسبت به یون‌های منفی فرصت کمتری برای مواجهه با یون‌های مثبت و بازترکیب با آنها دارند [۱]. این پارامتر خود را در مخرج کسر رابطه‌ی بازترکیب (۱-۴) نشان می‌دهد. پارامتر تأثیرگذار دیگر، ضریب بازترکیب، α، می‌باشد که در صورت کسر رابطه‌ی (۱-۴) موجب افزایش بازترکیب می‌شود. این ضرایب هم در بخش(۵-۷) بیان شده‌اند. نتایج مربوط به ترکیب این دو پارامتر در بخش مذکور مقایسه شده و بر اساس آن هوا به عنوان گازی الکترونگاتیو بیشترین بازترکیب را ایجاد می‌کند و پس از آن از بین گازهای غیرالکترونگاتیو، نیتروژن و سپس آرگون موجب بازترکیب بیشتری می‌شوند.

$$m = \sqrt{\frac{\alpha}{ek_1k_2}} \qquad (۴-۱)$$

$$D = \frac{I_s}{M} \times \frac{W}{e} = \frac{I_s}{\rho V} \times \frac{W}{e} \qquad (۵-۱)$$

جدول ۱-۱ مقادیر مختلف W در گازهای مختلف را نشان می‌دهد[۱۰]

نوع گاز	انرژی اولین یونش	W-Value (eV/ion pair)	
		الکترون‌های سریع	ذرات آلفا
آرگون	۱۵/۷	۲۶/۴	۲۶/۳
هلیم	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

وجه دوم بررسی نوع گاز، ضریب W است که برابر با مقدار انرژی میانگین لازم برای تولید یک جفت الکترون-یون در هر گاز است. با توجه به رابطه‌ی (۱-۵)، جریان اشباع با W ارتباط معکوس دارد و در یک آهنگ دز ثابت، افزایش W موجب کاهش جریان اشباع می‌شود؛ و برعکس استفاده از گازی با W پایین مقدار جریان اشباع را افزایش می‌دهد [۳]. لذا به نظر می‌رسد برای اندازه‌گیری آهنگ دز بالا که در آن جریان اشباع خود به خود زیاد است، استفاده از گازی با W بالا جهت کاهش جریان به منطقه‌ای معقول‌تر که با سرعت بیشتری منطقه‌ی بازترکیب را سپری کرده و به ناحیه‌ی اشباع برسد، مناسب‌تر از گازهای با ضرایب W پایین است. در مقابل در ناحیه‌ی آهنگ دز پایین، مقدار W پایین‌تر به دلیل

Archive of SID

www.SID.ir

افزایش جریان اشباع بسیار پایین این ناحیه، مناسب‌تر می‌باشد. لذا با توجه به اینکه در سیستم‌های پرتودهی صنعتی گاما آهنگ دز بالاست، انتخاب گازهای با مقادیر W زیاد (به جدول ۱-۱ مراجعه شود)، مثل هلیم، هیدروژن، نیتروژن و هوا توصیه می‌شود؛ البته هیدروژن گازی به شدت اشتعال‌زاست و از این لیست حذف می‌شود. اگر اتاقکی جهت اندازه‌گیری جریان صرفاً در ناحیه‌ی آهنگ دز پایین طراحی شود، آرگون و متان گازهای مناسبی می‌باشند.

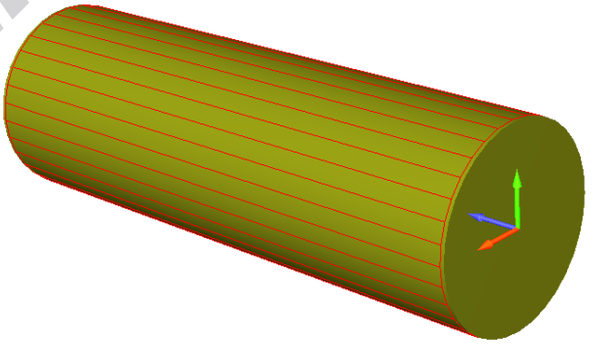
$$\rho = \rho_{0.760}\,\frac{273}{273+T\left({}^{0}C\right)}\times\frac{P-0.3783P_{W}}{760} \qquad (۶-۱)$$

از ادغام دو وجه مورد بحث می‌توان این نتیجه را گرفت که گاز غیرالکترونگاتیو نیتروژن با مقدار W زیاد و میزان بازترکیب نسبتاً کم، گاز مناسبی برای اتاقک یونش جهت کار در آهنگ دز بالا است. از طرفی طبق رابطه‌ی (۱-۶) هرچه فشار گاز بیشتر و دمای آن کمتر باشد، چگالی آن بیشتر شده و با توجه به رابطه‌ی (۱-۵) موجب افزایش جریان اشباع می‌شود. ولی در آهنگ دز بالا نیاز به جریان خیلی بالا نیست. به همین دلیل توصیه می‌شود برای اینکه تغییرات دما و فشار محیط بر پاسخ اتاقک تأثیر نگذارد، از اتاقک بسته و حاوی گازی در فشار حدود ۱ bar استفاده شود.

