



دانشگاه مازندران
دانشکده فیزیک

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد در رشته فیزیک هسته ای

موضوع:

مقایسه کدهای عملیاتی AAPM TG-51 و IAEA TRS-398 برای اندازه
گیری دز جذبی پرتوهای فوتون و الکترون با اتاقک های یونیزاسیون
استوانه ای CC ۰/۶ و صفحه موازی در آب با شبیه سازی مونت کارلو

اساتید راهنما:

دکتر محمد مهدوی

دکتر سید ربیع مهدوی

نام دانشجو:

هدا علیجانزاده بورا

بهمن ماه ۱۳۸۸

چکیده

در این پایان نامه، فاکتور تصحیح کیفیت، K_Q ، توسط کد MCNP به روش مونت کارلو برای قوی تر کردن دزیمتری کلینیکی شبیه سازی شد و پروتوکل های AAPM TG-51 و IAEA TRS-398 برای پارامترهای K_Q و دز جذبی آب، D_W ، مورد مقایسه قرار گرفته اند.

اندازه گیری های دز در هر دو پروتوکل توسط چمبر های صفحه موازی و استوانه ای برای پرتو های فوتون کلینیکی ۱۸ MV و ۶ و الکترون های ۱۸ MeV و ۱۵، ۱۲، ۹، ۶ قابل ردیابی به فاکتور کالیبراسیون آزمایشگاه دزیمتری استاندارد ثانویه ایران انجام شده است. شبیه سازی MCNP-4C دز عمقی، پروفایل های پرتو و فاکتورهای K_Q نوعاً برای پرتو های ۱۸ MeV و ۱۵، ۱۲، ۹، ۶ توسط اندازه گیری های آزمایشگاهی مورد تأیید قرار گرفتند. اختلافات بین شبیه سازی و اندازه گیری ها برای پروفایل های پرتو و بخش build up و خطی منحنی دز عمقی به ترتیب کمتر از ۳٪، ۹/۵٪ و ۱/۲٪ برآورد شده اند.

همچنین تفاوت های بین شبیه سازی و اندازه گیری بین K_Q پرتو های ۱۸-۶ MeV برای TG-51 و TRS-398 کمتر از ۰/۲٪ است، به علاوه نتایج ما این حقیقت را که MCNP-4C ابزار موثری برای شبیه سازی پرتو های فوتون و الکترون کلینیکی می باشد، تصدیق می کند. کاربرد های دیگر MCNP در دزیمتری کلینیکی، می تواند اندازه گیری دز مطلق باشد که نیازمند در دست بودن جزییات ساختار LINAC می باشد و می تواند در توزیع پیشرفت سیستم برنامه درمانی رادیوتراپی نیز بسیار مهم باشد.

واژه های کلیدی:

دزیمتری کلینیکی، AAPM TG-51، IAEA TRS-398، شبیه سازی مونت کارلو.

فهرست مطالب:

صفحه	عنوان
	فصل اول: مقدمه
۱-۱	مروری بر منابع علمی
۴-۱	اهداف (۲-۱)
	فصل دوم: تئوری تشعشع
۱-۲	دسته بندی تشعشع
۷-۲	سنجش و اندازه گیری تشعشع
۸-۲	کمیت ها و واحد ها
۱۱-۲	وسایل اندازه گیری تشعشع
۱۱-۲-۴	اتاقک ها و الکترومتر ها
۱۳-۲-۴	اتاقک های یونش استوانه ای
۱۴-۲-۴	اتاقک های یونش با صفحه موازی
۱۵-۲-۴	فانتوم (۴-۴-۲)
۱۸-۲	روش مونت کارلو
۱۸-۲-۵	مونت کارلو چیست
۲۰-۲-۵	برخی اصطلاحات عمومی
۲۱-۲-۵	تخمین خطا و محاسبه زمان
۲۲-۲-۵	تاریخچه کد MCNP
۲۶-۲-۵	تکنیک های بکار رفته در محاسبات مونت کارلو
	فصل سوم: روش محاسبات
۲۸-۳	شبیه سازی هد دستگاه واریان

۲۹.....	۲-۳) شبیه سازی فانتوم.....
۳۱.....	۳-۳) معرفی دو پروتوکل.....
۳۳.....	۴-۳) روش محاسبه دز در دو پروتوکل.....
۳۵.....	۵-۳) روش اندازه گیری.....
۳۸.....	۶-۳) مقادیر اندازه گیری در دو پروتوکل.....
۴۰.....	۱-۶-۳) مقادیر فاکتور های تصحیح در پروتوکل AAPM TG-51.....
۴۲.....	۲-۶-۳) مقادیر فاکتور های تصحیح در پروتوکل IAEA TRS-398.....
۴۴.....	۷-۳) روش محاسبه دز در مونت کارلو برای طراحی درمان.....
۴۵.....	۱-۷-۳) مدل سازی پرتو.....

