J. of Nuclear Sci. and Tech.
No. 30, pp. 1-8, 2004
Archive of SID

مجله علوم و فنون هسته‌ای
شماره ۳۰، صفحات ۸ - ۱، ۱۳۸۲

تأمین باریکهٔ مرجع الکترون با انرژی زیاد

عبدالرضا سلیمانیان[1]*، کلاوس دریکوم[2]

۱- بخش دزیمتری استاندارد (SSDL)، مرکز تحقیقات کشاورزی و پزشکی هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی ایران، صندوق پستی: ۴۹۸- ۳۱۴۸۵، کرج- ایران
۲- بخش پرتوهای یونساز مؤسسه ملی اندازه‌گیری، برانشوایگ- آلمان

چکیده: دزیمتری پرتوهای یونساز متّکی به استانداردهایی است که توسّط نهادهای ملّی و بین‌المللی ذیصلاح تدوین می‌شوند. میدان‌های مرجع پرتوهای یونساز به عنوان واسطهٔ بین استانداردهای اندازه‌گیری و کاربران پرتوها عمل می‌کنند. در این مقاله نحوهٔ معرفی یک باریکهٔ مرجع الکترون با انرژی زیاد و دُز مشخص، براساس استاندارد DIN6800-2، شرح داده شده‌است. برای این کار باریکهٔ الکترون یک شتابدهندهٔ خطی از نوع Philips SL75-20 با انرژی اسمی ۲۰ MeV بکار رفته است. کیفیت باریکهٔ الکترون با استفاده از یک اتاقک یونش صفحه موازی بر حسب انرژی میانگین باریکه در سطح یک فانتوم آب تعیین گردیده است. سه اتاقک یونش استوانه‌ای مختلف بر حسب استاندارد اوّلیهٔ دُز جذبی آب در میدان پرتو گامای Co-60 سنجه‌بندی شده‌اند، پاسخ اتاقکهای یونش نسبت به عوامل تأثیرگذار، مانند اثر قطبش ولتاژ و بازترکیبی یونها، در باریکهٔ الکترون بررسی شده‌اند، سپس هریک از این اتاقکها برای سنجه‌بندی سیستم ناظر دُز شتابدهنده، که خود شامل دو اتاقک یونش استوانه‌ای در فانتوم آب است، در شرایط مرجع اندازه‌گیری، به طور مستقل به کار رفته‌اند. در نهایت، میانگین ضریب سنجه‌بندی بر حسب دُز جذبی آب، برای سیستم ناظر دُز با انحراف معیار کمتر از ۰/۳٪ تعیین شده است. خطای کلّی در تعیین دُز جذبی آب در باریکهٔ الکترون در شرایط مرجع، ۱/۴٪ برآورد شده است.

واژه‌های کلیدی: *باریکهٔ الکترون مرجع، کیفیت باریکه، اتاقک یونش، سنجه‌بندی، دُز جذبی*

Establishment of a Reference High-Energy Electron Beam

A. Solimanian[1]*, K. Derikum[2]

1- Secondary Standard Dosimetry laboratory (SSDL), Nuclear Research Center for Agriculture and Medicine, AEOI, P.O.Box: 31485 - 498, Karaj-Iran
2- Physikalisch, Technische Bundesanstalt (PTB), Braunschweig - Germany

Abstract: Dosimetry of ionizing radiations are based on standard methods issued by competent national and international organizations. Establishment of reference radiations at standard dosimetry laboratories are essential to transfer measurement standards to radiation users. This paper presents attempts made at Ionizing Radiation Division of PTB to produce a reference 20 MeV electron beam based on the German standard DIN 6800-2. The quality of the 20 MeV electron beam of a Philips SL75-20 linear accelerator (linac) is determined by a well designed plane-parallel ionization chamber, in terms of mean energy of the electron beam at the surface of a water phantom. Three types of cylindrical ionization chambers are calibrated against the primary standard of absorbed dose to water at PTB in Co-60 gamma radiation. Based on DIN 6800-2, independent measurements of absorbed dose to water are then carried out by these three calibrated chambers at a reference depth in water phantom and with reference to the dose monitoring system of the linac which consists of two other ionization chambers located in water phantom. The results are compared and a mean calibration factor for the monitor chambers with a combined standard uncertainty is determined.

Keywords: *reference electron beam, beam quality, ionisation chamber, calibration, absorbed dose*

*email: a.soleimanian@nrcam.org

www.SID.ir

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۸۲/۲/۱ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۸۲/۱۱/۱۱

