فهرست

پیشگفتار **۷**
فصل ۱: رادیولوژی و کاربردهای آن در تصویربرداری پزشکی **۹**
فصل ۲: پزشکی هسته‌ای **۵۳**
فصل ۳: زیست‌شناسی پرتو و حفاظت پرتوی **۹۱**
فصل ۴: کاربرد امواج فراصوت در تشخیص و درمان **۱۳۳**
فصل ۵: تصویربرداری تشدید مغناطیسی یا MRI **۱۶۳**
فصل ۶: نور و دیدگانی **۱۷۳**
فصل ۷: مباحث ویژه (کاربرد روش‌های نوین در تشخیص و درمان) **۲۱۱**
۷-۱ جریان‌های پرفرکانس در پزشکی ۲۱۱
۷-۲ رباتیک در پزشکی ۲۲۰
۷-۳ لیزر و کاربرد آن در پزشکی ۲۳۷
واژه‌یاب **۲۵۵**

پیشگفتار

این کتاب با هدف آشنایی دانشجویان پزشکی و دندانپزشکی با مباحث گوناگون فیزیک پزشکی شامل اشعه ایکس، پزشکی هسته‌ای، تصویربرداری تشدید مغناطیسی MRI، فراصوت، نور، و رادیوبیولوژی و حفاظت تدوین شده است. ویرایش پنجم و چاپ دهم کتاب بر اساس سرفصل‌های جدید و محتوای مورد انتظار وزارت بهداشت، درمان، و آموزش پزشکی تنظیم و هم اکنون در اختیار دانشجویان و علاقمندان حوزه پزشکی قرار می‌گیرد. در این ویرایش سعی شده است تا مطالب کاربردی‌تر و موضوعات علمی ملموس و قابل استفاده در حرفه طب پوشانده شود.

در این کتاب، هفت مبحث طبق برنامه‌های مصوب شورای عالی برنامه‌ریزی توسط اساتید باتجربه که چندین سال مسئولیت تدریس و آموزش دانشجویان پزشکی را به‌عهده داشته‌اند، تهیه شده و سعی گردیده است تا حجم و محتوای مطالب، دربرگیرنده نیاز عمومی دانشجویان پزشکی باشد و مواد امتحانی علوم پایه پزشکی و دندانپزشکی را در حد ممکن پوشش دهد. بعلاوه این کتاب با نگاهی کلی و جامع برای کلیه علاقمندان به آشنایی با اصول فیزیک پزشکی و کاربردهای آن در پزشکی، حتی بدون پیش‌زمینه قبلی، مفید می‌باشد.

انتظار می‌رود مباحث این کتاب به‌صورت دو واحد درسی تدریس شوند. حجم مطالب به‌طریقی برنامه‌ریزی شده است تا هر یک از مباحث ۶ گانه اصلی در ۵ تا ۶ جلسه یک ساعته ارائه گردد. فصل هفتم کتاب به مطالب ویژه و فناوری‌های نوین در حوزه پزشکی اختصاص دارد. اگر چه این تدریس این فصل ممکن است در همه دانشکده‌های پزشکی جزو الزامات نباشد ولی مطالعه و یادگیری آن برای یک پزشک درمانگر، در قرنی که اکثر این فناوری‌ها از جمله رباتیک و لیزر در زندگی روزمره و کاربردهای خانگی وارد شده است، دور از انتظار نیست.

فصل اول برای آشنایی خواننده با دستگاه‌های اشعه ایکس و کاربرد آن در پزشکی تهیه شده است و جزئیاتی درارتباط با طیف اشعه ایکس را مطرح می‌نماید. سپس دانشجویان با اجزاء دستگاه رادیولوژی و تأثیرات آنها بر کمیت و کیفیت اشعه آشنا می‌گردند و در ادامه در مورد انواع برهم‌کنش‌ها و تفاوت‌ها و کاربردهای آنها در رادیولوژی تشخیصی، و جذب و اندازه‌گیری اشعه ایکس بحث می‌گردد. در قسمت پایانی این فصل، مباحث تشکیل تصویر و کیفیت آن مورد بررسی قرار می گیرد.