فصل چهارم: نتایج

۴۸.....	۱- ۴) محاسبه فاکتور تبدیل کیفیت.....
۵۱.....	۲-۴) محاسبه دز مطلق پرتو ها.....
۵۴.....	۳-۴) مقایسه دز و فاکتور تبدیل بدست آمده در دو پروتوکل.....
۵۶.....	۴-۴) مقایسه نمودار درصد دز عمقی حاصل از مقادیر اندازه گیری و شبیه سازی.....
۶۱.....	۵-۴) مقایسه نمودار پروفایل دز.....
۶۵.....	۶-۴) مقایسه نتایج محاسبه و شبیه سازی فاکتور های تبدیل.....

فصل پنجم: بحث و نتیجه گیری

۶۸.....	۱-۵) بحث، تجزیه و تحلیل نتایج.....
۷۵.....	۲-۵) نتیجه گیری کلی.....
۷۵.....	۳-۵) پیشنهادات.....
۷۶.....	منابع.....

فهرست شکل ها

صفحه	عنوان شکل
۱۱.....	شکل (۱-۲) طرح یک اتاقک یونش استوانه ای از نوع فارمر.
۱۳.....	شکل (۲-۲) الکترومتر در وضعیت پس خورد.
۱۵.....	شکل (۳-۲) اتاقک یونش با صفحه موازی.
۱۹.....	شکل (۴-۲) هندسه ضربه های موفق و نا موفق در محاسبه مساحت دایره.
۲۰.....	شکل (۵-۲) بلوک دیاگرام مونت کارلو.
۳۰.....	شکل (۱-۳) هندسه ی سر دستگاه واریان.
۵۷.....	شکل (۱-۴) مقایسه نمودارهای درصد دز عمقی در شبیه سازی و اندازه گیری برای انرژی 6MeV الکترون.
۵۷.....	شکل (۲-۴) مقایسه نمودارهای درصد دز عمقی در شبیه سازی و اندازه گیری برای انرژی 9MeV الکترون.
۵۸.....	شکل (۳-۴) مقایسه نمودارهای درصد دز عمقی در شبیه سازی و اندازه گیری برای انرژی 12MeV الکترون.
۵۸.....	شکل (۴-۴) مقایسه نمودارهای درصد دز عمقی در شبیه سازی و اندازه گیری برای انرژی 15MeV الکترون.
۵۹.....	شکل (۵-۴) مقایسه نمودارهای درصد دز عمقی در شبیه سازی و اندازه گیری برای انرژی 18MeV الکترون.
۶۰.....	شکل (۶-۴) توزیع نوعی دز عمقی باریکه ی الکترونی.
۶۲.....	شکل (۷-۴) مقایسه نمودارهای پروفایل دز در شبیه سازی و اندازه گیری برای انرژی 6MeV الکترون.
۶۳.....	شکل (۸-۴) مقایسه نمودارهای پروفایل دز در شبیه سازی و اندازه گیری برای انرژی 9MeV الکترون.
۶۳.....	شکل (۹-۴) مقایسه نمودارهای پروفایل دز در شبیه سازی و اندازه گیری برای انرژی 12MeV الکترون.
۶۴.....	شکل (۱۰-۴) مقایسه نمودارهای پروفایل دز در شبیه سازی و اندازه گیری برای انرژی 15MeV الکترون.
۶۴.....	شکل (۱۱-۴) مقایسه نمودارهای پروفایل دز در شبیه سازی و اندازه گیری برای انرژی 18MeV الکترون.

