ساخت یک اتاقک یونیزاسیون هوا و بررسی عملکرد آن

محمدمهدی ناصری[۱]، طیب کاکاوند [۲] ، مرتضی جعفرزاده[۱] ، سعیده موسی الرضایی *[۲]

[۱] سازمان انرژی اتمی ایران، پژوهشگاه علوم و فنون هسته ای ، پژوهشکده تحقیقات و توسعه راکتورها و شتابدهنده‌ها

[۲]دانشگاه زنجان،دانشکده علوم پایه،گروه فیزیک

چکیده

اتاقک یونیزاسیون مورد بررسی در این تحقیق برای اندازه‌گیری دز ناشی پرتوهای ایکس، گاما و بتا ساخته شده است. محدوده دزی که این اتاقک اندازه‌گیری می‌کند بین صفر تا پنجاه میلی‌رم‌برساعت می‌باشد. برای اندازه‌گیری دز از جریان الکتریکی تولید شده در اتاقک استفاده می‌شود. نتایج آزمایشات نشان می‌دهد که مقادیر دز اندازه‌گیری شده با این اتاقک با ضریب تقریباً ثابتی نسبت به دزیمتر از قبل کالیبره شده موجود و نیز محاسبات از طریق فرمول، همخوانی بسیار خوبی دارد. محدوده قابل اندازه‌گیری با این آشکارساز کوچک می‌باشد ولی برای کاربردی‌تر شدن این وسیله، می‌توان با ایجاد تغییرات اندکی در مدار الکترونیکی و بهینه نمودن آن، محدوده وسیعتری از تغییرات آهنگ دز را فراهم نمود.

کلمات کلیدی: اتاقک یونیزاسیون، آهنگ دز جذبی، یونیزاسیون، آشکارسازهای گازی

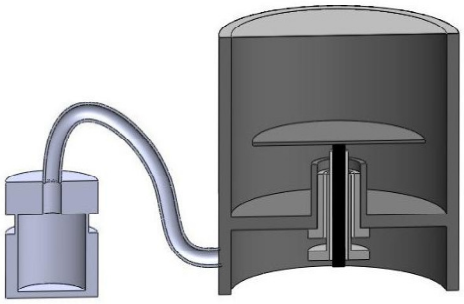
مقدمه

اتاقک یونیزاسیون یکی از انواع آشکارسازهای گازی است که علیرغم تغییر ولتاژ، بار جمع‌آوری شده ثابت می‌ماند، زیرا آهنگ بازترکیب صفر است و هیچ بار جدیدی تولید نمی‌شود. علامت خروجی متناسب با انرژی از دست رفته‌ی ذره در آشکارساز است[۱]. به طور کلی این وسیله برای آشکارسازی پرتوهای فوتونی و بتا بکار می‌رود و ساز و کار آن بر مبنای مکانیسم انتقال انرژی از تابش ایجاد شده به گاز درون آشکارساز است که شامل فرآیندهای یونش و برانگیزش است که در اندازه‌گیری اثرات تابشی نقش بسزایی دارد. یونیزاسیون گاز توسط تابش‌های هسته‌ای شامل جدا شدن یک یا چند الکترون از تعدادی مولکول گاز صورت می‌گیرد. بنابراین یون مثبت و الکترون‌های آزاد تشکیل می‌شود و حرکت این ذرات باردار وابسته به میدان الکتریکی درون اتاقک می‌باشد[۲]. میدان الکتریکی اتاقک یونیزاسیون طوری است که ایجاد بهمن نمی‌کند، پس یونیزاسیون ایجاد شده متناسب با تابش ورودی است. اتاقک یونیزاسیون ساخته شده از نوع مد جریانی می‌باشد و در تابش‌های پیوسته کاربرد دارد. وقتی آهنگ دز با اتاقک یونیزاسیون اندازه‌گیری می‌شود جریان ایجاد شده از جریان اشباع کمتر است که این کاهش مبنی بر بازترکیب و پراکندگی یون می‌باشد. اتاقک یونیزاسیون در این تحقیق، مشابه دزیمتر Eberline Ro-2 (ساخت کشور آمریکا) ساخته شده است که محدوده صفر تا پنجاه هزار میلی رم بر ساعت را پوشش می‌دهد.