فصل دوم مروری دارد بر مطالب بنیادی پزشکی هسته‌ای و خصوصیات هسته عناصر مختلف و فرآیندهای پرتوزا بحث می‌کند، و در ادامه برهم‌کنش ذرات و پرتوها را به‌طور خلاصه بیان می‌نماید. در این فصل در مورد قانون واپاشی

و مباحث مربوط به اکتیویته بحث می‌گردد و تولید رادیونوکلوئیدها، پرتوداروها و مولکول‌های نشان‌دار مورد توجه قرار می‌گیرد. در آخر دستگاه‌های نگاره‌برداری پزشکی هسته‌ای و دستگاه PET صرفاً در حد آشنایی معرفی می‌شوند

فصل سوم به مبحث زیست‌شناسی پرتوی و حفاظت در برابر اشعه اختصاص یافته که در سه بخش مجزای زیست‌شناسی پرتوی، مبانی فیزیک رادیوتراپی، و حفاظت در برابر پرتوها ارائه گردیده است. قرار دادن این فصل در جایگاه سوم و بلافاصله بعد از کاربرد پرتوهای یونساز، بدلیل اهمیت شناخت اثرات زیستی پرتوها و نکات حفاظتی در زمان کاربرد آنهاست. در بخش زیست‌شناسی پرتوی، انواع پرتوهای یونساز با ذکر آثار زیستی آنها معرفی شده است. سپس حساسیت پرتوی سلول و عوامل مؤثر بر حساسیت پرتوی بیان گردیده است، و در آخر به‌اجمال بر اثرات تابش پرتو بر جنین نگاهی شده است. مبانی فیزیک رادیوتراپی به‌طور خلاصه مطرح گردیده و در بخش حفاظت پرتو، اصول دوزیمتری و حفاظت و کنترل پرتوگیری معرفی شده است. در آخر حفاظت فردی در پرتوشناسی تشخیصی مورد توجه واقع شده است.

چهارفصل بعدی کتاب بطور کلی، اختصاص به روشهای تصویربرداری و کاربردهای تشخیصی درمانی مبتنی بر پدیده‌های غیر یونیزان دارد. استفاده از این روشها عمدتاً صدمات زیستی به سلول‌های بدن انسان نمی‌زند ولی رعایت آستانه مقدار و شدت امواج ناشی از این روشها برای تضمین حفاظت‌های پرتوی لازم است.

فصل چهارم، به بحث و بررسی امواج فراصوت و برهم‌کنش‌های آن با بافت‌های بدن می‌پردازد و روش‌های تولید و آشکارسازی امواج فراصوت را معرفی می‌کند. سپس دانشجویان را با روش‌های پژواک پالسی و داپلر به‌صورت خلاصه آشنا می‌سازد، و در آخر اثرات بیولوژیک و کاربرد درمانی این امواج را مطرح می‌نماید.

فصل پنجم، مبانی تصویربرداری تشدید مغناطیسی (MRI) را بطور ساده توضیح می‌دهد و مکانیزم ایجاد کنتراست‌های استاندارد از قبیل T1 و T2 و دانسیته پروتون PD را بیان می‌نماید. هدف از این فصل، یادگیری تمام ظرفیت‌ها و کاربردهای MRI نیست بلکه آشنایی ابتدایی و ایجاد انگیزه برای استفاده از این روش توانمند تشخیصی در حرفه پزشکی، هدف‌گیری اصلی مولف است.

در فصل ششم، مبانی فیزیک نور و دیدگانی و کاربردهای آنها در پزشکی مطرح شده است. در این فصل ضمن ارائه توضیح مختصری در مورد فیزیک نور، روش‌های اندازه‌گیری و پخش نور، کاربرد نور در پزشکی (تشخیص و درمان)، و اثرات بیولوژیک آن مورد بحث واقع شده است. فیزیک چشم، کاربرد عدسی‌ها در پزشکی، بیماری‌ها و ناهنجاری‌های دیدگانی از مباحث دیگر این فصل است که دانشجویان پزشکی را با روش‌های فیزیکی و ابزارهای مربوط به تشخیص بیماری‌های چشم و عیوب بینایی آشنا می‌سازد.