فهرست جدول ها

صفحه	عنوان جدول	
۲۵.....	تالی های موجود در نرم افزار MCNP4C	جدول (۱-۲)
۳۱.....	اطلاعات سر دستگاه واریان در حالت الکترون	جدول (۱-۳)
۳۸.....	مقادیر اندازه گیری توسط اتاقک استوانه ای برای پرتو های فوتونی	جدول (۲-۳)
۳۹.....	مقادیر اندازه گیری توسط اتاقک صفحه موازی برای پرتو های الکترونی	جدول (۳-۳)
۳۹.....	مقادیر اندازه گیری توسط اتاقک استوانه ای برای پرتو های الکترونی	جدول (۴-۳)
۴۱.....	مقادیر محاسباتی K'_{R50} بر حسب R_{50}	جدول (۵-۳)
۴۹.....	مقدار فاکتور تبدیل کیفیت در TRS-398 برای انرژی های فوتون	جدول (۱-۴)
۵۰.....	مقدار فاکتور تبدیل کیفیت در TG-51 برای انرژی های الکترون	جدول (۲-۴)
۵۰.....	مقدار فاکتور تبدیل کیفیت در TRS-398 برای انرژی های الکترون	جدول (۳-۴)
۵۱.....	مقدار فاکتور تبدیل کیفیت در TG-51 برای انرژی های الکترون	جدول (۴-۴)
۵۲.....	مقدار فاکتور تصحیح پلاریته در دو پروتوکل	جدول (۵-۴)
۵۲.....	مقدار فاکتور تصحیح باز ترکیب یونی در دو پروتوکل	جدول (۶-۴)
۵۳.....	مقدار دز در دو پروتوکل در اندازه گیری توسط اتاقک استوانه ای در انرژی های الکترون	جدول (۷-۴)
۵۳.....	مقدار دز در دو پروتوکل در اندازه گیری توسط اتاقک صفحه موازی در انرژی های الکترون	جدول (۸-۴)
۵۴.....	مقدار دز در دو پروتوکل در اندازه گیری توسط اتاقک استوانه ای در انرژی های فوتون	جدول (۹-۴)
۵۴.....	مقادیر نسبی K_Q و D_W برای پرتو های فوتونی توسط اتاقک استوانه ای	جدول (۱۰-۴)
۵۵.....	مقدار نسبی K_Q و D_W برای پرتو های الکترونی توسط اتاقک صفحه موازی	جدول (۱۱-۴)
۵۵.....	مقدار نسبی K_Q و D_W برای پرتو های الکترونی توسط اتاقک استوانه ای	جدول (۱۲-۴)

- جدول (۱۳-۴) مقایسه ی R_{50} در شبیه سازی و اندازه گیری در انرژی های الکترون. ۶۱.....
- جدول (۱۴-۴) مقایسه ی R_p در شبیه سازی و اندازه گیری در انرژی های الکترون. ۶۱.....
- جدول (۱۵-۴) مقایسه مقدار K_Q در شبیه سازی و اندازه گیری در دو پروتوکل در انرژی 6MeV. ۶۶.....
- جدول (۱۶-۴) مقایسه مقدار K_Q در شبیه سازی و اندازه گیری در دو پروتوکل در انرژی 9MeV. ۶۶.....
- جدول (۱۷-۴) مقایسه مقدار K_Q در شبیه سازی و اندازه گیری در دو پروتوکل در انرژی 12MeV. ۶۶.....
- جدول (۱۸-۴) مقایسه مقدار K_Q در شبیه سازی و اندازه گیری در دو پروتوکل در انرژی 15MeV. ۶۷.....
- جدول (۱۹-۴) مقایسه مقدار K_Q در شبیه سازی و اندازه گیری در دو پروتوکل در انرژی 18MeV. ۶۷.....

فصل اول: مقدمه

۱-۱) مروری بر منابع علمی:

با ارائه پروتوکل های متفاوت در دزیمتری انتخاب پروتوکل مناسب با در نظر گرفتن دو نکته عملی است، اول آنکه روش دزیمتری قابل تعقیب تا آزمایشگاه استاندارد دزیمتری منطقه ای باشد و دوم آنکه از نظر عملی روشی آسان برای استفاده در کلینیک بشمار رود زیرا در این صورت فیزیست های رادیوتراپی زمان کمتری را برای دزیمتری مطلق پرتوهای موجود مصرف خواهند کرد. برای دستیابی به این هدف روش های دزیمتری متفاوت با یکدیگر مقایسه می شوند تا بهترین آن انتخاب شود. [۱-۳]

در طول دو دهه اخیر، آژانس بین المللی انرژی اتمی^۱ (IAEA)، انجمن امریکایی فیزیست ها در پزشکی (AAPM)^۲ و دیگر ارگان های ملی از کشورهای مختلف، پروتوکل های دزیمتری وکد های عملیاتی برای کالیبراسیون پرتوهای فوتون و الکترون انرژی بالا منتشر کردند که بر اساس فاکتور کالیبراسیون

¹ International Atomic Energy Agency

² American Associated of Physicists in Medicine

کرمای هوای اتاقک یونیزان^۱ در میدان پرتوی گامای حاصل از چشمه ^{60}Co ، و بر حسب $N_{\text{D,air}}^2$ ، N_{gas}^3 ،
برای تعیین دز جذبی در آب و در شرایط مرجع می باشد. بررسی این پروتوکل ها نشاندهنده پیشرفت
دزیمتری پرتوهای یونیزان، به منظور افزایش دقت کالیبراسیون پرتوهای الکترون و فوتون است. ضمن اینکه
در سالهای اخیر، آزمایشگاههای استاندارد اولیه در جهان تاکید زیادی به تغییر از استانداردهای کرمای هوا^۴
به دز جذبی در آب داشته اند. [۴]