Archive of SID

۱- مقدمه

دُز جذبی آب در باریکه‌های فوتون و الکترون که در پرتودرمانی بکار می‌رود به وسیلهٔ اتاقکهای یونش مناسب و بکاربستن دستورکارهای معیّن، که توسّط نهادهای ملّی و بین‌المللی ذیربط به همین منظور تدوین شده‌اند [۱ تا ۳]، تعیین می‌گردد. سنجه‌بندی اتاقکهای یونش در میدان‌های مرجع پرتوهای یونساز در آزمایشگاههای دُزیمتری استاندارد، ملاک عمده‌ای است که تعیین دُز جذبی باریکه‌های فوتون و الکترون را در مراکز پرتودرمانی به سیستم بین‌المللی اندازه‌گیری ارتباط می‌دهد. برای ارزیابی صحّت دزیمتری‌هایی که در مراکز پرتودرمانی انجام می‌گیرند، برنامه‌های دوره‌ای دُزیمتری مقایسه‌ای توسّط مراکز دزیمتری استاندارد در سطح ملّی یا منطقه‌ای، و یا در سطح بین‌المللی، توسّط سازمان بهداشت جهانی (WHO) با همکاری آژانس بین‌المللی انرژی اتمی (IAEA) اجرا می‌شود؛ مورد اخیر در حال حاضر، دُز جذبی آب در باریکه‌های پرتو گامای Co-60 و ایکس پرانرژی را در برمی‌گیرد. تجزیه و تحلیل نتایج دُزیمتری مقایسه‌ای نیز به نوبهٔ خود، و در نهایت، متّکی به سنجه‌بندی دُزیمترهای واسطه (معمولاً ترمولومینسانس، TLD) در میدان‌های مرجع پرتوهای یونساز است. دُزیمتری مقایسه‌ای بین مراکز دُزیمتری استاندارد اوّلیه (PSDL) و ثانویه (SSDL) نیز برای مقایسهٔ استانداردهای موجود آنها انجام می‌گیرد. با توجّه به اهمیّت میدانهای مرجع پرتوهای یونساز، در این کار پژوهشی، که در مؤسسهٔ ملی PTB آلمان[۱] انجام گرفته، سعی شده است که با استفاده از اتاقکهای یونش سنجه‌بندی شده در مقابل استاندارد اوّلیهٔ دُز جذبی آب در میدان پرتو گامای Co-60 و بر اساس دستور کار DIN 6800-2[2]، تحت شرایط معیّن، باریکهٔ الکترون با انرژی اسمی ۲۰MeV حاصل از یک شتابدهندهٔ خطّی الکترون نوع Philips SL75-20، به عنوان باریکهٔ مرجع الکترون با دُز مشخص معرّفی شود.

۲- ملاحظات نظری: روش دُزیمتری براساس استاندارد DIN 6800-2

رابطهٔ تعیین دُز جذبی آب در باریکه های الکترون مورد استفاده در پرتودرمانی خارجی، با استفاده از اتاقکهای یونش مناسب و بر اساس دستور کار DIN6800-2 چنین است:

$$D_w(P_{eff}) = M \cdot N \cdot \underbrace{k_E k_\rho k_r k_s k_P k_T}_{k} \qquad (۱)$$

در این رابطه:

M، باز الکتریکی خوانده شده به وسیلهٔ الکترومتر متصّل به اتاقک یونش بر حسب کولن است.

N، ضریب سنجه بندی اتاقک یونش برحسب دُز جذبی آب در میدان پرتو مرجع است. پرتو مرجع دراستاندارد DIN 6800-2 پرتو گامای Co-60 است. استاندارد اوّلیهٔ دُز جذبی آب در مؤسسهٔ PTB، در حال حاضر متکّی به دزیمتر فریک، بر اساس جذب کلّی الکترونهای یک باریکهٔ مشخّص الکترون در محلول سولفات فرّو است [٤]. کوششهای مؤثّری نیز به منظور برپایی استاندارد اوّلیهٔ دُز جذبی آب بر اساس روش کالوریمتری، در این مؤسّسه در جریان است.

P_{eff}، نقطهٔ موثّر اندازه‌گیری در اتاقک یونش است که برای اتاقکهای صفحه موازی[۲] در مرکز جدار داخلی پنجرهٔ ورودی پرتو و برای اتاقکهای استوانه‌ای[۳] به شعاع داخلی r، در فاصلهٔ ۰/۵ r از مرکز اتاقک به سمت منبع پرتو قرار دارد.

k_ρ، عامل تصحیح ناشی از تغییرات دما و فشار محیط اندازه‌گیری (T و P) نسبت به دما و فشار مرجع (T_o و P_o) است. ($k_\rho = TP_o/T_oP$)

k_r، عامل جابجایی ناشی از تفاوت نقطهٔ مؤثّر اندازه‌گیری اتاقکهای استوانه‌ای (به شعاع r) در باریکهٔ الکترون در مقایسه با پرتو گامای Co-60 است. ($k_r = ۱ + ۰/۰۲۵\ r$)

k_P، عامل تصحیح ناشی از اثر قُطبش[٤] ولتاژ اعمال شده به اتاقک یونش است.

$$k_P = \frac{|M_+| + |M_-|}{2|M_{+or-}|}$$

k_s، عامل تصحیح ناشی از بازترکیب یونها[۵] در مورد اتاقک یونش مورد استفاده است و معمولاً با روشی تجربی موسوم به روش دو ولتاژ تعیین می‌شود. در این روش اندازه‌گیری با اتاقک یونش در دو ولتاژ $V_۱$ و $V_۲$ انجام گرفته ($V_۱/V_۲ \geq ۳$) و سپس با در دست داشتن نسبت مقادیر خوانده شده $M_۱/M_۲$ عامل k_s برای باریکه‌های تپشی و باریکه‌های تپشی - روبشی

www.SID.ir

Archive of SID

از رابطهٔ تجربی زیر تعیین می‌شود:

$$k_s = a_o + a_1 (M_1/M_2) + a_2 (M_1/M_2) \quad (۲)$$

ضرایب a_o، a_1 و a_2 برای نسبتهای مختلف V_1/V_2 در استاندارد DIN 6800-2 داده شده‌اند.