در فصل هفتم مباحث ویژه و فناوری‌های نوین در حوزه پزشکی مورد بحث قرار گرفته است. این فصل با کاربرد جریان‌های پرفرکانس و روش‌های دیاترمی و جراحی الکتریکی و اثرات آن‌ها بر بدن شروع می‌شود و سپس با هدف آشنایی دانشجویان با کاربردهای مختلف رباتیک در پزشکی و لیزر به‌صورت اجمالی ادامه می‌یابد.

مولف

۱

رادیولوژی و کاربردهای آن در تصویربرداری پزشکی

۱-۱ تولید اشعه ایکس

۱-۱-۱ مقدمه‌ای بر تصویربرداری پزشکی

بعد از تصاویر ماهواره‌ای، تصویربرداری پزشکی بیشترین و فعال‌ترین نقش را در تصویربرداری دارد. هدف از تصویربرداری در پزشکی، به‌دست آوردن تصاویر بیمار به‌منظور کمک به تشخیص بیماری می‌باشد.دو گروه اصلی عبارتند از تصویربرداری in vivo، که با استفاده از دستگاه‌های رایج مانند سی‌تی[۱]، پزشکی هسته‌ای، اولتراسوند، MRI، ترموگرافی و پروب‌های فیبر نوری[۲] بدست می‌آید؛ و تصویربرداری in vitro،که جهت بررسی نمونه‌ها در خارج از بدن استفاده می‌شود. این نمونه‌ها شامل مواردی چون نمونه خون[۳] و نمونه بافت[۴] هستند که به‌طور کلی با تکنیک‌های (سیتولوژی) (خون شناسی)[۵]، و هیستولوژی (بافت شناسی)[۶] بررسی می‌شوند.

تصویربرداری in vivo ممکن است مثل اشعه ایکس[۷] و اولتراسوند، با استفاده از تشعشع عبوری[۸] به‌داخل بافت یا بدن بیمار صورت گیرد، و یا با استفاده از تشعشع نشری[۹] انجام شود، که این اثر ممکن است با

1. CT
2. Fiber optic
3. Blood smear
4. biopsy specimens
5. cytology
6. histology
7. X-ray
8. Transmission Radiation
9. Emission Radiation

استفاده از خصوصیات طبیعی بافت (مثل ترموگرافی) و یا با کمک تجمع مواد انتقالی به بدن در یک بافت (تزریق مواد رادیواکتیو در پزشکی هسته‌ای) به وجود آید. بعلاوه در بعضی از انواع تصویربرداری، سیستم‌های داخلی بدن تحریک و تحت تأثیر واقع می‌شوند؛ مثل تصویربرداری گاما اسکن قلب در حین انجام ورزش‌های سخت (تست فشار[1] قلبی).

در این فصل، تصویربرداری رادیولوژی که از روش‌های تصویربرداری با استفاده از تشعشع عبوری است، توضیح داده می‌شود. در این نوع تصویربرداری از اشعه ایکس استفاده می‌شود که از تشعشعات الکترومغناطیس است.

۱-۱-۲ تشعشعات الکترومغناطیسی[2]

انتقال انرژی در فضا به شکل ترکیب میدان الکتریکی و مغناطیسی (EM) و توسط یک ذره باردار شتاب‌گرفته صورت می‌گیرد.تشعشعات اشعه ایکس، اشعه گاما، نور مرئی و امواج رادیوئی همگی دارای نوسانات میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی بوده و از این دسته انرژی‌ها هستند.الکترون موجود در اطراف بار هسته شتابدار نیست؛ ولی خارج از اتم می‌تواند شتاب بگیرد و ایجاد تشعشع EM کند.تشعشع EM جرم ندارد؛ توسط میدان مغناطیسی تحت تأثیر قرار نمی‌گیرد؛ جهت انتشار به محیط ماده نیاز ندارد؛ و دارای طول موج و فرکانس f و انرژی E می‌باشد.