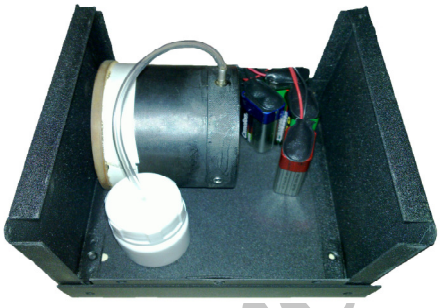
Archive of SID
www.SID.ir

روش کار:

مشخصات اتاقک: اتاقک یونیزاسیون به صورت استوانه‌ای با حجم فعال ۲۰۸ سانتیمتر مکعب، ساخته شده است. دیواره استوانه(کاتد) و الکترود جمع‌کننده‌ی(آند) درون آن از جنس فنولیک(فیبر استخوانی) که توسط کربن به منظور رسانندگی با چگالی سطحی ۲۰۰ میلی گرم بر سانتیمتر مربع پوشیده شده است. قطر دیواره داخلی استوانه ۷۹ میلیمتر و ارتفاع آن ۴۹ میلیمتر است. عایق بکار رفته در اتصال آند و کاتد از جنس تفلون می‌باشد. حلقه محافظی از جنس آلومینیوم برای جلوگیری از جریان نشتی و اعوجاج میدان الکتریکی، طراحی شده است[۴]. گاز درون اتاقک می‌بایست حتی المقدور خشک باشد که این کار توسط دانه های سیلیکاژل که از طریق لوله‌ای به ظرف حاوی آن متصل است انجام می‌شود. پنجره ورودی به قطر ۷۹ میلیمتر و از جنس مایلر (Mylar) با ضخامت چگالشی ۷ میلی گرم بر سانتیمتر مربع در مقابل اتاقک قرار دارد. هوا با فشار اتمسفر محیط در داخل اتاقک وجود دارد. اتاقک در جعبه‌ای فلزی به ابعاد ۱۵×۱۵×۱۰ سانتیمتر قرار گرفته تا اثرات نوفه الکتریکی را کاهش دهد. برشی از اتاقک به انظمام ظرف سیلیکاژل و جعبه تعبیه شده برای اتاقک به ترتیب در شکل(۱) و شکل(۲) نشان داده شده است.



شکل۱. مقطعی از اتاقک یونیزاسیون به همراه ظرف

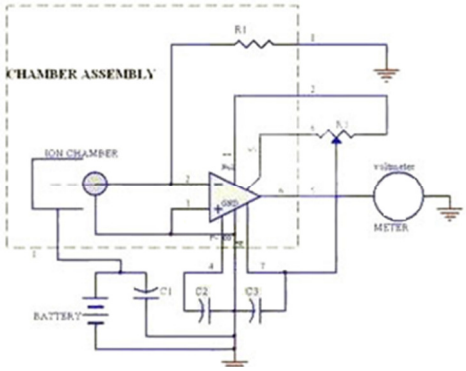


شکل۲. جعبه ساخته شده حاوی اتاقک یونیزاسیون

از لامپ اشعه ایکس به عنوان مولد برای تولید پرتوهای مورد نیاز در اندازه‌گیری دز استفاده شده است. پرتوهای خروجی از لامپ تحت زاویه ۴۵ درجه از سطح آند مسی آن ساطع می‌شود. این مولد دارای جریان ثابت ۵ میلی آمپر با ولتاژهای متغیر ۱۰۰ کیلو ولت تا ۲۰۰ کیلو ولت می‌باشد. در محیطهای با دز بالای اشعه ایکس ، به خاطر محدودیت (الکترونیکی) در اندازه‌گیری این دز توسط اتاقک ساخته شده، از یک ورقه سربی به ضخامت ۳ میلیمتر استفاده شده است. با این کار می‌توان میزان دز را تا محدوده کاری مورد نظر در اتاقک کاهش داد. همانطور که پیشتر هم گفته شد جریان تولید شده از اتاقک بسیار کوچک می‌باشد و برای قرائت ولتاژ حاصل از این جریان، مقاومت بالائی (۳×۱۰^{۱۲} اهم) مورد نیاز می‌باشد. ظرفیت خازنی این آشکارساز گازی ۰/۳۳ پیکو فاراد اندازه‌گیری شده است. همچنین برای تقویت این جریان یونی از تقویت

www.SID.ir

کننده عملیاتی AD147 استفاده شده است که دارای امپدانس ورودی بزرگ و امپدانس خروجی کوچک می‌باشد. مدار مورد استفاده در شکل (۳) آمده است.