پروتوکل دزیمتری AAPM TG-51 [۵] براساس استانداردهای دز جذبی آب و پروتوکل های
دزیمتری ملی انگلستان ۱۹۹۰ IPSM [۶] و آلمان ۱۹۹۷ DIN^۵ [۷] که بر مبنای استفاده از اتاقک
یونیزاسیون کالیبره شده بر حسب دز جذبی آب در میدان تابش گامای حاصل از ^{60}Co ارائه گردید. نحوه
وتوصیه فرایندهای دزیمتری در این پروتوکل مشابه استانداردهای (۱۹۹۷) DIN و استفاده از کالیبراسیون دز
جذبی آب از اتاقک یونیزان در ^{60}Co یا $N_{\text{D,W}}^{60\text{Co}}$ ^۶ به اضافه فاکتور نظری تبدیل کیفیت پرتو K_Q^7 ، برای تعیین
دز جذبی آب در پرتوهای فوتون و الکترون با انرژی بالا است. همچنین TG-51 شامل امکان کالیبره کردن
پرتو مورد استفاده از هر کیفیت Q بوده و فاکتور کالیبراسیون دز جذبی آب در اتاقک یونیزان قابل دسترس
را برای کیفیت پرتو مورد استفاده تهیه می کند.

¹ Ionization chamber

² mGy/Rdg ضریب مدرج سازی هوای حفره (برای تبدیل دز جذبی در هوا به آب) بر حسب

³ فاکتور دز جذبی هوای اتاقک یونیزان $N_{\text{D,air}}$ است و در پروتوکل هایی که بر اساس کرمای هوا هستند مثل IAEA TRS-277 و TRS-381
استفاده می شود، که این فاکتور در AAPM TG-21 همان N_{gas} است که در واقع دز جذبی هوای حفره چمبر است و واحد آن Gy/C یا
Gy/rdg است.

⁴ Air Kerma

⁵ Deutsches Institute for Normung

⁶ فاکتور کالیبراسیون بر حسب دز جذبی آب برای یک دزیمتر در کیفیت پرتو مرجع Q_0 است و واحد آن Gy/C یا Gy/rdg است.

⁷ فاکتور تصحیح اختلاف بین واکنش اتاقک یونیزان در کیفیت پرتو مرجع استفاده شده در کالیبراسیون آن، Q_0 و کیفیت پرتو مورد استفاده
واقعی، Q است.

همچنین آژانس بین المللی انرژی اتمی، در همکاری با دیگر ارگان های بین المللی (WHO¹, PAHO² و ESTRO³) یک کد عملیاتی برای دزیمتری رادیوتراپی پرتو خارجی، بر اساس استانداردهای دز جذبی آب راه اندازی نمود [۸]. یکی از اهداف بزرگ این کد عملیاتی بین المللی (IAEA TRS-398) انتشار فرم یکسانی برای دزیمتری از همه نوع پرتوهای تابشی مورد استفاده در درمان سرطان در خیلی از کشورهاست. برای این منظور فرمول $N_{D,w}$ به عنوان پروتوکل اساسی برای دزیمتری همه ی پرتوهای تابشی (به استثنای نوترون) می تواند مورد استفاده قرار گیرد. کد عملیاتی شامل توصیه های دزیمتری و فرایندهای استاندارد شده برای دزیمتری پرتوهای درمانی X با انرژی کم، متوسط، گامای ^{60}Co ، فوتون های انرژی بالا، الکترونها، پروتونها و یونهای سنگین قابل استفاده است. همچنین این کد هر نوع کالیبراسیون از ^{60}Co به کالیبراسیون های مستقیم در پرتوهای الکترون و فوتون انرژی بالا را برای اتاقت های یونیزان که در آزمایشگاههای استاندارد و بین المللی مختلف در دسترس می باشد، در بر می گیرد.

دلایل مختلفی برای برآورد شباهت و تفاوت بین این دو پروتوکل وجود دارد. اخیراً بحث های بسیاری در مورد ویژگی پرتو فوتون مورد استفاده توسط این دو پروتوکل وجود دارد که در خور مقایسه جزئیات پروتوکل های مختلف کلینیکی مورد استفاده است [۹-۱۲]. همچنین به روز کردن دانش فیزیست ها برای دزیمتری بالینی را شاید بتوان بزرگترین پیشرفت اخیر دانشمندان در آزمایشگاههای استاندارد مختلف در جهان محسوب کرد.

¹ World Health Organization

² Pan American Health Organization

³ European Society Therapeutic in Radiology and Oncology

به دلایل کاربردی، مقایسه بین TRS-398 و TG-51 را می توان محدود به فاکتور کالیبراسیون اتاقک $(N_{D,W})$ در پرتو ^{60}Co و تعیین نظری فاکتورهای K_Q نمود و در پرتوکل بین المللی برای مقایسه ی این دو فاکتور ارجحیتی قائل نشده اند.