همان‌طور که در شکل ۲-۱ مشخص است وقتی بار الکتریکی q با سرعت ثابت حرکت می‌کند، میدان الکتریکی E حرکت کرده و میدان مغناطیسی H که عمود بر میدان الکتریکی است، به‌صورت دایره‌ای به‌وجود می‌آید. ولی اگر بار q با شتاب حرکت کند، میدان الکتریکی و میدان مغناطیسی نسبت به بار الکتریکی یک پیچش انرژی به‌طرف خارج ایجاد می‌کند که با سرعت بالا و مشخص انتشار می‌یابد و این همان تشعشع EM است.

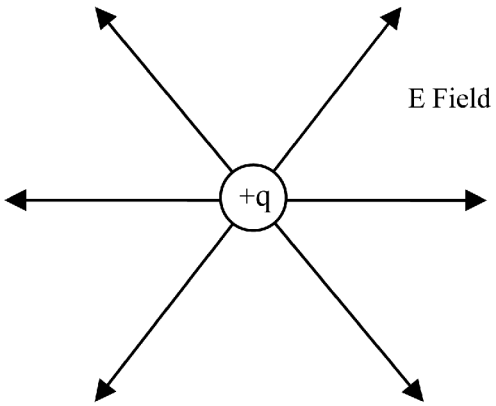
۱-۱-۳ خصوصیات تشعشعات الکترومغناطیسی

هر موج الکترومغناطیسی با سه مشخصه توصیف می‌شود: فرکانس، طول موج و انرژی[3]. اگر هر یک از این صفات مشخص باشند، دو صفت دیگر با استفاده از معادلات قابل محاسبه هستند.

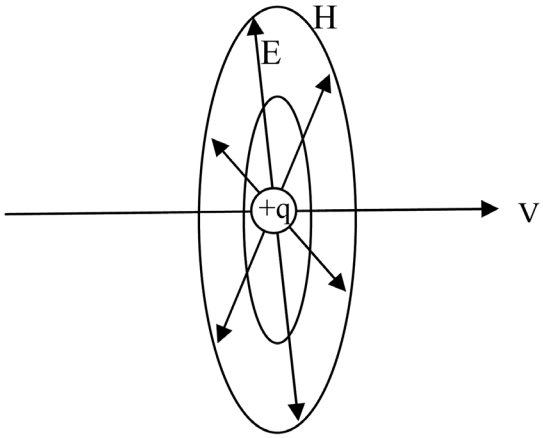
---

1. Stress Test
2. Electromagnetic Radiation

۳. تعاریف: طول موج: فاصله طی شده به‌وسیله‌ی یک موج یا فاصله یک ماکزیمم از ماکزیمم موج مجاور است که معمولاً با حـــرف یونانی λ (لاندا) نشان داده می‌شود. طول موج را معمولاً برحسب متر یا سانتی‌متر بیان می‌کنند.
فرکانس: فرکانس تعداد نوسانات در ثانیه است که معمولاً با حرف یونانی ν (نوnu) یا حرف انگلیسی f نشان داده می‌شود. فرکانس را معمولاً برحسب هرتز (Hz) بیان می‌کنند که یک هرتز مساوی یک سیکل (دوره) بر ثانیه است.
سرعت:چون موج منتقل می‌شود لـذا برای حـــرکت موجـی باید سرعت قائل شـد. ارتباط بین طول موج، فرکانس و سرعت از روی واحدهای این کمیات واضح است. به‌عبارت دیگر طول موج (برحسب متر) ضرب در فرکانس (بر حسب تعداد در ثانیه) برابر سرعت (متر بر ثانیه) خواهد بود. سرعت $= \nu \times \lambda$



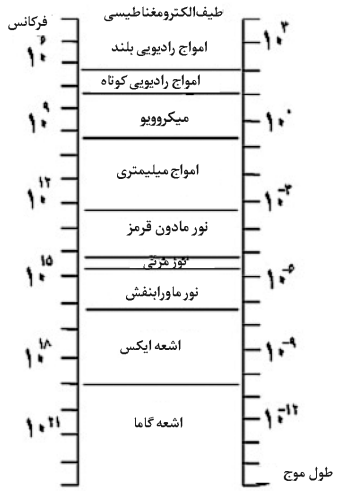
شکل ۱-۱ میدان الکتریکی اطراف یک بار مثبت در حال سکون



