بررسی روش‌های تولید اشعه‌ی ایکس

پوهاند زلمی احمدزی[۲]

تقریظ‌دهنده: پوهنوال نسرین راجی پوپلزی

مجله‌ی علمی-تحقیقی حوزه‌ی علوم طبیعی پوهنتون کابل، ۱ (٤) ۱٤۰۰

چکیده

به صورت کل، سه میکانیزم یا سه روش تولید شعاع ایکس وجود دارد که عبارتند از ذرات چارج‌دار تعجیلی، انتقالات بین سویه‌های مجزاء انرژی در اتوم و انشقاق رادیواکتیو بعضی نوکلیودها. اشعه‌ی ایکس نوع از تشعشع رادیواکتیواست. مانند نورمریی اما برخلاف نورمریی شعاع ایکس دارای انرژی بسیار زیاد بوده و می‌تواند از بسیاری مواد من‌جمله بدن انسان عبور نماید. اشعه‌ی ایکس طبی برای اخذ تصویر از انساج و قسمت‌های مختلف داخل بدن انسان مورد استفاده قرار می‌گیرد. اشعه‌ی X یک حالت پرانرژی نور است که توسط چشم انسان دیده نمی شود. و یا اشعه‌یX نوع از موج الکترو مقناطیسی باطول موج درحدود 0.03nm تا 3nm معادل فریکونسی $3\times10^{16}\,Hz$ تا $3\times10^{19}\,Hz$ و انرژی بین 100eV تا100KeV است. استفاده از اشعه‌ی X (اشعه رونتگن) در طبابت و سیعاً مورد استفاده و کاربرد قرار می‌گیرد. چگونگی جذب و عبور اشعه‌ی X از مواد (مواد شامل عضو زنده) و باالخصوص در تشخیص امراض استخوان و امراض سینه حایز اهمیت زیاد است.

اصطلاحات کلیدی: رادیوگرافی؛ رادیوسکوپی؛ فوتون؛ کتود؛ ملی سیورت؛ اشعه نرم X ؛ اشعه‌ی سخت X

Investigating of X-rays Production Methods

Professor Zolmai Amadzai

Abstract

There are three common mechanisms for the production of x- rays: acceleration of a charged particle, atomic transitions between discrete energy levels, and the radioactive decay of some atomic nuclei. X-rays are a form of electromagnetic radiation, similar to visible light.. Most x-rays have a wavelength ranging from 0.03 to 3 nanometers, corresponding frequencies in the range $3\times10^{16}\,Hz$ to $3\times10^{19}\,Hz$ and energies in the range 100eV to 100keV. The use of x-rays as a treatment is known as radiation therapy and is largely used for the management of cancer, it requires higher radiation doses than those received for imaging alone. x-rays beams are used for treating skin cancers using lower energy x-rays beams while higher energy beams are used for treating cancers within the body such as brain, lung, prostat and breast.

Keywords: Radiography; Radioscopy; Photon.Cathod; Milisewert; Soft x-rays; Hard x-rays

ارجاع

احمدزی، زلمی. (۱٤۰۰). بررسی روش‌های تولید اشعه‌ی ایکس. مجله‌ی علمی-تحقیقی حوزه‌ی علوم طبیعی پوهنتون کابل، شماره ۱ (٤)، صص ۲۳ - ۳۲.

---

[۲] استاد پوهنځی فزیک، پوهنتون کابل

مقدمه

رونتگن فزیک‌دان آلمانی در نوامبر ۱۸۹۵ هنگامی‌که تجربه بر روی اشـعه‌ی کتود حاصـل از تیوب crooks ا شعه‌ی x را کشف کرد. این تیوب به شکل تخم مرغ بیضوی از شیشه ساخته شده بود که فشـارش کم‌تراز ۱۰۰۰۰ /۱ملی‌متر سـتون سـیماب (خلاء نسـبی) و حاوی دو الکترودالمونیمی یکی متصل به قطب مثبت به‌نام آنود و دیگری متصل به قطب منفی به‌نام کتود است. با اتصال دو الکترود به یک منبع ولتاژ مناسـب (حدود چند هزار ولت)آیون‌های باقی مانده‌ی گاز سرعت گرفته، تعجیل زیاد کسـب نموده و طبق قوانین الکتروسـتاتیک از قطب منفی دفع و به سـمت مثبت تیوب هدایت می شوند. اثابت الکترون‌های سریع‌السیر پرانرژی به جدار مثبت تیوب سبب تولید اشعه‌ی X می شود. چون در آن زمان ماهیت این اشـعه معلوم نبود. لذا رونتگن این اشـعه را اشـعه‌ی X (مجهول) نامید. اما بعداً در اثر تحقیقات ماهیت آن دریافت و ثابت گردید که اشـعه‌ی X چون نور قابل دید یا اشـعه‌ی ماورای بنفش از تشعشعات الکترو مقناطیسی به‌حساب آمده و در نهایت طول موج آن کوچک‌تر و یا فوتون‌های آن پرانرژی‌تر اند.