k_T، عاملی است که تأثیر احتمالی دمای محیط را روی دستگاه اندازه‌گیری بار الکتریکی (الکترومتر) و اتاقکهای یونش بسته نشان می‌دهد و در این کار موردنظر نبوده است.

k_E، عامل تصحیح ناشی از تفاوت کیفیت باریکهٔ الکترون با کیفیت باریکهٔ مرجع (معمولاً پرتو گامای Co-60) و یا به طور خلاصه عامل تصحیح کیفیت باریکه است. این عامل را می‌توان به صورت حاصلضرب دو مؤلّفهٔ مجزّای k_E' و k_E'' در نظر گرفت:

$$k_E = k_E' . k_E'' \quad (۳)$$

k_E' مؤلّفهٔ عمدهٔ عامل تصحیح کیفیت بوده و مستقل از نوع اتاقک یونش مورد استفاده و مشخّصات آن است:

$$k_E' = (S_{w/a})_E / (S_{w/a})_{Co} \quad (٤)$$

$(S_{w/a})_E$ و $(S_{w/a})_{Co}$ به ترتیب نسبتهای توان متوقّف سازی آب به هوا برای باریکهٔ الکترون و پرتو گامای Co-60 هستند. مقادیر k_E' برای باریکه‌های تک انرژی الکترون با انرژی E_o در سطح یک فانتوم آب برحسب تابعی از عمق آب در DIN 6800-2 عرضه شده‌اند. برای باریکه‌های الکترون شتابدهنده‌های پزشکی با بُرد عملی R_p و انرژی متوسّط $\bar{E}_o$ در سطح فانتوم، روش زیر که عمده‌ترین وجه تمایز روش DIN 6800-2 با روشهای دیگر دُزیمتری است، برای تعیین مقدار k_E' در عمق z پیشنهاد شده است:

$$k_E' = a(E'_o) . (R_P - z) + b(E'_o) \quad (۵)$$

در این رابطه، E'_o یک متغیّر مجازی است که بر حسب $\bar{E}_o$، یعنی انرژی متوسّط باریکه درسطح فانتوم و بُرد عملی R_p تعریف می‌شود:

$$E'_o(\bar{E}_o, R_P) = \bar{E}_o + f(\bar{E}_o).[R_P - (-۰/۰۰۰۵\bar{E}_o^2 + ۰/۵۱۰٤\bar{E}_o - ۰/۱۱۲۹)] \quad (٦)$$

$$f(\bar{E}_o) = ۰/۰۰٦۵\ \bar{E}_o^2 - ۰/٤۸٤\ \bar{E}_o + ۱٦ \quad (۷)$$

www.SID.ir

$\bar{E}_o$ انرژی متوسّط باریکه در سطح فانتوم است که شاخص کیفیت باریکهٔ الکترون در استاندارد DIN 6800-2 به شمار می‌رود و با یکی از روابط زیر تعیین می شود:

$$\bar{E}_o = ۰/۳٤۸ + ۲/۲R_{50,i} + ۰/۰۱۷ (R_{50,i})^2 \quad (۸)$$

$$۳\ MeV \le \bar{E}_o < ۳۵\ MeV$$

$$\bar{E}_o = ۰/۳۱ + ۲/۲۵R_{50,D} + ۰/۰۰٦ (R_{50,D})^2 \quad (۹)$$

$$۳\ MeV \le \bar{E}_o < ۳۵ MeV$$

در روابط ۸ و ۹ پارامترهای $R_{50,i}$ و $R_{50,D}$ (برحسب cm) به ترتیب عمقی از آب هستند که در آن مقدار یونش و دُز جذبی به نصف مقدار ماکزیموم آنها کاهش می‌یابد. مقادیر $R_{50,i}$ و $R_{50,D}$ از منحنی‌های توزیع یونش و دُز در آب به دست می‌آیند.

ضرایب a و b در معادلهٔ (۵) توابعی از E'_o هستند. برای $E'_o \le ۲۵$ MeV خواهیم داشت:

$$a = ۲/۷٦۳\times۱۰^{-۱}E'^{3}_o - ۱/۹٤\times۱۰^{-٤}E'^{2}_o + ٤/۹۳۲۳\times۱۰^{-۳}E'_o - ۵/٦٦۰۵\times۱۰^{-۲} \quad (۱۰)$$

$$b = ۵/۳۳٦۰\times۱۰^{-۱}E'^{3}_o - ۱/۹۵۲۳\times۱۰^{-٤}E'^{2}_o - ۷/۸۸۲٦\times۱۰^{-۵}E'_o + ۱/۰۰۷۹ \quad (۱۱)$$

و برای $E'_o > ۲۵$ MeV:

$$a = ۲/۵٦۷۸\times۱۰^{-۷}E'^{3}_o - ۳/۳۸۵\times۱۰^{-۵}E'^{2}_o + ۱/٦۱٤\times۱۰^{-۳}E'_o - ۳/٤۳۵۸\times۱۰^{-۲} \quad (۱۲)$$

$$b = -۱/۱۷۷۲\times۱۰^{-٦}E'^{3}_o + ۱/٤۹۹\times۱۰^{-٤}E'^{2}_o - ٦/٦۵۷۳\times۱۰^{-۳}E'_o + ۱/۰۵۵۸ \quad (۱۳)$$