شکل ۲-۱ میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی اطراف یک بار در حال حرکت

امواج الکترومغناطیس شامل محدوده‌ای وسیع از طول موج‌ها، و لذا فرکانس‌ها و انرژی‌های مختلف هستند که از امواج رادیوئی با طول موج‌هائی حدود چندین متر تا امواج ایکس و گاما با طول موج‌های بسیار کوتاه را شامل می‌شوند.انرژی برخی از این امواج حتی درحدود بیلیون الکترون‌ولت است، ولی در رادیولوژی تشخیصی انرژی‌های تا ۱۵۰ کیلوالکترون ولت کاربرد دارد.

باید تأکید نمود که هیچ اختلافی بین اشعه ایکس و گاما وجود ندارد و محدوده انرژی هر دوی آنها می‌تواند یکسان باشد.یک فوتون ایکس با انرژی خاص از فوتون گامای هم‌انرژی آن قابل‌تشخیص نخواهد بود و تنها تفاوت، به‌علت منشاء تولید آنها است.اشعه ایکس در نتیجه تأثیر متقابل اتمی و الکترونی حاصل می‌شود و منشأ آن، تبدیل انرژی در مدارات الکترونی اتم است.درصورتی‌که اصطلاح اشعه گاما در مورد فوتون‌هائی به‌کار می‌رود که منشأ آنها هسته اتم است.



شکل ۳-۱ طیف امواج الکترومغناطیسی. مقادیر طول موج و فرکانس امواج مختلف نشان داده شده است.

۴-۱-۱ خواص موجی و ذره‌ای اشعه x

الف) حرکت موجی

چون انتشار پرتوهای ایکس مانند انتشار نور و امواج رادیوئی، موجی‌شکل است، لذا دارای خاصیت و حرکت موجی است.این تشعشعات در خلأ با سرعت مساوی سرعت نور و حدود ۳×۱۰^{۸} متر بر ثانیه حرکت می‌کنند.این مقدار را با حرف c نشان می‌دهند. بنابراین برای تشعشعات الکترومغناطیس خواهیم داشت:

$$v=\frac{c}{\lambda} \quad \text{یا} \quad \lambda=\frac{c}{v} \quad \text{یا} \quad \lambda\times v=c \qquad ۱-۱$$

ب) حرکت ذره‌ای

کلیه امواج، معرف انتقال انرژی از یک مکان به مکان دیگر هستند.معهذا این انتقال انرژی توسط تشعشعات الکترومغناطیس، کاملاً پیوسته یا اتصالی نیست؛ بلکه انتقال آنها به‌شکل بسته‌های معین امواج بنام کوانتا است که حاوی یک مقدار معین انرژی نیز می‌باشند.کوانتای نور و اشعه‌ی ایکس معمولاً فوتون نامیده می‌شود.مقدار انرژی هر فوتون برحسب فرکانس آن تغییر می‌کند و رابطه آنها طبق معادله زیر[۱] است:

---

۱. **مثال ۱:** فرکانس یک فوتون پرتو ایکس با انرژی ۷۰ keV چقدر است؟

$$E=hv,\ v=\frac{E}{h},\ v=\frac{7\times10^{4}eV}{4/15\times10^{-15}eVSec}=1/69\times10^{19}Sec^{-1}$$
$$v=1/69\times10^{19}Hz$$

$$E = h\frac{c}{\lambda} \quad \text{یا} \quad E = h\nu \qquad ۱-۲$$

در اینجا h عدد ثابتی است که به ضریب پلانک[1] معروف است و مقدار آن بستگی به واحدهایی دارد که برای E یا انرژی فوتون به‌کار می‌رود.هرگاه E برحسب ژول باشد، مقدار h برابر با ژول ثانیه خواهد بود. مناسب‌تر است برای انرژی تشعشعات الکترومغناطیسی از واحد الکترون‌ولت استفاده کنیم (eV).مقدار h بر اساس الکترون‌ولت برابر با $۴/۱۵\times۱۰^{-۱۵}$ eVSec می‌باشد.

