

طراحی و ساخت اتاقک یونش با قابلیت تغییر حجم جهت دزیمتری باریکه های الکترونی در پرتو درمانی

آنیثا عالیپور*^۱ - محمدرضا قاسمی^۱ - ارژنگ شاهور^۱ - سیدمیلااد وهابی^۲

(۱) سازمان انرژی اتمی ایران، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، پژوهشکده تحقیقات کشاورزی، پزشکی و صنعتی

(۲) دانشگاه امیرکبیر، دانشکده مهندسی هسته‌ای و فیزیک، گروه مهندسی هسته‌ای

چکیده:

اتاقک های یونش از رایج ترین وسایل عملی و استاندارد برای دزیمتری باریکه های الکترونی و فوتونی در پرتو درمانی هستند. با توجه به افزایش روزافزون باریکه های الکترونی (شتاب دهنده های خطی) بخصوص در انرژی های کمتر از 10MeV ، لزوم ساخت اتاقک یونساز صفحه موازی حس می شود. هدف از ساخت این اتاقک با صفحات موازی و قابلیت تغییر حجم حساس، برآورد دقیق دز ناشی از باریکه الکترونی در طیف وسیع انرژی می باشد. امکان تغییر حجم حساس اتاقک با تغییر عمق اتاقک در راستای پرتو، موجب می شود که بتوان برای انرژی های مختلف پرتو الکترونی، شرایط بهینه از نظر حداکثر بهره جمع آوری بار الکتریکی و حداقل خطا در اندازه گیری را بدست آورد [1].

کلمات کلیدی: اتاقک یونساز، باریکه های الکترونی، دزیمتری، پرتو درمانی

مقدمه :

روش های تعیین دز جذبی ماده در اثر پرتو دهی از یک چشمه تابشی یوننده معین به دو دسته کلی طبقه بندی می شوند: دزیمتری مطلق و دزیمتری نسبی. دزیمتری مطلق دز جذبی انباشت شده در یک حجم حساس در یک میدان تابشی معلوم را اندازه می گیرد، در حالی که دزیمتری نسبی نیاز به کالیبراسیون آشکارساز در یک میدان تابشی معلوم دارد. این اتاقک بدلیل متغیر بودن فاصله میان دو الکترود و حجم حساس می تواند به عنوان یک دزیمتر مطلق تلقی شود. امکان اندازه گیری مستقیم دز در مقایسه با تکنیک های دزیمتری نسبی، همچنین این اتاقک برخلاف اتاقک یونش هوای آزاد به انرژی های کمتر از 3MeV محدود نمی شود [2].

اتاقک های صفحه موازی باید خصوصیتی داشته باشند تا برای دزیمتری در فانتوم مناسب باشند. اتاقک های یونیزاسیون بر اساس تئوری براگ-گری عمل می کنند ولی برقراری این شرط عملاً امکان پذیر نیست چرا که این تئوری خیلی ایده آل است. از طرفی به علت قرار دادن اتاقک درون فانتوم، اختلالی در میدان پرتو تابشی رخ می دهد که این اختلال می تواند در اثر وجود حفره گاز یا در اثر معادل نبودن دیواره های اتاقک با ماده فانتوم باشد که باعث تفاوت پراکندگی با فانتوم می شود و همین باعث تغییر نقطه مؤثر اندازه گیری خارج از مرکز هندسی اتاقک شود.

این اثرات اختلالی می‌تواند در اثر انرژی الکترون، شکل هندسی، ابعاد و گاز درون حفره، نوع ماده و ضخامت دیواره و الکترودها باشد که بایستی بسته به کمیت مورد اندازه‌گیری، طراحی اتاقک به گونه ای صورت بگیرد که اثرات اختلالی به حداقل برسد.

ماده دیواره اتاقک نیز بایستی به گونه ای انتخاب شود که معادل با گاز حفره یا همان بافت بدن انسان باشد. در دزیمتری الکترون از فانتوم آب یا پلاستیک استفاده می‌شود، کل اتاقک و دیواره از موادی نظیر پلکسی گلاس (پلی استرن، پلی اتیلن) ساخته شده است [1].