مؤلّفهٔ دیگر ضریب k_E، یعنی k_E''، به نوع اتاقک یونش مورد استفاده بستگی دارد و اختلال ناشی از حضور اتاقک در باریکهٔ الکترون (p_E) را در مقایسه با حضور آن در میدان پرتو گامای ^{60}Co (p_{Co})، نشان می‌دهد:

$$k_E'' = p_E / p_{Co} \quad (۱٤)$$

برای اتاقکهای یونش صفحه موازی ایده‌آل، $p_E = ۱$ در نظر گرفته می‌شود. برای اتاقکهای یونش استوانه‌ای، p_E را از رابطهٔ تجربی زیر می‌توان حساب کرد:

$$p_E(r, \bar{E}(z)) = 1 - ur\exp(-\upsilon\bar{E}(z)) \quad (۱۵)$$

Archive of SID

در این رابطه r شعاع داخلی اتاقک یونش برحسب cm (تا r =۰/۳۵ cm)، u =۰/۲۱۵۵ cm^{-1}، ν =۰/۱۲۲٤ MeV^{-1} و $\bar{E}(z)$ انرژی متوسّط باریکهٔ الکترون در عمق z است.

$$\bar{E}(z) = \bar{E}_o[1.36\sqrt{(1.10 - z/R_p)^2 + 0.30} - 0.67] \quad (16)$$

برای اتاقکهای استوانه‌ای، p_{Co} از رابطهٔ زیر تعیین می‌شود:

$$p_{Co} = \frac{\alpha s_{wall,air}(\mu_{en}/\rho)_{w,wall} + (1-\alpha)s_{w,air}}{s_{w,air}} \quad (17)$$

α کسری از یونش تولید شده در حجم اتاقک است که به وسیلهٔ الکترونهای پرتاب شده از دیوارهٔ اتاقک ایجاد می‌شود. برای دقّت بیشتر در تعیین p_{Co}، می‌توان سهم ناشی از پوشش احتمالی ضد آب اتاقک یونش را نیز در نظر گرفت. مقادیر تقریبی p_{Co} برای اتاقکهای استوانه‌ای با ضخامت دیوارهٔ ۰/۰۵cm در استاندارد DIN 6800-2 عرضه شده است. در مورد اتاقکهای صفحه موازی، به منظور اجتناب از مشکلات مربوط به تعیین p_{Co}، سنجه‌بندی اتاقک یونش در یک باریکهٔ الکترون با انرژی زیاد، در مقایسه با پاسخ اتاقک یونش استوانه‌ای پیشنهاد شده است.

۳- تعیین کیفیت باریکهٔ الکترون

شتابدهندهٔ خطّی فیلیپس، Philips SL75-20، قادر است باریکه های الکترون با انرژی های اسمی ٦، ۸، ۱۰، ۱۲/۵، ۱٦ و ۲۰ مگاالکترون ولت (MeV)، همچنین باریکه های فوتون با انرژی‌های ۸، ۱۰، ۱٦ و ۱۸ مگاولت (MV) را تولید کند. برای تعیین شاخص‌های کیفیت باریکهٔ الکترون با انرژی اسمی ۲۰MeV، منحنی‌های توزیع یونش را در عُمق یک فانتوم آب با ابعاد ۳۰cm×۳۰cm×۳۰cm، به وسیله یک اتاقک یونش صفحه موازی از نوع FK6 با مشخصات زیر، که در مؤسسهٔ PTB طرّاحی و ساخته شده است، به دست آورده‌ایم.

فاصلهٔ منبع تولید پرتو تا سطح فانتوم: SSD = ۱۰۰ cm و ابعاد میدان پرتو در سطح فانتوم ۲۰cm×۲۰cm بوده است. تمام اندازه‌گیری‌های یونش به وسیله دستگاه اندازه‌گیری بار الکتریکی، که مجموعه‌ای متشکل از الکترومترهای نوع Keithley و مبدّل‌های ولتاژ به بسامد است، انجام گرفته‌اند. جریان حاصل از ایجاد یونش در حجم هوای اتاقک های یونش،

مشخّصات اتاقک یونش صفحه موازی نوع FK-60

جنس اتاقک	ضخامت پنجره ورودی پرتو	فاصله الکترودها	قطر الکترود	پهنای حلقه محافظ
PMMA با الکترودهای گرافیتی	(۱۱۸mg/cm²) ۱mm	۲mm	۱٦mm	٤mm