شکل۳. مدار الکترونیکی اتاقک یونیزاسیون

برای محاسبه جریان یونی و همینطور آهنگ دز ناشی از آن، از سه روش زیر استفاده **شده است:**

الف)محاسبات با استفاده از نرم‌افزار ب) اندازه‌گیری و آزمایش ج) محاسبات از طریق شدت ذرات فرودی

الف) روش محاسبه توسط نرم‌افزار Rad Pro Calculator [۳]: در این روش، فرض شده که دزیمتر در فاصله ۸۵ سانتیمتری از لامپ قرار داده شده است(این فاصله بدلیل محدودیت در فضا و امکانات موجود که در آزمایش واقعی وجود دارد و در روش ب توضیح داده خواهد شد، بدست آمده است). از این روش میزان تغییرات آهنگ دز در اتاقک یونیزاسیون بدست آورده شد و سپس با استفاده از رابطه(۱) جریان تولید شده از مقدار دز، حاصل می‌گردد [۴]:

$$\dot{k} = \frac{I}{\rho_{air} V} \frac{w_{air}}{e} \frac{1}{1-g_{air}} \prod_i k_i \qquad (1)$$

که $\dot{k}$ آهنگ دز در اتاقک برحسب $(\frac{R}{h})$، I جریانی که از جمع آوری جفت یون– الکترون ایجاد شده است بر حسب $(\frac{C}{s})$ و یا آمپر ، ρ چگالی هوای درون اتاقک $(1.293 \times 10^{-3} \frac{g}{cm^3})$، V حجم فعال اتاقک بر حسب cm^3، $\frac{w}{e}$ پتانسیل یونش گاز(برای هوا $33/97$ $\frac{j}{c}$)، k_i فاکتورهای تصحیح و نهایتا" g_{air} کسری از کاهش انرژی الکترون اولیه توسط تولید تابش ترمزی(bremsstrahlung) در هوا می‌باشد که دارای مقادیر بسیار کوچکی است. بنابراین فاکتورهای تصحیح برای هوا یا $(1 - g_{air})$ یک در نظر گرفته شده است.

ب) روش اندازه‌گیری و آزمایش:

اتاقک در فاصله ذکر شده در روش الف از لامپ قرار دارد(۸۵ سانتیمتر) و توسط ولتمتری که به اتاقک متصل شده است می‌توان ولتاژ حاصل از آهنگ دزهای متفاوت را قرائت کرد. سپس بوسیله ولتاژهای قرائت شده و رابطه اهمی (V=IR) جریان یونی بدست می‌آید، که در آن V ولتاژ قرائت شده از ولتمتر، R مقاومت مدار$(3 \times 10^{12}$ اهم) و I جریان یونی می‌باشد. بنابراین با بدست آوردن جریان، آهنگ دز نیز تعیین می‌شود.

Archive of SID
www.SID.ir

ج) روش محاسبه از طریق شدت ذرات فرودی:

در این روش با استفاده از رابطه ($I = I_o e^{-\mu x}$) شدت فوتونهای عبوری از سرب که به پنجره اتاقک رسیده را محاسبه کرده و در نتیجه جریان و آهنگ دز حاصل از آن بدست می‌آید. نتایج حاصل از سه روش فوق در جداول (۱) و (۲) آمده است:

جدول۱. جریان یونی تولیدی بر اساس سه روش ذکر شده بر حسب آمپر

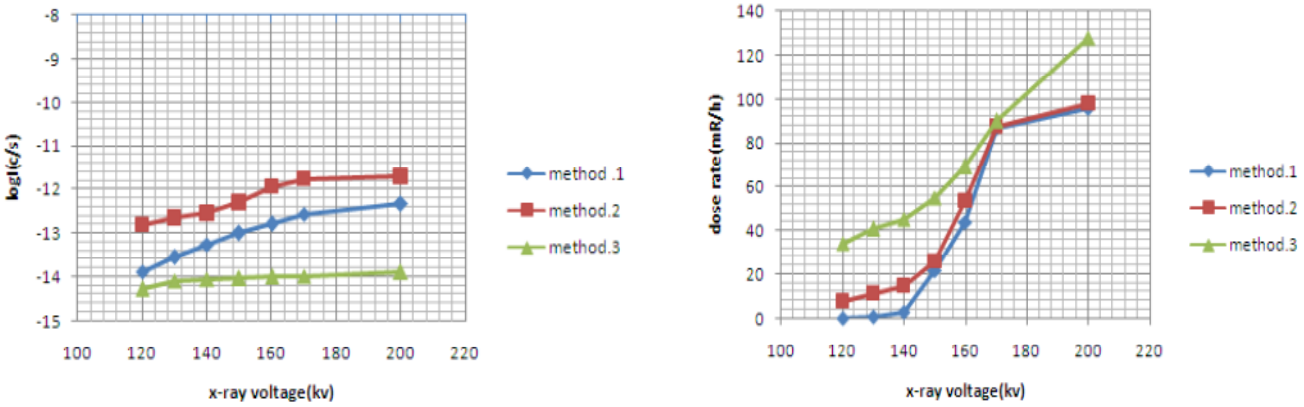
ولتاژ لامپ-x(kv)	روش اول	روش دوم	روش سوم
۱۲۰	$2/341 \times 10^{-15}$	$1/5 \times 10^{-13}$	$5/2 \times 10^{-15}$
۱۳۰	$1/54 \times 10^{-14}$	$2/12 \times 10^{-13}$	$7/86 \times 10^{-15}$
۱۴۰	$5/438 \times 10^{-14}$	$2/818 \times 10^{-13}$	$8/7 \times 10^{-15}$
۱۵۰	$4/19 \times 10^{-13}$	$4/9 \times 10^{-13}$	9×10^{-15}
۱۶۰	$8/4 \times 10^{-13}$	$1/162 \times 10^{-12}$	$9/7 \times 10^{-15}$
۱۷۰	$1/67 \times 10^{-12}$	$1/6872 \times 10^{-12}$	10^{-14}
۲۰۰	$1/35 \times 10^{-11}$	$1/89 \times 10^{-12}$	$1/24 \times 10^{-14}$

جدول۲. آهنگ دز حاصل بر اساس سه روش ذکر شده بر حسبmR/h

ولتاژ لامپ-x(kv)	روش اول	روش دوم	روش سوم
۱۲۰	0/1214	7/77	34
۱۳۰	0/8	11	40/7
۱۴۰	2/82	14/6	45
۱۵۰	21/749	25/6	55/01
۱۶۰	43/72	60/2	69/11
۱۷۰	86/9	87/4	86
۲۰۰	95/8	98	128

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۴ . جریان یونی بر حسب ولتاژهای لامپ ایکس(نمودارسمت چپ) و آهنگ دز بر حسب ولتاژهای لامپ ایکس(نمودار سمت راست)

برای بررسی عملکرد اتاقک در دزهای پایینتر شرایط آزمایش تغییر داده شد. در شرایط جدید اتاقک در فاصله یک متری و ضخامت سرب از ۳ میلیمتر به ۶/۲ میلیمتر تغییر کرد. در ضمن در این آزمایش از یک آشکارساز تناسبی کالیبره شده شرکت EG&G با نام تجاری UMO که متعلق به بخش فیزیک بهداشت رآکتور تهران می‌باشد، استفاده شده است. نتایج بدست آمده از اتاقک ساخته شده و آشکارساز تناسبی در جداول (۳) و (۴) آمده است:

جدول۳. جریان یونی تولیدی بر حسب آمپر

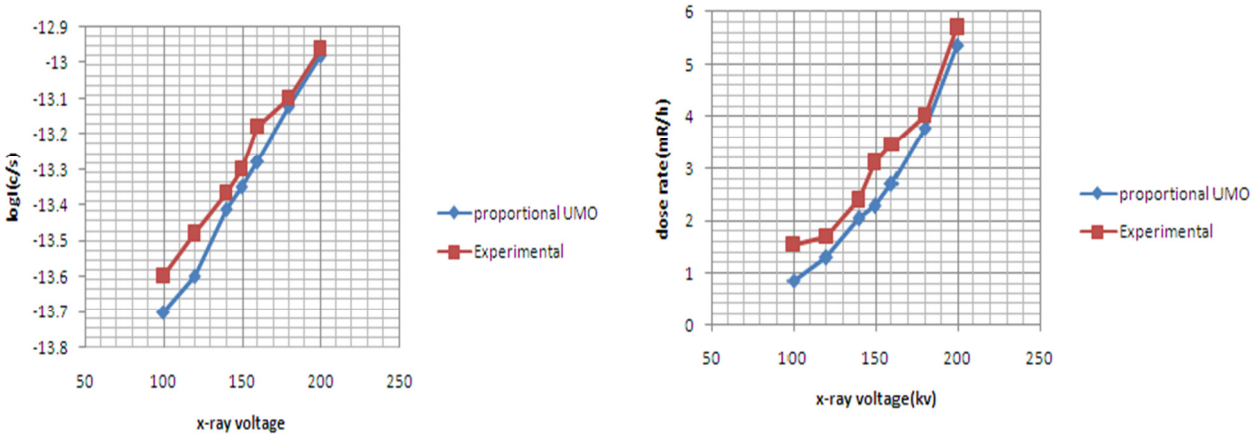
ولتاژ لامپ-x(kv)	اتاقک یونش	آشکارساز تناسبی UMO
۱۰۰	3×10^{-14}	$1/985 \times 10^{-14}$
۱۲۰	$3/3 \times 10^{-14}$	$2/5 \times 10^{-14}$
۱۴۰	$4/3 \times 10^{-14}$	$3/9 \times 10^{-14}$
۱۵۰	6×10^{-14}	$4/4 \times 10^{-14}$
۱۶۰	6.66×10^{-14}	$5/2 \times 10^{-14}$
۱۸۰	7×10^{-14}	$7/48 \times 10^{-14}$
۲۰۰	$1/1 \times 10^{-13}$	$1/03 \times 10^{-13}$

جدول۴. آهنگ دز بر حسب mR/h

ولتاژ لامپ-x(kv)	اتاقک یونیزاسیون	آشکارساز تناسبی UMO
۱۰۰	1/554	0/87
۱۳۰	1/7	1/3
۱۴۰	2/23	2/04
۱۵۰	3/108	2/28
۱۶۰	3/449	2/7
۱۸۰	3/625	3/876
۲۰۰	5/698	5/359

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۵ . جریان تولیدی برای اتاقک یونیزاسیون و آشکارساز تناسبی(نمودار سمت چپ) و آهنگ دز بر حسب ولتاژهای لامپ اشعه ایکس بر حسب ولتاژهای لامپ(نمودار سمت راست)

نتیجه‌گیری

با توجه به شکل‌های(۴) و (۵) مشاهده می‌شود که نتایج بدست آمده توسط روش‌های ذکر شده با تقریب نسبتا" خوبی به هم نزدیک می‌باشند. این تقریب در دزهای بالا و پایین متفاوت می‌باشد. بنابراین برای کالیبره شدن اتاقک مورد بحث می‌بایست مقادیر اندازه‌گیری شده را با دزیمتر از قبل کالیبره شده مقایسه نموده و ضرایب تصحیح را برای محدوده‌های متفاوت تعیین نمود و بر اساس آن سیستم را برای هر میزان دزی تنظیم کرد. این تنظیمات در سیستمهای آنالوگ و دیجیتال هم بصورت سخت افزاری و هم بصورت نرم‌افزاری قابل انجام می‌باشد.

مراجع:

1 N.soulfanidis, R. kohi, H.hadizade, measurment and detection of radiation, new York,1983, 833

۲ Y.B.Alcántara Pérez, F.J.Ramírez, Construction if an ionization chamber for the measurement of dose of low energy x-rays, medical physics, 131-135, 2008

3 http://www.radprocalculator.com

4 S.H.Park, H.S.Kim, Y.K.Kim, Saturation characteristics of the ionization chamber at a low dose rate, Radiation physics and chemistry, 73, 248-253, 2005

5 D.T.Burns and j.Witzani, Comparison of the air-kerma standards of the BEV and the BIPM in the low-energy x-ray range, Rapport BIPM,2-11, 2002.

Archive of SID
www.SID.ir