۴- تعیین هندسه‌ی اتاقک یونش

برای تعیین هندسه‌ی مناسب اتاقک یونش، علاوه بر سادگی ساخت به بازترکیب هم پرداخته می‌شود. ساخت هندسه‌ی کروی بسیار مشکل است و از این رو در دو هندسه‌ی استوانه‌ای و صفحه موازی که پیش از این اشاره شد، درصورتی‌که میدان الکتریکی در دو اتاقک صفحه موازی با فاصله‌ی بین الکترودهای d و اتاقک استوانه‌ای با d = b-a یکسان باشد (در این صورت ولتاژ اعمالی به اتاقک استوانه‌ای بیشتر از اتاقک صفحه موازی است)، در شرایطی که بازده جمع‌آوری بار در هر دو اتاقک برابر باشد جریان اندازه‌گیری شده در اتاقک صفحه موازی، q_{pp}، برابر با $\frac{1}{4}(1+\frac{a}{b})^2$ برابر جریان در اتاقک استوانه‌ای، q_{cyl}، است. به عبارتی در ناحیه‌ی اشباع، اتاقک استوانه‌ای، سریع‌تر و در جریان پایین‌تری به اشباع می‌رسد و بازده جمع‌آوری بار واحد را تولید می‌کند. لذا در آهنگ دز بالا که جریان اشباع زیاد است، استفاده از هندسه‌ی استوانه‌ای در مقایسه با اتاقک صفحه موازی، موجب کاهش جریان اشباع می‌شود و مناسب‌تر می‌باشد. با توجه به این مسائل، استفاده از هندسه‌ی استوانه‌ای که ساخت آن نیز آسان‌تر است، برای اندازه‌گیری آهنگ دز سیستم پرتودهی پیشنهاد می‌شود.

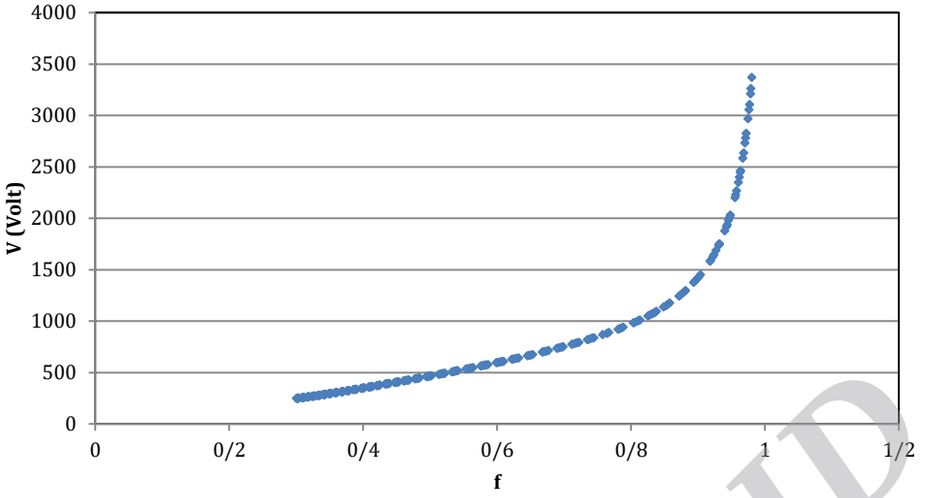
۵-نتایج



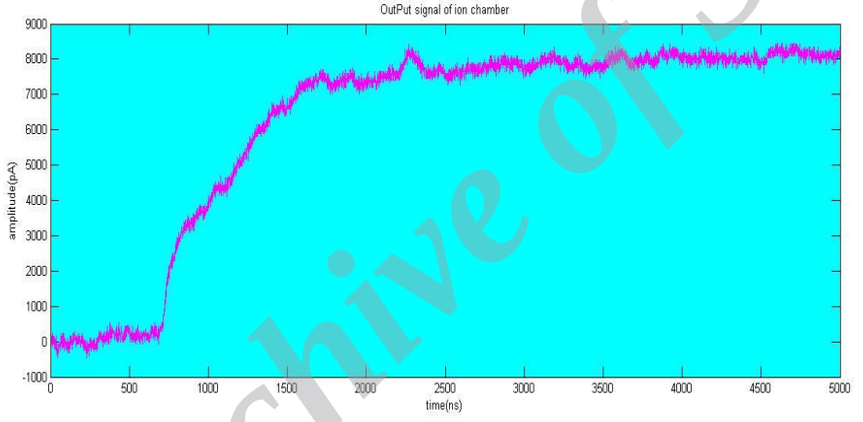
شکل ۳ هندسه‌ی تعریف شده در برنامه‌ی Garfield++.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۴ منحنی تغییرات ولتاژ نسبت به f شبیه سازی شده‌ی حاوی گاز نیتروژن.