اولین توصیه پروتوکل IAEA استفاده مستقیم مقادیر اندازه گیری شده از فاکتور تصحیح کیفیت پرتو، K_{Q,Q_0} برای اتاقک یونیزان به اضافه اندازه گیری فاکتورهای N_{D,W,Q_0} از این اتاقک برای پرتو با کیفیت مرجع Q_0 است که Q_0 می تواند پرتو ^{60}Co یا پرتو شتاب دهنده باشد [۱۴ و ۱۳ و ۱۴].

در این پژوهش به مقایسه کدهای عملیاتی AAPM TG-51 و IAEA TRS-398 در زمینه آنالیز جزئیات متفاوت در اطلاعات اساسی موجود در دو پروتوکل برای دزیمتری پرتوهای فوتون و الکترون پرداخته شده است و به این منظور از کد محاسباتی MCNP مونت کارلو جهت شبیه سازی میدان های تابش استفاده شده است.

۱-۲) اهداف:

هدف اصلی در این پروژه این است که مقایسه ای بین روشهای دزیمتری کلینیکی IAEA TRS-398 و AAPM TG-51 انجام دهیم و نسبت دز در دو روش و نیز فاکتور تبدیل کیفیت آنها را بدست آوریم.

یکی از قسمتهای انجام این پروژه رسم منحنی درصد دز عمقی و پروفایل مربوط به پرتوهای الکترون در شبیه سازی میدان های تابشی با استفاده از کد MCNP4C و مقایسه آن بامنحنی حاصل از مقادیر اندازه گیری است و نیز مقایسه ی فاکتور تصحیح کیفیت K_Q در هر دو پروتوکل IAEA TRS-398 و AAPM TG-51 در شبیه سازی و اندازه گیری می باشد.

فصل دوم: تئوری تشعشع

در سال ۱۸۹۵ میلادی اشعه X بوسیله کنراد رونتگن^۱، و در سال ۱۸۹۶ رادیو اکتیویته توسط بکرل کشف شد و اثرات نامطلوب و تخریبی این پرتوها بر روی بافت های زنده از جمله بدن انسان خیلی زود مورد توجه قرار گرفت سپس این خاصیت پرتوها برای درمان تومورها بکار گرفته شد.

این روش استفاده از پرتوهای x و رادیواکتیو جهت درمان بیماران را امروزه رادیوتراپی می نامند. منظور از رادیوتراپی به کارگیری اشعه های یونیزان در درمان بیماری ها می باشد. بایستی متذکر شد عمده کاربرد اشعه های یونیزان در امر درمان مربوط به استفاده جهت درمان تومورهای بدخیم می باشد. آنچه که به صورت قطعی به اثبات رسیده آن است که اشعه های یونیزان ضمن آنکه خود دارای خاصیت سرطان زائی هستند می توانند موجب درمان تومور های سرطانی نیز بشوند. ویژگی درمانی اشعه های یونیزان مربوط به

¹ Konrad Rontgen

خاصیت یونیزه کنندگی آنها می باشد [۱۵]. ابتدا لازم است بعضی از تعاریف و کمیتهایی را که در این مبحث با آنها سرو کار داریم مشخص نموده و توضیح مختصری بر هر یک از آنها داشته باشیم.

۲-۱) دسته بندی تشعشع:

تشعشع به دو دسته اصلی تقسیم می شود: یونیزان و غیر یونیزان. پرتوهای یونیزان به آن دسته از پرتوها گویند که در اثر عبور از یک ماده توانایی ایجاد یونیزاسیون در آن محیط را داشته باشند و پرتوهای غیر یونیزان به آن دسته از پرتوها گویند که این توانایی را ندارند. پرتوهای یونیزان را نیز می توان به دو دسته تقسیم بندی کرد: یونیز کننده مستقیم و یونیز کننده ی غیر مستقیم.

تابشهای یونیز کننده ی مستقیم همان ذرات باردار هستند مثل الکترون، پوزیترون، پروتون،... و تابشهای یونیزه کننده ی غیر مستقیم، ذرات خنثی هستند مثل فوتون و نوترون که در برخورد با ماده، ابتدا با یک ذره باردار ماده بر همکنش کرده و بخشی از انرژی خود را به آن ذره منتقل می کنند و این ذره باردار تولید شده، عمل یونیزاسیون را انجام می دهد. در رادیوتراپی، در بیشتر مواقع از تابشهای فوتون با انرژی $1-25 \text{ MV}$ و الکترون با انرژی بین $1-25 \text{ MeV}$ استفاده می شود [۱۶].