به هر حال اشعه‌ی X (اشعه رونتگن) به ناحیه از طیف‌های الکترومقناطیسی اطلاق می‌شود که طول موج آن کم‌تر ۱۰۰ انگسـترم باشد. طول موج اشـعه‌ی X که در طبابت اسـتفاده می‌شود بین ۰.۱ تا ۱.۲ انگسترم محدوداست. این دسته از اشعه‌ی X به دو نوع تقسم می‌شود. اشعه‌ی نرم (soft X-rays) و اشعه‌ی سخت (hard X-rays). اشعه‌ی نرم باطول موج طویل قابلیت نفوذ کم‌تر دارد و در حالی‌که اشعه‌ی X سخت با طول موج کوتاه بیشتر نفوذکننده است و انرژی آن بیشتر از انرژی شعاعات نرم است.

فوتون‌های ا شعه‌ی ایکس دارای انرژی لازم برای آیونایزکردن اتوم و شک ستن روابط اتومی ه ستند. این خاصـیت، اشـعه‌ی ایکس را در طبقه‌بندی شـعاعات آیونایزکننده قرار می‌دهد و به‌همین ترتیب برای انساج زنده م ضر ا ست. قرارگرفتن در معرض دوز تشعشع به مقادیر بالا حتی در زمان کم باعث بیماری‌های حا صل از تشعشع می شود. در عین حال قرار گرفتن در معرض تعشع در مقادیر و یا دوز کم‌خطر مبتلا شدن به سرطان را بالا می‌برد. در فلم گرفتن یا تصویربرداری طبی یعنی تشخیص امراض این خطر مبتلا شـدن به بیماری سرطان به مقایسـه فواید آن قابل صرف‌نظر می‌باشـد. از قابلیت آیونایزکردن شعاع ایکس می‌توان در درمان و تداوی سرطان استفاده کرد که دراین روش شعاع درمانی ایکس برای کشتن و از بین بردن حجره‌های سرطانی استفاده می‌شود. چون شـعاعـات X مانند انتـشار نور و امواج رادیویی دارای شـکل موجی اسـت. این تشـعشـعات در خلاء باسرعت مساوی به سرعت نور حرکت می‌کنند.

رابطه بین سرعت پخش شعاع ایکس c، طول موج آن λ وفریکونسی f قرار ذیل است.

$$\nu = \frac{c}{\lambda} \quad \lambda = \frac{c}{\nu} \quad c = \nu \times \lambda$$

روابط فوق‌الذکر دلالت بر خاصیت موجی بودن اشعه X می‌کند. کلیه امواج نشان‌دهنده‌ی انتقال انرژی از یک مکان به مکان دیگر هستند. بنابراین، این انتقال انرژی توسط تشعشعات الکترومقناطیسی، کاملاً پیوسته یا متمادی نیست، بلکه انتقال آن‌ها به شکل بسته‌های معین انرژی به نام (Quanta) است که دارنده یک مقدار معین انرژی نیز می‌باشند. مقدار انرژی هر فوتون برحسب فریکونسی آن تغییر می‌کند و روابط آن طبق معادله‌ی ذیل است:

$$E = h\nu \qquad E = h\frac{c}{\lambda}$$

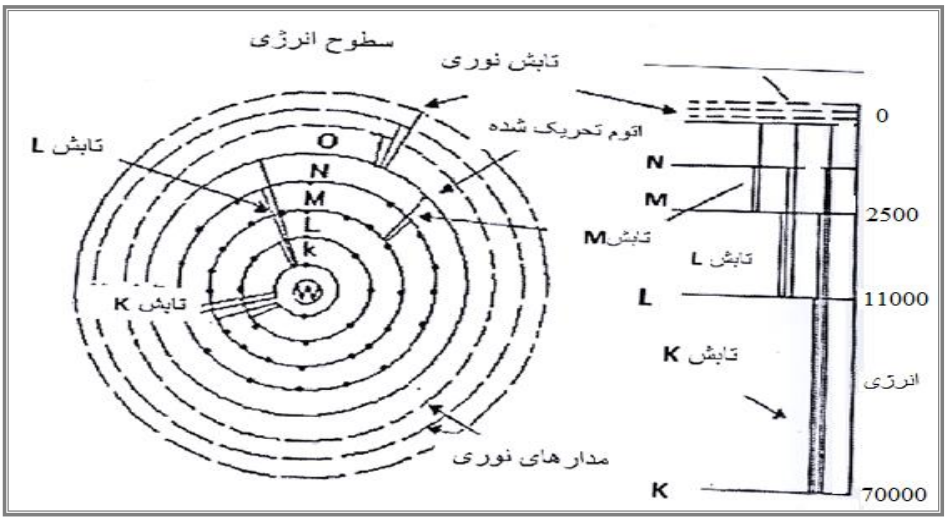
در این‌جا h عددی ثابت است که به ثابت پلانک معروف است و مقدار آن بستگی به واحدهای دارد که برای E یاانرژی فوتون به کار می‌رود. هرگاه E برحسب ژول باشد مقدار h مساوی با $6.625\times10^{-34}\,J\cdot\sec$ است.

اشعه‌ی X دارای خواص اساسی ذیل است:

- شعاع X در اجسام مختلف فلوریسنس را تولید می‌کند؛
- شاع Xگازی راکه از آن می‌گذرد آیونایز می‌کند؛
- شعاع X مانند نورعادی به خط مستقیم منتشر می‌شود؛
- شعاع X قابلیت تفرق واستقطاب (قطبی شدن) دارد و
- شعاع X توسط ساحه‌ی برقی و مقناطیسی منحرف نمی‌شود. این‌ها ذرات چارج‌دار نمی‌باشند (۹).

حال می‌خواهیم راجع به روش تولید شعاع X نکات چند بیان نماییم. طبق تیوری بورالکترون‌های اطراف هسته در سویه‌های K,L M,N,... به ترتیب به تعداد ۲ . ۸ .۱۸. ۳۲... الکترون در هر سویه می‌چرخند. انتقال الکترون از یک سویه به سویه‌ی دیگر با مقدار انرژی کم‌تر، مثلاً از L به K باعث تابش یا تشعشع انرژی E (تفاوت انرژی بین این دوسویه) می‌شود. این انرژی دارای طول‌موج از ۱ .۰ تا ۰۱ .۰ نانومتر است و اشعه‌ی X نام دارد. تمام سویه‌ها دارای انرژی متفاوت هستند. در شکل (۱)

سـویه‌های مختلف و سـطح انرژی (۱) آن‌ها برای اتوم که در تولید اشـعه‌ی X مورد اسـتفاده قرار می‌گیرد، دارای نمبر اتومی ۷۴، انرژی سویه K معادل 70KeV وانرژی سویه L معادل 11KeV است.



شکل ۱: مدار و سطوح انرژی برای اتوم تنگستن (۱).

به‌طور کلی برای این‌که یک اتوم بتواند اشـعه‌ی X تولید نماید سـه خاصـیت ماده هدف از اهمیت خاصی برخوردار است (۵).