بسته به نوع اتاقک بکار رفته، معمولاً در گسترهٔ 10^{-12} تا 10^{-10} آمپر است. دستگاه اندازه‌گیری طوری طرّاحی شده است که می‌توان با آن چنین جریان‌های ضعیفی را با توان تفکیک ±1fA اندازه گیری کرد. نحوهٔ اندازه گیری به این ترتیب است که ابتدا به وسیلهٔ تقویت‌کننده‌ای که نوفهٔ آن پایین است ولتاژی متناسب با جریان یونش در گسترهٔ بین صفر تا ۱۰V تولید می‌شود. سپس با یک دستگاه مبدّل ولتاژ به بسامد، این ولتاژ به بسامد مناسبی در گسترهٔ صفر تا ۱۰ kHz تبدیل می‌گردد. پالسهای بسامد در خروجی این دستگاه، به وسیلهٔ یک شمارنده، که به طور سری به آن متصّل است در مدّت‌های تعیین شده (معمولاً ۳۰ ثانیه) شمارش می شوند. نسبت تعداد پالس های شمارش شده به مدّت اندازه‌گیری (پس از سنجه‌بندی مناسب دستگاه اندازه‌گیری) میانگین بسامد را به دست می دهد که از آن می توان مقدار متوسّط جریان یونش را در مدّت اندازه‌گیری تعیین کرد. میانگین‌گیری در بازهٔ زمانی معیّن این مزیّت را دارد که مؤلّفه‌های نوفهٔ پربسامد را حذف می‌کند. اندازه‌گیری‌ها در هر عمقی نسبت به اثر قطبش و بازترکیب یونها تصحیح شده‌اند. برای به حداقل رساندن اثر هر گونه تغییر در خروجی شتابدهنده در مدّت اندازه‌گیری‌ها، مقادیر یونش اندازه‌گیری شده به وسیلهٔ اتاقک FK6 نسبت به مقدار متوسّط خوانده شده به وسیلهٔ دو اتاقک یونش ناظر[٦] از نوع Wellhöfer IC10، که درون فانتوم آب در فاصله‌های مساوی و قرینه نسبت به محور مرکزی باریکه به طور ثابت قرار گرفته‌اند، بهنجار شده‌اند. نمودار توزیع یونش را، که به این طریق به دست می‌آید، برای تعیین عمق بیشینهٔ یونش، $R_{100,i}$، نصف عمق بیشینهٔ یونش، $R_{50,i}$، و بُرد عملی (R_p) به کار برده‌ایم. سپس منحنی توزیع دُز درون آب را، با ضرب کردن مقدار یونشِ هر عُمق در نسبت توان متوقّف سازی آب به

www.SID.ir

Archive of SID

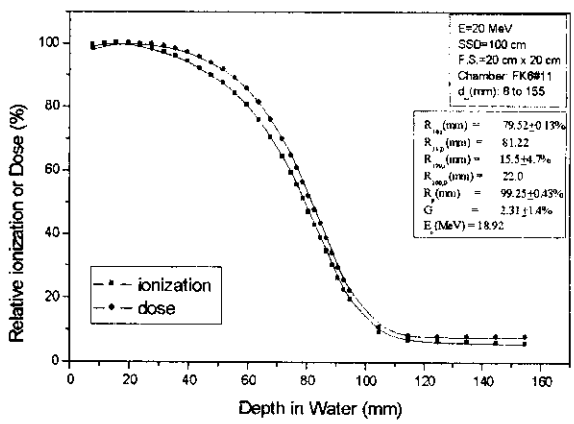
هوا، $S_{w/a}$، در همان عُمق ترسیم کرده‌ایم. انرژی متوسّط باریکه در سطح فانتوم، $\bar{E}_o$، که شاخص اصلی کیفیت باریکهٔ الکترون در DIN6800-2 است، نیز با استفاده از رابطهٔ ۸ (یا ۹)، حساب شده است. شکل ۱ نمودارهای توزیع یونش و دُز و همچنین پارامترهای شاخص کیفیت باریکهٔ الکترون ۲۰MeV را نشان می‌دهد. اندازه‌گیری منحنی توزیع دُز یا یونش در میدان ۱۵cm×۱۵cm نیز تغییر قابل ملاحظه‌ای را در کیفیت باریکه نسبت به میدان ۲۰cm×۲۰cm نشان نداده است.

٤- تعیین دُز جذبی آب

٤-١ سنجه‌بندی اتاقکهای یونش

تعیین دُز جذبی آب در باریکهٔ الکترون ۲۰MeV، به وسیلهٔ سه اتاقک یونش استوانه‌ای از نوع NE2571،NE2571 و M23332 انجام گرفته است. مشخّصات این اتاقکها، همچنین اتاقک یونش استوانه‌ای نوع IC10 که به عنوان اتاقک یونش ناظر به کار رفته است، در جدول ۱ درج شده‌اند.

ابتدا این سه اتاقک را ضِمن مقایسه با استاندارد اوّلیهٔ دُز جذبی آب، در میدان پرتو گامای Co-60 در مؤسّسهٔ PTB



شکل ۱- نمودارهای توزیع یونش، دُز و پارامترهای شاخص کیفیت باریکه الکترون ۲۰MeV

سنجه‌بندی کرده‌ایم. فاصلهٔ چشمه تا سطح فانتوم آب ۸۳cm، قطر میدان پرتو در سطح فانتوم ۱۰cm و مرکز اتاقکهای یونش در عمق ۵ سانتیمتری از سطح فانتوم قرار داده شده‌اند. نتایج سنجه‌بندی در شرایط محیطی مرجع (دمای T=۲۰°C و فشار P=۱۰۱۳/۲mb) در جدول ۲ مندرج است.