۲-۲) سنجش و اندازه گیری تشعشع:

از آنجا که کلیه پرتوهای یونساز خارج از قدرت گیرندگی حواس پنج گانه می باشند، لذا نمی توان آنها را به طور مستقیم مورد شناسایی قرار دارد. از این رو برای آشکار سازی و اندازه گیری پرتوها، از وسایل و روشهای خاصی استفاده می شود. اساس کار چنین است که، ابتدا از موادی استفاده می شود که نسبت به اشعه حساسیت دارند و در مقابل تشعشع از خود به طرق مختلف پاسخی ارائه می دهند، سپس به کمک یک سیستم جداگانه شدت و ضعف آن پاسخ را اندازه گیری می نمایند. به طور کلی هر یک از اثرات

پرتوهای یونساز (از جمله پرتوهای ایکس و گاما) می تواند پایه ای جهت سنجش و اندازه گیری تشعشع قرار گیرد. این اثرات می تواند به صورت یونیزاسیون تغییرات شیمیایی، تفاوت دما، تغییر ساختار الکترونی و غیره باشد [۱۶].

۲-۳) کمیت ها و واحدها:

کمیسیون بین المللی در خصوص واحدها و اندازه گیری های رادیولوژیک یا تشعشع موسوم به ICRU^۱ مرجعی رسمی و قانونی برای تعریف کلیه کمیت ها و تعیین واحدها در زمینه تشعشع است که در سال ۱۹۲۰ بوجود آمده و برای سنجش اشعه کمیت های زیر را بکار برده است.

الف) تابش دهی^۲:

واحد اندازه گیری اشعه X توسط ICRU به گونه زیر تعریف شده است:

$$\text{exposure: } X = \frac{\Delta Q}{\Delta m} \quad (۱-۲)$$

در این رابطه ΔQ مقدار بار الکتریکی ایجاد شده توسط اشعه X یا گاما در جرم Δm می باشد. واحد تابش دهی در دستگاه MKS کولن بر کیلوگرم می باشد، بنابراین یک واحد اکسپوزر مقدار اشعه ای است که در یک کیلوگرم هوا در شرایط استاندارد ایجاد یک کولن بار الکتریکی بنماید. این واحد فعلاً نام بخصوصی ندارد، واحد قدیمی آن رونتگن می باشد. یک رنتگن مقدار اشعه ای است که در یک سانتی متر مکعب از هوا در شرایط استاندارد ایجاد $۲/۰۸۲ \times ۱۰^۹$ جفت یون بنماید. بایستی توجه داشت که اکسپوزر

^۱ International Commission on Radiological Units and Measurements

^۲ exposure

فقط در مورد اشعه X و گاما تعریف شده است. روش اندازه گیری آن با استفاده از محفظه یونیزاسیون استاندارد و دیگر روش های دزیمتری می باشد [۱۵].

شرایط استاندارد (STP) مطابق است با : $P=760 \text{ mmHg}$ و $T=20^\circ\text{C}=293^\circ\text{K}$

ب) کرما^۱:

کرما مخفف «انرژی جنبشی آزاد شده بر واحد جرم» است. کرما کمیتی غیر تصادفی است که برای توصیف تابش های یونیزان غیر مستقیمی مانند فوتون ها و نوترون ها بکار می رود. این کمیت، متوسط انرژی که از پرتو های یونیزان غیرمستقیم به پرتو های یونیزان مستقیم منتقل می شود (بدون توجه به اینکه چه اتفاقی پس از این انتقال رخ می دهد) را تعیین می کند.

برای نمونه، انرژی فوتون ها، در طی یک فرآیند دو مرحله ای به ماده داده می شود. در مرحله ی اول، فوتون از طریق برخورد های فوتونی مختلف (اثر فوتوالکتریک، اثر کامپتون، تولید جفت و غیره) به ذرات باردار ثانویه (الکترون ها) انرژی منتقل می کند. در مرحله ی دوم، این ذرات باردار، با تحریک و یونش اتم ها، به ماده انرژی منتقل می کنند.

در اینجا، کرما به صورت انرژی متوسط $d\overline{E_{tr}}$ که از ذرات یونیزان غیرمستقیم به ذرات باردار (الکترون های) ماده منتقل می شود در واحد جرم dm تعریف می شود:

$$K = \frac{d\overline{E_{tr}}}{dm} \quad (2-2)$$

¹ Kinetic Energy Released in the Medium (Kerma)

واحد کرما ژول بر کیلوگرم (J/kg) یا گری است. [۱۷ و ۱۵]

ج) دز جذبی^۱:

دز جذبی کمیتی غیرتصادفی است که برای توصیف تابش های یونیزان غیرمستقیم و مستقیم به کار می رود. در مورد تابش های یونیزان غیر مستقیم، انرژی از طریق یک فرآیند دو مرحله ای به ماده داده می شود. در مرحله اول، تابش یونیزان غیرمستقیم انرژی را به صورت انرژی جنبشی به ذرات باردار ثانویه منتقل می کند (کرما). در مرحله دوم، این ذرات باردار بخشی از انرژی جنبشی خود را به ماده منتقل کرده که دز جذبی را ایجاد می کند و بخشی را نیز به شکل تشعشع های انرژی زا از دست می دهند.