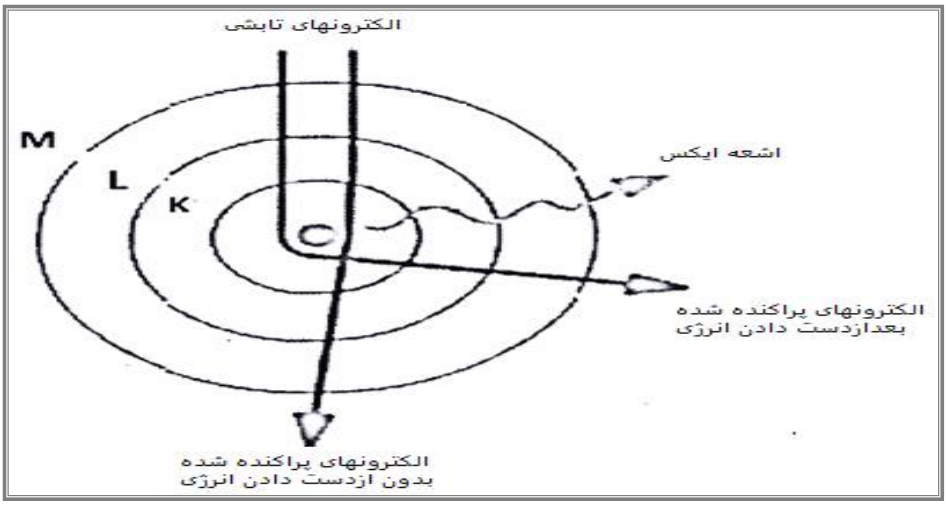
۱. ساحه‌ی برقی هسته؛

۲. انرژی اتصالی بین سویه‌های اطراف هسته؛

۳. تمایل یک اتوم برای رسیدن به حالت گروند یاحالت مستقر (پایین‌ترین سطح انرژی)

تشعشع اشعه‌ی X به دو طریقه ممکن است. تشعشع عمومی و تشعشع اختصاصی. در روش تشعشع عمومی تعداد الکترون انرژی‌دار به روش‌های که بعداً تو ضیح می شود تولید می‌گردد و یک هدف با اتوم مناسب مثل تنگستن را مورد برخورد قرار می‌دهند. الکترون‌های پر انرژی بعد از برخورد به طرف هسته‌ی اتوم کشیده شده سرعت شان کاهش یافته و جهت شان تغییر می‌کنند. انرژی حرکی که این اتوم‌ها در اثر تغییر سرعت از دسـت می‌دهند به صـورت فوتون تشـعشـعی اشـعه‌ی X ظاهر می‌شـود. معمولاً یک الکترون با چندین اتوم برخورد کرده و در هر برخورد برخی از انرژی خود را از دسـت می‌دهد. لذا چندین فوتون اشـعه‌ی X باانرژی‌های متفاوت ایجاد می‌شـود، سرچشـمه و منبع اصـلی اشعه‌ی X عبارت از بمبارکردن الکترون‌های دارای انرژی زیاد به یک لوحه‌ی فلزی است (۸).

اغلب برخوردها در انرژی پایین صـــورت می‌گیرند و باعث اهتزاز اتوم‌ها و تولید انرژی در طول موج ماتحت سرخ به شکل حرارت می‌شوند. انرژی فوتونX زمانی به حد اعظمی خود می‌رسد که الکترون توسط اولین اتوم متوقف شده باشد، در نتیجه فوتونی با حد اقل طول موج (λ_{min})ایجاد می شود که بستگی به حداکثر انرژی حرکی الکترون وارده دارد. روش عمومی تولید اشعه‌ی X در شکل (۲) نشان داده شده است.



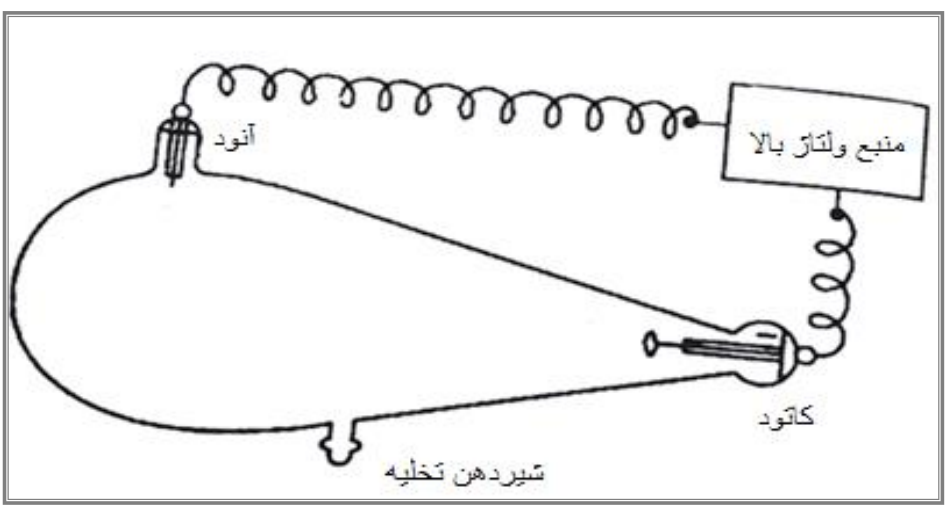
شکل ۲: روش عمومی تولید اشعه‌ی X(۲)