دزیمتری الکترون با مشکلاتی همراه است. نرخ شارذره الکترون به طور کلی سریعاً در هوا و هر ماده دیگری بین چشمه تابشی و سیستم آشکارسازی، تضعیف می‌شود. استفاده از اتاقک برونیابی برای اندازه‌گیری تابش الکترونی بعنوان روشی مرجع و تنها روش عملی که تاکنون شناخته شده است برای اندازه‌گیری بسیار دقیق دز جذب شده در اعماق مختلف در بافت پذیرفته شده است.

از بین انواع مختلف اتاقک‌های یونش، اتاقک برونیابی برای دزیمتری تابش‌های ضعیف بکار می‌رود. اتاقک برونیابی یک دستگاه با کیفیت بالا جهت اندازه‌گیری دقیق دز مطلق جذب شده ناشی از تابش‌های بتا و پرتوهای ایکس کم‌انرژی در ماده معادل بافت نرم در عمق‌های معینی پایین تر از سطح پنجره ورودی (عمق‌های سطحی) است. این اتاقک تمامی مشخصات اتاقک‌های صفحه موازی با حجم ثابت را داراست همچنین قابلیت تغییر حجم حساس بین الکترودها (به کمک پیچ میکرومتر که متصل به یک پیستون است) را دارد و بدین ترتیب می‌توان محاسبات را در گستره وسیعی از فواصل بین الکترودها و الکترودها جمع‌کننده انجام داد [3].

به هنگام عبور پرتو یوننده از حجم حساس اتاقک که معمولاً در آشکارسازهای گازی از جنس گاز یا هوا است، بنابر پدیده تحریک و یونیزاسیون، زوج-یون‌ها تشکیل می‌شوند که شامل الکترون‌های آزاد و یون‌های باردار هستند. به کمک میدان الکتریکی ناشی از اعمال ولتاژ مستقیم بین دو الکترودها ولتاژ بالا و جمع‌کننده، این زوج-یون‌ها جمع‌آوری شده و پاسخ نهایی (بار یا جریان) از طریق الکترومتر اندازه‌گیری می‌شوند. به کمک الکترودها محافظ که توسط یک شیار نازک از الکترودها جمع‌کننده جدا شده و در پتانسیلی تقریباً برابر با آن قرار دارد، میدان الکتریکی در حجم حساس یکنواخت شده و جریان ناشی کاهش می‌یابد. در ضمن فضای بین الکترودها بقدری کوچک است که شرایط براگ-گری برقرار است.

اتاقک یونش مورد بحث در این مقاله در آزمایشگاه دزیمتری استاندارد ثانویه (SSDL) پژوهشکده تحقیقات کشاورزی، پزشکی و صنعتی کرج جهت اهداف تحقیقاتی و پزشکی طراحی و ساخته شد. هندسه این اتاقک بر اساس مدارک و دستورالعمل‌های آزمایشگاه استاندارد ذکر شده است، بهینه و انتخاب شده است. هدف از این مقاله، طراحی، ساخت و ارزیابی قابلیت‌های اتاقک یونش فوق‌الذکر را از جمله جریان ناشی، پایداری کوتاه-مدت و محاسبه فاکتورهای سنج‌بندی از قبیل اثر دما، فشار و رطوبت و اثر پلاریته است.