٤-٢ تعیین عامل تصحیح کیفیت باریکهٔ الکترون (k_E)

برای تعیین عامل k_E باید مؤلّفه‌های k_E' و k_E'' در رابطهٔ ۳ را جداگانه حساب کنیم: با قرار دادن $\bar{E}_o$ =۱۸/۹۲MeV در معادلهٔ ٦، مقدار E'_o =۲٤/۰٥٦MeV بدست می‌آید. سپس با قرار دادن این مقدار در معادلات ۱۰ و ۱۱ ضرایب a و b در معادلهٔ ٥ حساب می‌شوند. بنابراین خواهیم داشت:

$$k_E' = -۰/۰۱۱۷٤۳٤٤٥\ (R_p - z) + ۰/۹٦۷۷۲٥۹٤۸ \qquad (۱۸)$$

اینک با قرار دادن R_p =۹/۹۲٥ cm و $z_{ref} = R_{100}$ =۲/۲cm در معادلهٔ ۱۸، مقدار k_E' =۰/۸۷۷۰۱ را نتیجه می‌گیریم.

برای محاسبهٔ، $k_E''=(P_E/P_{Co})$، ابتدا انرژی متوسّط باریکه در عمق مرجع، یعنی $\bar{E}_{(Zref)}$ را از معادلهٔ ۱٦ به دست آورده و با قرار دادن آن در معادلهٔ ۱٥، P_E را حساب می‌کنیم. P_{Co} نیز از معادلهٔ ۱۷ حساب می‌شود. برای تعیین فاکتور k_E در مورد سه اتاقک یونش، نتایج حاصل در جدول ۳ خلاصه شده‌اند.

٤-٣ بررسی اثرهای قطبش و بازترکیب یونها

برای ارزیابی تأثیر قطبش ولتاژ اعمال شده بر اتاقکهای یونش و اثر بازترکیب یونها، رفتار همهٔ اتاقکهای یونش بکار رفته در باریکهٔ الکترون ۲۰MeV را با تغییردادن ولتاژ بایس در هر دو قطبش (-/+) و ترسیم نمودار بارهای خوانده شدهٔ M برحسب ۱/V (عکس ولتاژ) را بررسی کرده‌ایم. انحراف از رفتار خطّی در

جدول ۱- مشخّصات اتاقک های یونش استوانه‌ای

نوع اتاقک یونش	حجم حفرهٔ اتاقک (cm^3)	طول حفره (mm)	شعاع حفره (mm)	جنس و ضخامت دیواره (g/cm^2)	جنس الکترود مرکزی
NE 2561	۰/۳۳	۹/۲	۳/۷	گرافیت، ۰/۰۹	آلومینیوم
NE 2571	۰/٦	۲٤	۳/۲	گرافیت، ۰/۰٦٥	آلومینیوم
PTW، M23332	۰/۳	۱۸	۲/٥	PMMA، ۰/۰٥٤	آلومینیوم
Wellhöfer، IC10	۰/۱٤	٦/۳	۳/۰	C-522، ۰/۰٦۸	آلومینیوم

www.SID.ir

Archive of SID

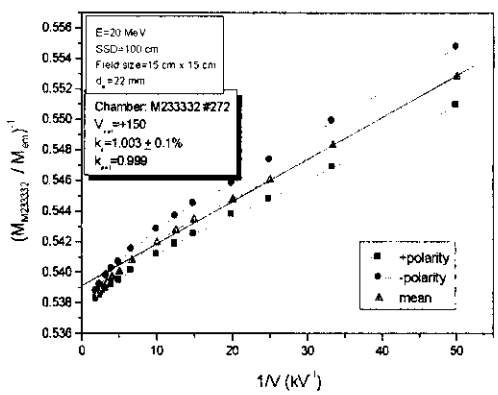
جدول ۲- فاکتورهای سنجه بندی اتاقکهای یونش برحسب دز جذبی آب در میدان پرتو Co-60

اتاقک یونش	ولتاژ (volts)	$N_{D,w,Co}$ (×۱۰^{7}Gy/C)
NE2571 #2906,0.6 cc	+۲۵۰	٤٥/۲۷٤
NPL NE2561 #244,0.33 cc	+۲۰۰	۱۰۱/۹٦
M23332 #272,0.3 cc	+۱۵۰	۱۱۱/۸۷۵

جدول ۳- تعیین عامل تصحیح کیفیت باریکهٔ الکترون برای اتاقکهای یونش

اتاقک یونش	NE2571	NE2561	M23332
p_E	۰/۹۸۷۵۱	۰/۹۸۵۵٦	۰/۹۹۰۲٤
p_{Co}	۰/۹۹۲۲	۰/۹۹۰۲	۱/۰۰۱٦
k_E''	۰/۹۹۵۳	۰/۹۹۵۳	۰/۹۸۸۷
$k_E = k_E' . k_E''$	۰/۸۷۲۹	۰/۸۷۲۹	۰/۸٦۷۱