دز جذبی به میزان آماری انرژی داده شده به ماده مربوط می شود. دز جذبی به صورت انرژی میانگین

$\bar{\varepsilon}$ که توسط تابش یونیزان به ماده ای به جرم m در حجم متناهی v داده می شود تعریف می گردد:

$$D = \frac{d\bar{\varepsilon}}{dm} \quad (۳-۲)$$

انرژی داده شده $\bar{\varepsilon}$ برابر است با مجموع انرژی های ورودی به حجم مورد نظر منهای انرژی های

خروجی از آن حجم، با احتساب هر گونه تبدیل جرم-انرژی در داخل حجم.

از آنجایی که الکترون ها در ماده سیر می کنند و انرژی را در طول مسیرشان آزاد می کنند، جذب انرژی

در همان نقطه ی انتقال انرژی رخ نمی دهد. واحد دز جذبی ژول بر کیلوگرم است. و با واحدهایی به نام

راد^۱ و گری^۲ (Gy) نیز سنجیده می شود بین این واحدها روابط زیر برقرار است: [۱۷ و ۱۸]

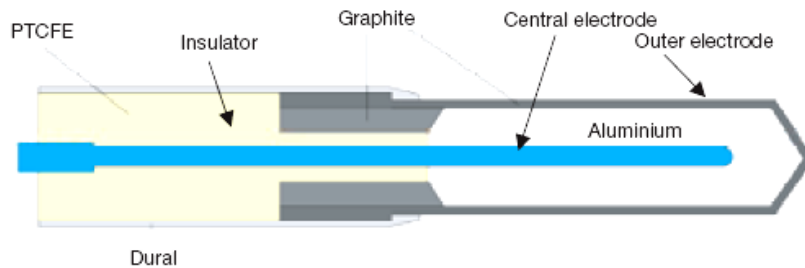
^۱ Absorbed Dose

$$1\text{Rad} = 100 \frac{\text{erg}}{\text{gr}} \quad 1\text{Gy} = 1 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \quad 1\text{cGy} = 1\text{Rad} \quad 1\text{Gy} = 100\text{Rad}$$

۲-۴) وسایل اندازه گیری تشعشع:

۲-۴-۱) اتاقکها و الکترومترها:

محفظه های یونیزاسیون در پرتو درمانی و پرتو شناسی تشخیصی برای تعیین دز تابشی مورد استفاده قرار می گیرند. تعیین دز در شرایط مرجع پرتو دهی، مدرج سازی پرتو (کالیبراسیون) نیز نامیده می شود. محفظه های یونیزاسیون بر حسب نیاز در شکلها و اندازه های مختلفی عرضه می شوند، ولی همگی به طور کل دارای ویژگیهای زیر هستند:



شکل (۲-۱) طرح یک اتاقک یونش استوانه ای از نوع فارمر.

یک اتاقک (محفظه) یونیزاسیون اصولاً حفره ای پر از گاز است که توسط دیواره خارجی فلزی احاطه شده است و دارای یک الکتروود مرکزی جمع کننده می باشد، دیواره و الکتروود مرکزی توسط یک عایق با کیفیت بالا از یکدیگر جدا شده اند تا وقتی که ولتاژ پلاریزاسیون (قطبی) بر محفظه اعمال می شود نشت جریان را کاهش می دهد.