شکل ۵ سیگنال خروجی از اتاقک یونش

۶- نتیجه‌گیری

از بحث‌های فوق می‌توان این نتیجه را گرفت که گاز غیرالکترونگاتیو نیتروژن با مقدار W زیاد و میزان بازترکیب نسبتاً کم، گاز مناسبی برای اتاقک یونش جهت کار در آهنگ دز بالا است. از طرفی هرچه فشار گاز بیشتر و دمای آن کمتر باشد، چگالی آن بیشتر شده موجب افزایش جریان اشباع می‌شود. ولی در آهنگ دز بالا نیاز به جریان خیلی بالا نیست. به همین دلیل توصیه می‌شود برای اینکه تغییرات دما و فشار محیط بر پاسخ اتاقک تأثیر نگذارد، از اتاقک بسته و حاوی گازی در فشار حدود bar ۱ استفاده شود. و از نقطه نظر هندسه ، درناحیه‌ی اشباع، اتاقک استوانه‌ای، سریع‌تر و در جریان پایین‌تری به اشباع می‌رسد و بازده جمع‌آوری بار واحد را تولید می‌کند. لذا در آهنگ دز بالا که جریان اشباع زیاد است، استفاده از هندسه‌ی استوانه‌ای در مقایسه با اتاقک صفحه موازی، موجب کاهش جریان اشباع می‌شود و مناسب‌تر می‌باشد. با توجه به این مسائل، استفاده از هندسه‌ی استوانه‌ای که ساخت آن نیز آسان‌تر است، برای اندازه‌گیری آهنگ دز سیستم پرتودهی پیشنهاد می‌شود.

Archive of SID

www.SID.ir

مراجع

1. British standard instruction, Medical electrical equipment: Dosimeters with ionization chambers and semiconductor detectors as used in X-ray diagnostic imaging, Standard BS EN 60731, United Kingdom, 2013.
2. International Atomic Energy Agency, Absorbed dose determination in external beam radiotherapy: An international code of practice for dosimetry based on standards of absorbed dose to water, Technical reports series no. 398, Vienna, 2000.
3. Perini, A.P., Neves, L.P., Fernandez, J.M., Khoury, H.J., Caldas, L.V.E., A new paralle plate graphite ionization chamber as a ^{60}Co gamma radiation reference instrument, Radiation Physics and Chemistry, Vol 95, pp. 106–108, 2014.
4. Yoshizumi, M.T., Linda, V., Caldas, L.V.E., Comparative study of the response stability of monitor ionization chambers in X-radiation beams, International Nuclear Atlantic Conference, INAC, 2010.
5. Podgorsak, E.B., Treatment machines for external beam radiotherapy, Radiation Oncology Physics, International Atomic Energy Agency, IAEA, 2005.

Archive of SID

www.SID.ir

The effect of the geometry and content of active volume of ionization chamber detector to response and performance

Mohammad Afshar *, Amin Geravand[2] , Hosesein jafari[3], seyed mohammad hashemi nezhad[4]

1-m.afshar410@gmail.com
2-a.geravand68@gmail.com
3- hossein.jafari@aut.ac.ir
4-smhna_61@yahoo.com

Abstract

It is widely different from the detector, to measure the absorbed dose in tissue and weaken the X-ray beam is used. Of gas in the chamber of the two main influences on the response of ionization chambers. The first aspect of Gas · hast ion recombination. According to the dose gamma irradiation systems and the growing trend towards the increased volume recombination radiation dose, it is necessary to use gas recombination to have the lowest. The detector geometry also affect the performance and response ionization chamber. Cylindrical chamber, faster and at lower current collecting efficiency unit load reaches saturation produces. In the high dose rate that high saturation current, using cylindrical geometry compared to the parallel plate chamber, thereby reducing the saturation current, and is more appropriate.

Key words: Ionization chamber-geometry-sensitive volume- gamma irradiation

Archive of SID

www.SID.ir