ولتاژهای بالا در اکثر اتاقکهای یونش نشان می‌دهد که منحنی اشباع به شکل یک منحنی اشباع واقعی نیست بلکه پاسخ کلّی هر اتاقک را نسبت به تغییر ولتاژ نشان می‌دهد. برای به دست آوردن ولتاژ کار مناسب و فاکتورهای تصحیح قطبش و بازترکیب یونها، بخش خطّی منحنی‌های اشباع را بکار برده‌ایم (سنجه‌بندی اتاقکهای یونش در میدان پرتو Co-60 در واقع بعد از این آزمایش انجام شده است).منحنی اشباع اتاقک یونش M23332، به عنوان نمونه، در شکل ۲ نشان داده شده است. عاملهای تصحیح ناشی از تغییر قطبش ولتاژ کار مناسب هر اتاقک (k_P)، و بازترکیب یونها (k_s) با استفاده از روش دو ولتاژ (معادلهٔ ۲) و با در نظر گرفتن نسبت دو ولتاژ (V_1/V_2=۳) در جدول ٤ مندرج است.



شکل ۲- پاسخ اتاقک یونش PTW M23332 برحسب تابعی از ولتاژ در باریکهٔ الکترون ۲۰ MeV

٤-٤ اندازه‌گیری دُز جذبی آب و سنجه بندی اتاقکهای یونش ناظر

با استفاده از داده‌های پیشین، پاسخ سه اتاقک یونش NE2571، NE2561 و M23332 را برحسب دُز جذبی آب در باریکهٔ الکترون ۲۰MeV بر طبق مندرجات جدول ۵ تعیین کرده‌ایم.

این سه اتاقک برای سنجه‌بندی باریکهٔ الکترون ۲۰MeV برحسب دُز جذبی آب در شرایط مرجع SSD =۱۰۰ cm، ابعاد میدان پرتو در سطح فانتوم ۱۰cm×۱۰cm و عمق آب z_{ref} =۲۲cm انتخاب شده‌اند. منظور اصلی در واقع، سنجه‌بندی مقدار متوسّط بار الکتریکی خوانده شده به وسیلهٔ دو اتاقک یونش ناظر بوده است. اندازه‌گیری‌ها بیش از ۸۰ مورد، هر یک به مدّت ۱٦۰ ثانیه با اتاقک یونش NE2571 انجام گرفته است. با وجود بیش از ۱٪ تغییر در خروجی شتابدهنده، در مدّتی حدود ٤ ساعت اندازه‌گیری، پاسخ این اتاقک یونش نسبت به متوسّط پاسخ اتاقکهای ناظر تا حدود ۰/۰۳٪ پایدار بوده است (شکل ۳). انـدازه‌گـیـری‌هـای مـشـابـهـی با اتاقکهای یونش NE2561 و

جدول ٤- عاملهای تصحیح k_P و k_s

اتاقک یونش	NE2561	NE2571	M23332	FK6	IC10
k_P	۱/۰۰۳	۱/۰۰۰	۰/۹۹۹	۱/۰۰۰	۱/۰۰۲
k_s	۱/۰۰۸	۱/۰۰٦	۱/۰۰۳	۱/۰۰۵	۱/۰۰٤

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۵- پاسخ اتاقکهای یونش استوانه‌ای در باریکهٔ الکترون ۲۰ MeV برحسب دز جذبی آب

اتاقک یونش	k_r (±٪۰/۳)	k_s (±٪۰/۱)	k_P (±٪۰/۱)	k_E (±٪۱/۱۵)	$N_{D,w,Co}$(±٪۰/۷) (×۱۰^{۷}Gy/C)	$N_{D,w,20MeV}$(±٪۰/۷) (×۱۰^{۷}Gy/C)
NE2571	۱/۰۰۸	۱/۰۰۶	۱/۰۰۰۲۲	۰/۸۷۲۹	٤٥/۲۷٤	٤۰/۰۸٤
NE2561	۱/۰۰۹	۱/۰۰۸	۱/۰۰۲۸	۰/۸۷۲۹	۱۰۱/۹٦	۹۰/۷۷٤
M23332	۱/۰۰٦	۱/۰۰۳	۰/۹۹۸۷	۰/۸٦۷۰٦	۱۱۱/۸۷٥	۹۷/٦۸۱

M23332 نیز انجام گرفته است.

برای بدست آوردن ضریب سنجه‌بندی اتاقکهای یونش رابطهٔ زیر بکار رفته است:

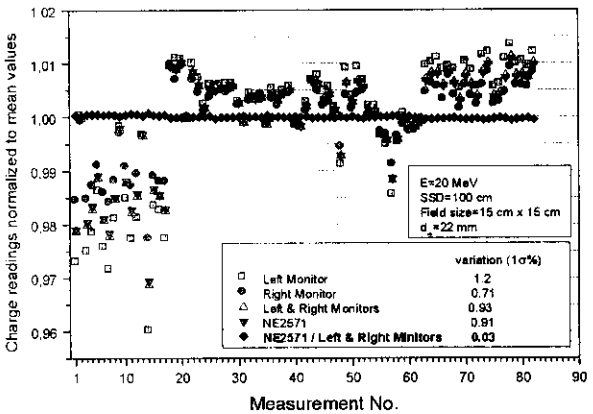
$$N_{Mon\ L\&R} = N_{D,w,20MeV} \cdot \frac{M_{chamber}}{M_{Mon\ L\&R}} \qquad (۱۹)$$