۱-۴-۱-۱ روش‌های تولید اشعه ایکس

طبق تئوری بور[2]، الکترون‌های اطراف هسته در لایه‌های N, M, L, K و..به‌ترتیب به تعداد ۲، ۸، ۱۸، ۳۲ و... الکترون در هر لایه می‌چرخند.انتقال الکترون از یک لایه به لایه‌ای دیگر با سطح انرژی پایین‌تر، مثلا از L به K باعث تابش انرژی EM می‌شود. اغلب لایه‌ها دارای زیر لایه با سطح انرژی کمی متفاوت هستند. در شکل ۴-۴، لایه‌های مختلف و سطح انرژی آنها برای اتم تنگستن[3] نشان داده شده است.اتم تنگستن که در تولید اشعه ایکس مورد استفاده قرار می‌گیرد، دارای عدد اتمی ۷۴، انرژی لایه K معادل ۷۰keV و انرژی لایه L معادل ۱۱keV است.

به‌طور کلی برای‌اینکه یک اتم بتواند اشعه ایکس تولید کند، سه خصوصیت ماده هدف از اهمیت خاصی برخوردار است:

۱. میدان الکتریکی هسته
۲. انرژی اتصال‌های بین لایه‌های الکترونی اطراف هسته
۳. تمایل یک اتم برای رسیدن به حالت پایه (سطح پایین انرژی)

تشعشع اشعه ایکس از دو طریق تولید می‌شود: تشعشع عمومی[4] (ترمزی یا برمشترالانگ[5])، و تشعشع اختصاصی[6] یا ویژه.

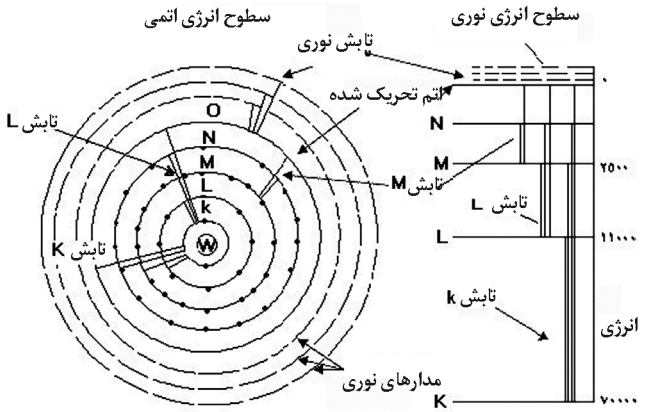
مثال ۲: انرژی یک فوتون تابشی از یک ایستگاه رادیوئی درصورتیکه فرکانس پخش آن، ۷/۱۰۱ کیلوهرتز باشد چقدر است؟

$$E = h\nu = (4/15\times10^{-15})\times(1/017\times10^{5}\,Sec^{-1}) = 4/22\times10^{-10}\,eV$$

مثال ۳: انرژی فوتون نور سبز که طول موج آن ۵۵۰nm است چقدر می‌باشد؟

$$E = \frac{hc}{\lambda} = \frac{(4/15\times10^{-15}\,eVSec)(3\times10^{5}\,m/Sec)}{550\times10^{-9}\,m} = 2/26eV$$