روش کار :

اجزای اصلی این اتاقک عبارتند از: صفحه تخت (الکتروود ورودی)، یستون، سیلندر، دستگیره، پایه و پیچ ها. قسمت عمده تراشکاری ها در کارگاه تراشکاری پژوهشکده و توسط کارشناسان فنی کارگاه تراش داده شده و تراش بعضی قطعات بدلیل نیازه تجهیزات بیشتر در بیرون انجام شده است. اتصالات، سیم کشی و عمل لایه نشانی کربن روی سطح پیستون و الکتروود ورودی از اهمیت ویژه ای برخوردار بوده که توسط همکاران طرح انجام شده است. برای لایه نشانی کربن به شرایط دمایی ثابت نیاز داریم زیرا تغییرات دما سبب ایجاد شیار روی سطح گرافیت شده و نهایتاً جریان نشتی افزایش می یابد. بهترین راه برای ایجاد شیار روی الکتروود ورودی، استفاده از لیزر بود تا هم عمل ایزولاسیون دو الکتروود بخوبی صورت گیرد و هم از افزایش جریان نشتی جلوگیری شود. به منظور اندازه گیری دقیق میزان جابجایی در حجم حساس اتاقک از یک میکرومتر ۲۵mm و دقت ۰/۰۰۱mm استفاده شده است.

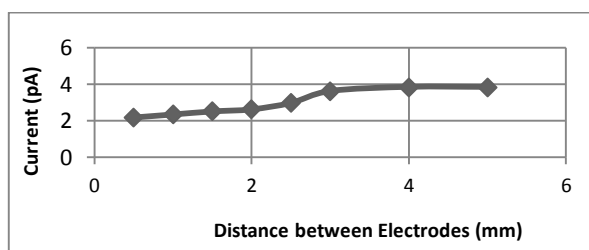


الف) نمایی از اتاقک یونش ساخته شده با حجم متغیر ب) نمایی از اتاقک یونش با حجم متغیر ساخت PTW

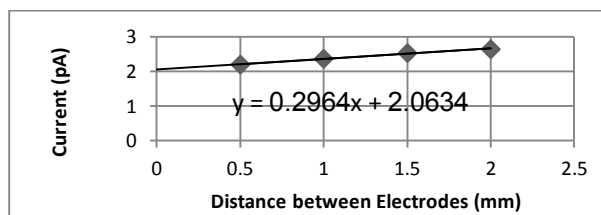
این اتاقک برای اولین بار در کشور طراحی و ساخته شده است و دارای قطر الکتروود ورودی ۵۰mm، قطر الکتروود جمع کننده ۳۰ mm و پهنای الکتروود محافظ ۹/۵mm است. اندازه گیری پاسخ اتاقک بر حسب ولتاژ مزیت بسیار بالایی برای اتاقک های برونابی دارد. زمانی که فاصله دو الکتروود در حین اندازه گیری تغییر می کند، باید اطمینان حاصل کرد که مقادیر اندازه گیری شده در تمام فواصل در یک اشباع یکسان انجام شده باشد. بدین منظور لازم است که میزان میدان الکتریکی یک مقدار معقولی باشد، به گونه ای که مستقل از فاصله الکتروودها باشد. بنابراین ولتاژ به فاصله الکتروودها وابسته خواهد شد. اگر ولتاژ خیلی بالا باشد، در آن صورت منجر به اثرات الکترواستاتیکی می شود که در نتیجه آن فاصله الکتروودها و در نتیجه حجم حساس تغییر می کند و همین امر باعث ایجاد خطا در اندازه گیری می شود.

با برونیابی خط بدست آمده به سمت جریان صفر می‌توان مینیمم فاصله بین دو الکتروود را بدست آورد. این فاصله را که عمق برونیابی شده به سمت صفر نامیده‌اند، برای محاسبه نرخ دز ضروری نیست بلکه فقط معیاری جهت عملکرد خوب دستگاه است.

اتاقک را در مقابل چشمه پرتو ایکس ۶۰ کیلو ولت با جریان ۱۱ میلی آمپر در فاصله ۲/۵ متری قرار داده. ولتاژ را روی ۲۰۰- ولت تنظیم کرده و در فواصل مختلف ۰/۵ تا ۵ میلیمتر میزان بار را قرائت کرده و پس از تأثیر فاکتور دما و فشار میزان جریان را محاسبه می‌کنیم. در نتیجه منحنی زیر بر حسب فاصله بین دو الکتروود حاصل خواهد شد.