$M_{Mon\ L\&R}$ مقدار متوسّط خوانده شده به وسیلهٔ اتاقکهای یونش ناظر است که تصحیحات مربوط به کمیّتهای تأثیرگذار (k_ρ, k_P, k_s) در مورد آن اعمال شده است. فاکتور $N_{Mon\ L\&R}$ در واقع مقدار متوسّط دُز جذبی آب را در شرایط مرجع، به ازای هر کولن بار الکتریکی گردآوری شده به وسیلهٔ اتاقکهای یونش ناظر، بدست می‌دهد. نتایج سنجه‌بندی اتاقکهای یونش ناظر به وسیلهٔ هر سه اتاقک یونش که برای تعیین دُز جذبی آب در محور مرکزی باریکه در شرایط مرجع SSD=۱۰۰cm، اندازهٔ میدان در سطح فانتوم ۱۰cm×۱۰cm، عمق مرجع z_{ref} = ۲۲mm در دمای ۲۰°C و فشار هوای ۱۰۱۳/۲mb بکار رفته، در جدول ٦ عرضه شده است.

برای برآورد خطای کلّی در سنجه بندی دُز جذبی، باید خطای اندازه‌گیری هر یک از اجزای معادلهٔ ۱۹، به ویژه خطاهای برآورد شده در پاسخ اتاقکهای یونش استوانه‌ای را در نظر بگیریم. گرچه تعیین دقیق خطاهای وارد شده در اندازه‌گیری‌ها مستلزم بررسی بیشتری است، ولی به منظور برآورد بیشینهٔ خطای کلّی، خطاهای مندرج در جدول.۷ را در نظر گرفته‌ایم.

۵- نتیجه‌گیری

تأمین میدان‌های مرجع پرتوهای یونساز از اولویّت‌هایی است که هر مرکز دُزیمتری استاندارد در برنامهٔ کار خود قرار می دهد. در این کار پژوهشی، در بخش پرتوهای یونساز مؤسسه PTB در آلمان، کوشش شده است براساس استاندارد DIN 6800-2، به وسیلهٔ اتاقکهای یونش مختلف، دُز جذبی آب در یک باریکهٔ الکترون با انرژی نسبتاً زیاد (۲۰MeV) سنجه‌بندی شود و به



شکل ۳- پایداری پاسخ اتاقک یونش NE2571 نسبت به اتاقک یونش ناظر

عنوان میدان مرجع برای باریکه‌های مورد استفاده در پرتودرمانی معرفی گردد. دقّت تعیین مقدار دُز جذبی در ارزیابی مقدماتی، در همان حدّی است که قبلاً در بخش دزیمتری استاندارد برای تعیین دُز جذبی باریکه‌های الکترون، بر اساس دستور کار آژانس بین المللی انرژی اتمی (IAEA)، برآورد کرده‌ایم [۵].

جدول ٦- سنجه بندی اتاقکهای یونش ناظر در باریکهٔ الکترون ۲۰MeV

اتاقک یونش	$N_{MonL\&R}$ (cGy/nC)
NE2571	۱۸/۱۷۸٥
NE2561	۱۸/۱٤۸۸
M23332	۱۸/۰۹٦۳
میانگین	۱۸/۱٤۱۲ ±٪۰/۲۳

جدول ۷- برآورد خطاها در سنجه‌بندی دُز جذبی آب در باریکهٔ الکترون ۲۰ MeV

کمیت فیزیکی یا روش	خطا (انحراف معیار ٪ ۱σ±)
$N_{D,w,Co}$	۰/۷
k_E'	۰/٥
k_E	
k_E''	۰/۹
k_r	۰/۳
$M_{ch}/M_{MonL\&R}$	۰/۱
$k_\rho k_s k_P$	۰/۲
تأمین شرایط مرجع	۰/٤
خطای کلی	≈ ۱/٤

www.SID.ir

Archive of SID

پی‌نوشت‌ها:

۱ - Physicalish-Technische Bundesanstalt

۲ -Plane-parallel ionization chamber

۳ - Cylindrical ionization chamber

٤ - Polarity effect

٥ - Ion recombination

٦ - Monitor chamber

References:

1. Irternational 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 Report Series no. **398**, IAEA,Vienna (2000).

2. DEUTSCHES INSTITUT FUR NORMUNG, "Dosismeβverfahren nach der Sondenmethode für Photonen- und Elektronenstrahlung, Teil 2: Ionisationsdosimetrie," Deutsche Norm DIN 6800-2, DIN, Berlin (1997).

3. American Association of Physicists in Medicine (AAPM), Task Group 51: Protocol for Clinical Reference Dosimetry of High-Energy Photon and Electron Beams, Med. Phys. **26**, 1847-1870 (1999).

4. H. Feist, "Determination of absorbed dose to water for high energy photons and electrons by total absoption of electrons in ferrous sulphate solution," Phys. Med. Biol. **27**, 1435-1447 (1982).

٥. ع. سلیمانیان و همکاران، "دزیمتری باریکه‌های فوتون و الکترون در پرتودرمانی براساس استانداردهای دُز جذبی آب،" نشریهٔ علمی سازمان انرژی اتمی ایران، شمارهٔ ۲۳، ۱٦-۱، (۱۳۸۰).

www.SID.ir