هنگام برخورد الکترون‌های پر انرژی با اتوم‌های هدف، ممکن اســت این الکترون‌ها با الکترون‌های اقشار ماده‌یی هدف برخورد کرده و انرژی حرکی خود شان را با آن‌ها منتقل کند (۲). چنان‌چه انرژی دریافتی توسط الکترون‌های ماده هدف بیشتر از انرژی اتصال آن سویه و یا بیشتر از تفاوت انرژی بین یک سویه و سویه بالاتر باشد، این الکترون‌ها از سویه‌های داخلی اتوم به بیرون پرتاب می‌شوند. سپس در اثر جاگزینی الکترون‌های سویه‌های داخلی، تشعشعX باانرژی مساوی تفاضل انرژی سویه‌ها تولید می‌شود. در تنگستن در انرژی پایین‌تر از 70KeV (زمانی‌که انرژی الکترون بمباران‌کننده $70KeV$ باشد)، هیچ اشعه‌ی اختصاصی ۷۰کیلوالکترون ولتی از سویه K وجود ندارد. در انرژی مساوی یا بالاتر 70KeV ممکن است اشعه‌ی X ،۵۹ و یا ۷۰کیلو الکترون ولتی حاصل از انتقال الکترون از سویه L به سویه K و یا به خارجی‌ترین سویه به‌دست می‌آید (براساس تفاضل سطح انرژی این دو سویه)، مقدار اشعه‌ی اختصاصی نسبت به تشعشع عمومی بسیار پایین‌تر است. قابل یادآوری است که الکترون‌های پرتاب شده باانرژی کنترل شده از منبع به سمت هدف، انرژی حرکی خود را در برخورد

با اتوم‌های هدف فلزی منتقل می‌کنند و سر انجام به حالت سکون بر می‌گردد. این تصادم موجب تبدیل انرژی حرکی به انرژی حرارتی وانرژی الکترومقناطیسی به صورت اشعه‌ی X می‌گردد. تقریباً ۹۹ % این انرژی به حرارت و کم‌تر از ۱ % طی دو عملیه عمومی و اختصاصی به شکل اشعه‌ی X تشعشع می‌شود. از این‌که تشعشع عمومی و اختصاصی باعث تولید اشعه‌ی X در انرژی‌های متفاوت می‌شوند، دو نوع طیف متمادی و غیر متمادی ایجاد می‌گردد. طیف متمادی در اثر تشعشعات عمومی و طیف غیر متمادی اشعه‌ی X در اثر تشعشعات اختصاصی تولید می‌شود (۱۰).