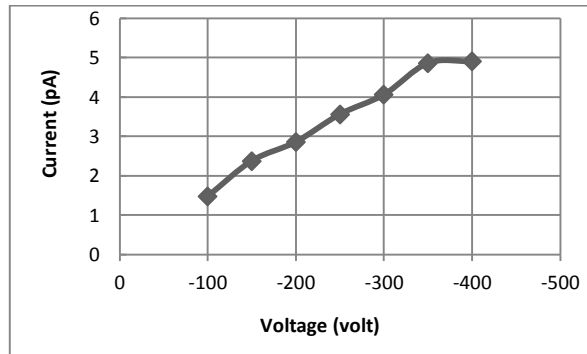
نمودار ۱ - جریان- فاصله برای اتاقک برونیابی در ولتاژ ۲۰۰- ولت در میدان پرتو ایکس که جریان برای دما و فشار، بازترکیبی و تضعیف بین هوای اتاقک و چشمه اصلاح شده است. در این حالت فاصله چشمه تا پنجره اتاقک ۲/۵ متر است.



نمودار ۲- برونیابی نمودار جریان- فاصله برای اتاقک برونیابی در ولتاژ ۲۰۰- ولت در میدان پرتو ایکس برای محاسبه نرخ دز.

با توجه به منحنی فوق می‌توان دریافت که از فاصله بیشتر از ۳ میلیمتر جریان به اشباع می‌رسد. بنابراین با توجه به این که برای نرخ دز نیاز به محاسبه شیب برونیابی است، کفایت خط را تا فاصله کمتر از ۳mm برونیابی و شیب را بدست آوریم. حال اتاقک را در فاصله ۲/۵mm و فاصله بین الکتروود ۲/۵mm قرار می‌دهیم و به ازای ولتاژهای متفاوت میزان جریان را محاسبه می‌کنیم. **Error! Reference source not found.**

میزان روند تغییر جریان با ولتاژ را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که به ازای ولتاژ بالاتر از ۳۵۰-ولت، جریان به اشباع می‌رسد. برای اتاقک برونمایی جریان نشتی همواره کمتر از یک پیکو آمپر است و خطای نسبی به طور میانگین ۰/۰۷۹٪ و انحراف معیار مقادیر خوانده شده در ۱۱ سری پشت سر هم به طور میانگین ۰/۰۰۵ بوده است.



نمودار ۳- جریان- ولتاژ برای اتاقک برونمایی در فاصله بین الکترودی ۲/۵ میلیمتری در میدان پرتو ایکس که جریان برای دما و فشار، بازترکیبی و تضعیف بین هوای اتاقک و چشمه اصلاح شده است. در این حالت فاصله چشمه تا پنجره اتاقک ۲/۵ متر است.

- (۱) جریان یونیزاسیون: مقادیر خوانده شده از طریق الکترومتر در مقابل چشمه گامای کبالت-۶۰ در مدت زمان جمع‌آوری بار به ازای پلاریته‌های مثبت و منفی و با تصحیح فشار و دما.
- (۲) جریان نشتی: یکی از چالش‌های مهم در طراحی اتاقک‌های یونساز، جریان نشتی است. این جریان همان سیگنال اندازه‌گیری شده توسط الکترومتر در حین اعمال ولتاژ و بدون پرتودهی است. این جریان بایستی کمتر از ۰/۱٪ سیگنال اندازه‌گیری شده در حین یک پرتودهی معین باشد. در اتاقک برونمایی جریان نشتی همواره کمتر از $10^{-12} A$ بوده است. چون حجم این اتاقک در مقایسه با اتاقک با حجم ثابت بسیار بزرگتر است.
- (۳) اثر پلاریته: این اثر اغلب بعلت گیر افتادن برخی از الکترون‌های اولیه توسط الکتروود جمع‌کننده است. اگر این رویداد توسط خارج شدن الکترون‌های پس زده شده از الکتروود جمع‌کننده ختنی نشود، یک جریان اضافی ممکن است به سیگنال واقعی اضافه یا از آن کاسته شود [3]. در صورتی که یک چنین اثری مشاهده شد، یک تصحیحی باید به کمک ولتاژ پلاریزه‌کننده منفی برای جریان اعمال شود:

$$P_{corr} = \frac{|M_+| + |M_-|}{2|M_-|} \quad (1)$$

که $|M_+|$ و $|M_-|$ به ترتیب مقادیر خوانده شده در اثر ولتاژهای پلاریزه‌کننده مثبت و منفی است. عملاً اثر پلاریته در این مورد در بدترین حالت ۰/۷٪ بود. در صورتی که اثر پلاریته از ۰/۳٪ بیشتر باشد، نمی‌توان از آن، جهت دزیمتری مطلق استفاده کرد.

(۵) محاسبه فاکتور سنجه بندی اتاقک بر حسب کرمای هوا در میدان پرتو گامای کبالت-۶۰: برای محاسبه فاکتور سنجه بندی کرمای هوا از چشمه کبالت-۶۰ (picker v9) در میدان $10 \times 10 \text{ cm}^2$ استفاده شد. فاصله چشمه تا سطح دزیمتر ۸۰ سانتیمتر در نظر گرفته شد. بنا بر معادله زیر این فاکتور برابر خواهد شد با:

$$N_K \left(\frac{mGy}{nC} \right) = \frac{K_{air}}{(M \cdot k_{TP} \cdot k_d)} \quad (2)$$

که K_{air} نرخ کرما بر حسب $\frac{mGy}{min}$ ، M مقدار متوسط اندازه گیری شده (در ولتاژهای مختلف) بر حسب $\frac{nC}{min}$ ، k_d فاکتور تصحیح فاصله و k_{TP} فاکتور تصحیح دما و فشار است که از رابطه زیر پیروی می کند:

$$k_{TP} = \frac{T(^{\circ}C) + 273.16}{293.16} \times \frac{1013.2}{p(mb)} \quad (3)$$

بحث و نتیجه گیری :

با توجه به افزایش روزافزون باریکه های الکترونی مخصوصاً در انرژی های کمتر از 10 MeV ، لزوم ساخت و طراحی اتاقک یونساز صفحه موازی در راستای اهداف سازمان امری ضروری بنظر می رسد. جریان نشستی همواره چه قبل و چه بعد از پرتو دهی در محدوده فمتوآمپر گزارش شده است. اثر پلاریته همواره در حدود 0.7% بود. داده های اندازه گیری شده دارای پایداری مناسبی بودند به طوری که انحراف معیار نسبی برای کبالت-۶۰ همواره از 0.9% کمتر بوده است. فاکتور سنجه بندی بر حسب کرمای هوا با در نظر گرفتن فاکتور تصحیح فشار و دما و فاصله محاسبه شد. با توجه به پروتکل های موجود، این نوع دستگاه دارای نتیجه قابل قبول و رضایت بخشی بوده است. علیرغم امکانات محدود نتایج امیدبخشی در این زمینه حاصل شد و همین امر کارآمد بودن روش های مختلف و مورد استفاده در مسیر ساخت اتاقک را نشان می دهد. بنابراین بهتر است کار انجام شده را به عنوان زمینه ساز و شروعی هر چند کوچک به سمت تحقیقات بیشتر و بومی سازی این نوع دزیمترها در نظر گرفت.

مراجع :

- [1] F.M. Khan "The physics of Radiation therapy", 4th ed. Minnesota: University of Minnesota 2010
- [2] M. L. Oliveira, L.V.E. Caldas "Performance of a prototype of an extrapolation mini chamber in various radiation beams" Applied Radiation and Isotopes 65, PP. 975-979, 2007
- [3] A. Nisbet and D. I. Thwaites "Polarity and ion recombination correction factors for ionization chambers employed in electron beam dosimetry" Phys. Med. Biol. 43, PP. 435-443, 1998