1. Planck
2. Bohr
3. Tungsten
4. General radiation
5. Bremsstrahlung
6. Characteristic radiation



شکل ۴-۱ لایه‌های مختلف و سطوح انرژی آنها برای اتم تنگستن

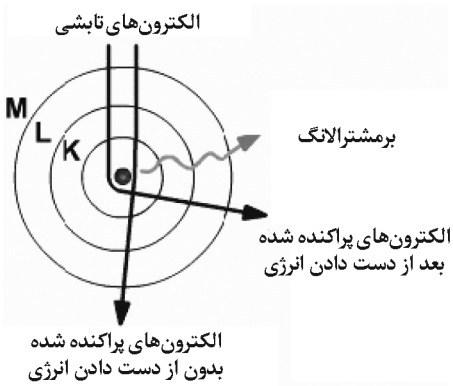
۵-۱-۱ تشعشع عمومی

در این روش، تعدادی الکترون پرانرژی (دارای انرژی جنبشی) به روش‌هایی که بعداً ذکر خواهد شد، تولید می‌شوند و یک هدف با اتم مناسب مثل تنگستن را مورد برخورد قرار می‌دهند. الکترون‌های پرانرژی پس از برخورد، به‌طرف هسته اتم کشیده شده، سرعتشان کاهش یافته، و جهتشان عوض می‌شود.انرژی جنبشی که این اتم‌ها در اثر تغییر سرعت از دست می‌دهند، به‌صورت فوتون تشعشعی اشعه ایکس ظاهر می‌شود. معمولاً یک الکترون با چندین اتم برخورد کرده و در هر برخورد بخشی از انرژی خود را از دست می‌دهد؛ لذا چندین فوتون اشعه ایکس با انرژی‌های متفاوت ایجاد می‌شود. اغلب برخوردها در انرژی پایین صورت می‌گیرند و باعث ارتعاش اتم‌ها و تولید انرژی در طول موج مادون قرمز (به شکل گرما) می‌شوند (٪۹۹).

انرژی فوتون x زمانی به حداکثر مقدار خود می‌رسد که الکترون توسط اولین اتم متوقف شده باشد، در نتیجه فوتونی با حداقل طول موج ایجاد می‌شود که بستگی به حداکثر انرژی جنبشی الکترون بمباران‌کننده دارد. در رادیولوژی، به این حداکثر انرژی kVp یعنی ماکزیمم[1] انرژی می‌گویند. به عنوان مثال طول موج اشعه ایکس با kVp =۱۰۰keV برابرست با:

$$E = \frac{hc}{\lambda} \Rightarrow \lambda_{\min} = \frac{hc}{E_{\max}} = \frac{(4/15\times10^{-15})\times(3\times10^{8})}{kV_p} = \frac{1/24\times10^{-6}}{100000} = 0/0124nm$$

1. peak



شکل۵-۱ تولید اشعه x به روش عمومی (برمشترالانگ)

همان‌طور که گفته شد مینیمم طول موج، مربوط به ماکزیمم انرژی است که از kVp حاصل می‌شود. ولی طیف اشعه ایکس دارای طول موج‌های بلندتر یعنی انرژی‌های پایین‌تری نیز هست که از برخوردهای متوالی الکترون با اتم به‌دست می‌آیند.

۶-۱-۱ تشعشع اختصاصی

هنگام برخورد الکترون‌های پرانرژی با اتم‌های هدف، ممکن است این الکترون‌ها با الکترون‌های لایه‌های ماده هدف برخورد کرده و انرژی جنبشی خودشان را به آنها منتقل کنند.چنانچه انرژی دریافتی توسط الکترون‌های ماده هدف بیشتر از انرژی اتصال آن لایه و یا بیشتر از تفاوت انرژی بین یک لایه و لایه بالاتر باشد، این الکترون‌ها از لایه‌های داخلی اتم به بیرون پرتاب می‌شوند.سپس در اثر جایگزینی الکترون‌های لایه‌های داخلی، تشعشعx با انرژی مساوی تفاضل انرژی لایه‌ها تولید می‌شود.در تنگستن، در انرژی پایینتر از ۷۰ kVp (زمانی‌که انرژی الکترون بمباران‌کننده ۷۰ keV< باشد)، هیچ اشعه اختصاصی ۷۰ کیلوالکترون‌ولتی از لایه K وجود ندارد. در انرژی مساوی یا بالاتر از ۷۰ kVp ممکن است اشعه ایکس ۵۹ و یا ۷۰ کیلوالکترون‌ولتی حاصل از انتقال الکترون از لایه L به لایه K و یا به خارجی‌ترین لایه، به‌دست آید (براساس تفاضل سطح انرژی این دو لایه). مقدار اشعه اختصاصی نسبت به تشعشع عمومی بسیار پایینتر است.در انرژی ۸۰ kVp تا ۱۵۰ kVp، ۱۰٪ تا ۲۵٪ تشعشع اختصاصی قابل استفاده وجود دارد.