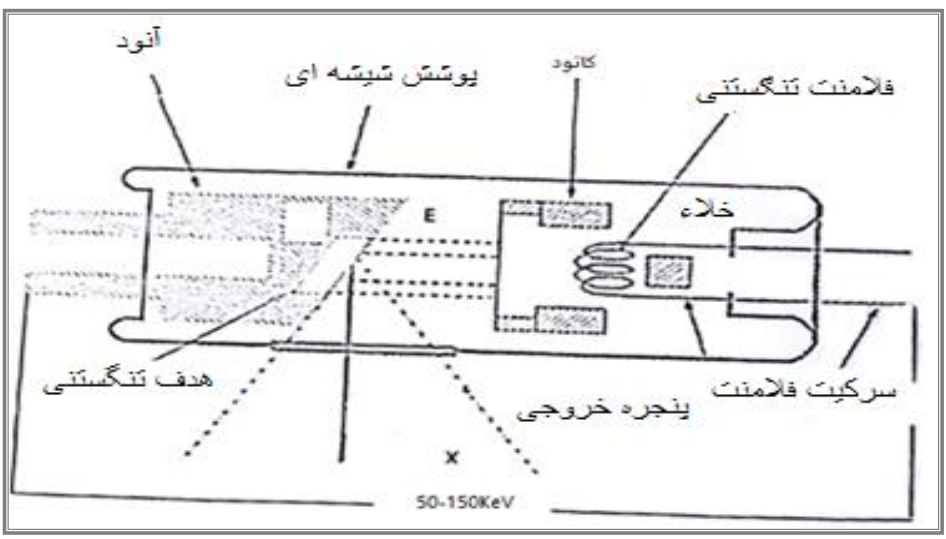
پرکاربردترین و معمول‌ترین طریق تولید شعاعات X تاباندن دسته‌ی از الکترون‌های (۱۰) با سرعت زیاد بر ماده است که هدف نامیده می شود. لامپ مؤلد اشعه‌ی X محافظه‌یی از جنس شیشه‌پایرکس است. که در داخل آن خلاء ایجاد شده است و حاوی دو الکترود می‌باشد. الکترودها به نحوی طرح‌ریزی شده اند که الکترون‌های تولید شده در کاتود می‌توانند تحت تأثیر تفاوت پوتانشیل زیاد به طرف انود (قطب مثبت) تعجیل گیرند. در تجربه رونتگن شعاعات کاتودی به دیواره لامپ که داخل آن گاز وجود داشت، برخورد می‌کردند و در نتیجه دیواره‌ی شیشه‌یی منبعی شعاعات X می‌شد. الکترون‌های‌که بر اثر ملتهب شدن فلامنت (که از جنس تنگستن است) تولید می‌کردند، پس از تعجیل گرفتن در طول لامپ به انود (هدف) برخورد نموده و اشعه‌یX تولید می‌نمایند.

اولین لامپ رونتگن لوله‌ی گازدار است که از حباب شیشه‌یی گرد یا بیضوی شکل ساخته شده و از دو طرف به دو شاخه‌ی کوتاه ختم می‌شوند، داخل یکی آن کاتود و از دیگر انود جا دارد که در شکل (۳) نشان داده شده است (۳، ۴).



شکل ۳: لوله کروکسی که رونتگن با آن کار می‌کرد (۱).

لامپ‌های اشعه‌ی X ، ۵۰-۲۰سانتی‌متر طول ۵ سانتی متر قطر دارند. پوشش شیشه‌ی آن‌ها دارای تحمل حرارتی بسیار زیاد بوده و داخل آن خلاء است. این خلاء باعث مؤثریت بیشتر در تولید اشعه‌ی X و طول عمرب یشتر لامپ می‌شود. لامپ‌ها معمولاً دارای پنجره‌یی به مساحت تقریباً $5cm^2$ و باشیشه‌ی نازک‌تر می‌باشند که تشعشع را به مقداری کم‌تری فلتر و جذب می‌کند و لذا از آن پنجره، شعاع X مفید به بیرون تابیده می شود (۱) هم‌چنان در شکل (۴) قسمت‌های اساسی یک لامپ مؤلد اشعه‌ی X با انود ثابت نشان داده شده است.



شکل ۴: ساختمان لامپ تولید اشعه‌ی X (۳).

تولید اشعه‌ی X در این گونه لامپ ها دارای دو فکتور متفاوت کمی و کیفی می‌باشد. در کاربرد اشعه‌ی X یا اشعه‌ی رونتگن در طب چه در تشخیص و چه در درمان و تداوی، سنجش دقیق فکتورهای کمی و کیفی اشعه کاملاً ضروری است. فکتور کیفی اشعه‌ی X توان نفوذپذیری اشعه‌ی رونتگن را نشان می‌دهد. برای شناخت دقیق فکتور کیفی اشعه‌ی X باید طیف شعاعات به‌دست آمده را بررسی کرد و چون اشعه‌ی X یک رنگ (monochromatic) نمی‌باشد و فوتون‌های آن دارای انرژی از یک حداقل تا حد اکثر است. می‌توان از انرژی اعظمی اشعه‌ی X بانفوذپذیری اعظمی آن که مربوط به فوتون‌های دارای انرژی اعظمی است صحبت کرد (٦).