¹ Rad

² Gray

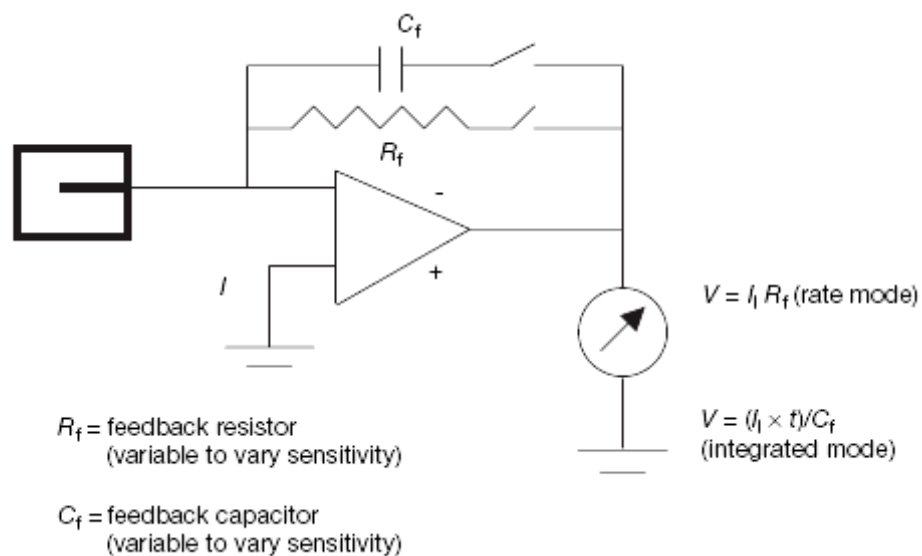
معمولاً یک الکتروود محافظ در محفظه در نظر گرفته شده است تا نشتی محفظه را بیشتر کاهش دهد. الکتروود محافظ با گذشتن از کنار^۱ الکتروود جمع آوری کننده با جریان نشتی تلاقی کرده، به آن اجازه می دهد تا به زمین شارش پیدا کند. همچنین این الکتروود سبب بهتر شدن یکنواختی میدان در حجم فعال یا حساس اتاقک می شود، که این خود در جمع آوری بار مزیت هایی را به دنبال دارد. اندازه گیری های بدست آمده از اتاقکهای یونش هوای آزاد به تصحیح دما و فشار نیاز دارند تا تغییر در جرم هوای موجود در حجم اتاقک که از تغییر در دما و فشار محیط ناشی می شود را منظور کند.

الکتروودها وسایلی برای اندازه گیری جریانهای کوچکی از مرتبه 10^{-9} آمپر یا کمتر هستند. همانطور که به طور طرح وار در شکل (۲-۲) نشان داده شده است، الکتروودتری که به همراه اتاقک یونش به کار می رود، یک تقویت کننده عملیاتی^۲ با بهره ی بالا و با پس خورد^۳ منفی است که با یک مقاومت یا خازن استاندارد در مسیر پس خورد بکار می رود تا جریان اتاقک، یا بار جمع آوری شده در یک بازه ی زمانی ثابت را در اتاقک اندازه گیری کند.

¹ bypassing

² operational amplifier

³ feedback



شکل (۲-۲) الکترومتر در وضعیت پس خورد.

۲-۴-۲) اتاقک های یونش استوانه ای (از نوع انگشتانه ای)

رایج ترین اتاقک یونش استوانه ای، اتاقک 0.7 cm^3 است که به منظور مدرج سازی باریکه در دزیمتری پرتو درمانی، توسط فارمر طراحی شده و توسط بالدوین^۱ ساخته شده است ولی اکنون توسط فروشنده های مختلف عرضه می شود. حجم حساس اتاقک آن شبیه انگشتانه است، و از این رو اتاقک فارمر اتاقک انگشتانه ای نیز نامیده می شود. طرح واره ای از یک اتاقک یونش انگشتانه ای از نوع فارمر در شکل (۲-۱) نشان داده شده است.

اتاقک های استوانه ای با حجم فعالی بین 0.1 تا 1 cm^3 توسط سازنده های مختلف ساخته می شوند. این اتاقکها نوعاً طول داخلی تا 25 mm و قطر داخلی بالغ بر 7 mm دارند. ماده دیواره دارای عدد اتمی Z

¹ Baldwin

پایین (یعنی معادل بافت یا هوا) و ضخامتی کمتر از 0.1 gr/cm^2 می باشد. این اتاقک برای مدرج سازی به صورت آزاد در هوا با استفاده از اشعه ی ^{60}Co دارای سرپوش انبوهشی^۱ با ضخامت حدود 0.05 gr/cm^2 است. ساختار اتاقک باید تا حد امکان همگن باشد، هر چند که معمولاً از یک الکتروود مرکزی آلومینیومی با قطر حدود ۱ mm استفاده می شود تا بستگی به یک انرژی مسطح تضمین شود [۱۹ و ۱۵].

۲-۴-۳) اتاقک های یونش با صفحه موازی:

یک اتاقک یونش با صفحه موازی^۲ از دو دیواره ی صفحه ای تشکیل شده است. که یکی به صورت پنجره ورودی و الکتروود قطبی کننده عمل می کند و دیگری به صورت دیواره پشتی معمولاً قطعه ای از پلاستیک رسانا یا ماده ای نارسانا (معمولاً پرسپکس یا پلی استیرن) با لایه ی رسانای نازکی از جنس گرافیت بر روی سطحش است که الکتروود جمع آوری کننده و سیستم حلقه محافظ را شکل می دهد. طرح واره ای از این اتاقک در شکل (۲-۳) نشان داده شده است.

¹ Build-up cap

² parallel-plate یا plane-parallel