دو کاربرد مهم لامپ های اشعه‌ی X در طب، کمک به تشخیص (Diagnosis) و درمان یاتداوی (Therapy) بیماری‌ها است که بر پایه‌ی ویژگی‌های مورد نیاز در هر مورد با اصول کار یک‌سان و تغییرات در اجزای تشکیل‌دهنده‌ی لامپ در دست‌رس می‌باشد. لامپ‌های اشعه‌ی X تشخیصی برای

تولید تصویرهای واضح از اندام‌های بدن طراحی می‌گردند. برای این‌که تصویر واضح باشد، لازم است شعاعات از یک نقطه یا یک ناحیه کوچک از انود خارج شوند (۷).

در طب از اشعه‌ی X بیشتر برای عکس‌برداری از استخوان‌ها و اندام‌های درون بدن انسان استفاده می شود. اطبا با بررسی این عکس‌ها می‌توانندجای استخوان‌های شکسته یا اندام‌های آسیب‌دیده را تشخیص بدهند. داکتر دندان یا ستوماتلوگ، بابرسی آن‌ها می‌توانند به جای پوسیدگی دندان‌ها وچگونگی ریشه‌ی آن‌ها پی ببرد. عکس‌برداری از اندام‌های درون بدن را رادیوگرافی و دیدن آن‌ها را رادیوسکوپی می‌نامند. داکتری که رادیوگرافی یارادیوسکوپی می‌کند رادیولوژیست یارادیولوگ و کار او رادیولوژی نامیده می شود. رادیوگرافی با اشعه‌ی X به این صورت است که دسته‌ی از اشعه‌ی X، پس از گذشتن از بدن بیمار فلم حساس عکاسی تابانده می شود. اشعه‌ی X از پوست و گوشت بیشتر می‌گذرد تا از استخوان. در نتیجه‌ی تصویر استخوان‌ها در فلم روشن‌تر و از تصویر اندام‌های دیگر به صورت سایه و تاریک‌تر نشان داده می‌شود. هنگامی رادیوگرافی یا رادیوسکوپی گاهی ماده‌ی بی‌زیانی به بدن بیمار تزریق یا خورانده می‌شود تا اندام مورد نظر آشکارتر دیده شود. مثلاً ممکن است داکتر پیش از رادیوگرافی با اشعه‌ی X از روده‌ی بیمار، به او محلول سولفات باریم بخوراند. این ماده اشعه‌ی X را جذب می‌کند و در نتیجه تصویر روده‌ها روشن‌تر دیده می‌شود (۷).

اشعه‌ی X در درمان سرطان نیز کاربرد فراوان دارند. این اشعه سلول‌ها یا حجرات سرطانی را زودتر از حجرات سالم از بین می‌برند. اگر به یک غده‌ی سرطانی به اندازه‌ی لازم اشعه‌ی X بتابانند آن غده‌ی سر انجام بی‌آن‌که به حجرات سالم آسیب زیاد برسد از بین می‌رود. درمان و تداوی به اشعه‌ی X را رادیوتراپی می‌نامند.

اشعه‌ی X کاربردهای دیگر نیز در طب دارد. دست‌کش‌ها و بعضی وسایل جراحی را اباستفاده از این اشعه‌ی ضد عفونی می‌کنند. این گونه وسایل و ابزارها را نمی‌توان باحرارت دادن یا جوشاندن ضد عفونی کنند، زیرا فوراً خراب می‌شوند. اشعه‌ی X سبب تغییرات کیمیاوی و فزیکی در مواد می‌شوند. این اشعه اگر به‌وسیله‌ی جانور یا گیاه جذب شوند، ممکن است به بافت‌های زنده‌ی آن آسیب برساند، یا حتی آن‌ها را از بین ببرد. به همین دلیل اشعه‌ی X ممکن است برای جانداران زیان‌آور و خطرناک باشد.

جذب بیش از اندازه‌ی اشعه‌ی X ممکن است سبب سرطان سوختگی‌های پوستی، کم‌خونی یا بیماری‌ها و ناراحتی‌های دیگر در انسان شود. داکتران و کسانی که بادستگاه‌های اشعه‌ی X کار می‌کنند، باید بسیار دقت کنند تا خود و بیمار شان بیش از اندازه در برابر تابش اشعه‌ی X قرار نگیرند.

با وصف این‌که اشعه‌ی X وسیله‌ی درمان و تداوی است برای انسان بسیار خطرناک نیز است و می‌تواند آسیب‌های زیادی را پدید آورد. این آسیب‌ها در انسان شامل سوختگی، بیماری ناشی از دریافت تابش بیش از حد و اثرات جینیتیکی می‌باشند. هم اشعه‌ی X و هم اشعه‌ی رادیواکتیو (که از جنس اشعه‌ی گاما است) اگر بیش از حد مشخصی به بدن ما وارد شود مضر و خطر ناک است. این اشعه‌ها در مقادیر زیاد موجب اختلال در کارکرد حجرات و تکثیر آن‌ها می‌شوند. در مقادیر مضر می‌توانند موجب اختلالات گذرا شوند و مقادیر بسیار زیاد می‌توانند موجب بروز سرطان و یا حتی مرگ شود.

میزان خطری که اشعه‌ی X برای سلامتی ایجاد می‌کند بسته به مقدار اشعه‌ی است که وارد بدن انسان می‌شود. اگراین مقدار درحد مجاز باشد، مشکلی ایجاد نمی‌کند ولی بیشتر از آن خطرناک است. میزان مجاز اشعه‌ی X یا اشعه‌ی رادیواکتیو که هر فرد می‌تواند بدون مشکل خاصی دریافت کند، توسط دانش‌مندان محاسبه شده است. این مقدار تجمعی است. به این معنی که مجموع مقدار اشعه‌های که در یک سال به بدن انسان تابانده می شود باید از میزان خاص کم‌تر باشد. میزان اشعه‌ی دریافتی را به مقیاس به نام ملی سیورت (millisievert) یا مخفف آن mSv اندازه‌گیری می‌کنند. در محیط زندگی همه مامقدار اشعه‌ی رادیواکتیو به صورت طبیعی وجود دارد و هر فرد به طور طبیعی در هر سال 3mSv اشعه از محیط اطراف خود دریافت می‌کند.

نتیجه‌گیری

پرکاربردترین و معمول‌ترین طریقه‌ی تولید شعاعات X تاباندن دسته‌ی از الکترون‌های با سرعت زیاد بر ماده است که هدف نامیده می شود. اشعه‌ی X را می‌توان به دو طریق تشعشع عمومی و تشعشعی اختصاصی تولید نمود که این عملیه در لامپ‌های مؤلد اشعه‌ی X صورت می‌گیرد.

انتقال الکترون از یک سویه‌ی انرژی به سویه‌ی انرژی دیگر یعنی از سویه‌ی بیرونی به سویه‌ی داخلی یا ازL به K باعث تابش یا تشعشع انرژی E می‌شود و اشعه‌ی X نام دارد. برای این‌که یک اتوم شعاع X را تولید نماید، باید تمایل به رسیدن به حالت مستقر یا گروند داشته باشد. انرژی سویه‌ی K معادل 70KeV و انرژی سویه‌ی L معادل 11KeV است.

منابع

(۱) ابولحسنی، محمود و همکارن. فیزیک پزشکی. انتشارات رویان‌پژوه، تهران، چاپ چهارم، ۱۳۹۲، صص ۱۲۸، ۲۴۵.

(۲) احمدزی، زلمی، د تشعشع واحدونوته یوه کتنه. کابل پوهنتون مجله، ۱۳۹۸، گڼه ۳، ص ٦۰.

(۳) تگاو، رعباس، ساغری محسن، فیزیک پزشکی. ناشر نشر انقلاب، ۱۳۷۱، ص ۴۰۰.

(۴) غلام‌حسین رهبری، خدادوست و علی اکبر، ژاله میرگلی، فیزیک پزشکی. انتشارات دانشگاه تهران، چاپ سوم. ۱۳۷۸، ص ۱۸۰.

(5) Douglas C. Giancoli. Physics principles with application prentice Hall International Inc. 1995, p. 112.

(6) Ghoshal. S. N, Atomic Physics, S.Chand and Company LTD. 2012, p. 160.

(7) Halliday.resnick.walker. Funamentals of physics. Fifth edition. 1997; 2, p. 842.

(8) Muugeshhon. R, Kiruthiga Sivaprasath, modern physics, S. Chand and Company .2010, p. 127.

(9) Serway. Physics for scientists and Engineers. Fourth Edition, Saunders College Publictions. 1996, p. 1013.

(10) Young.freedman. Univercityu physics. Ninth edition, addeson-weseley publication company inc. 1996, pp. 178, 1252.