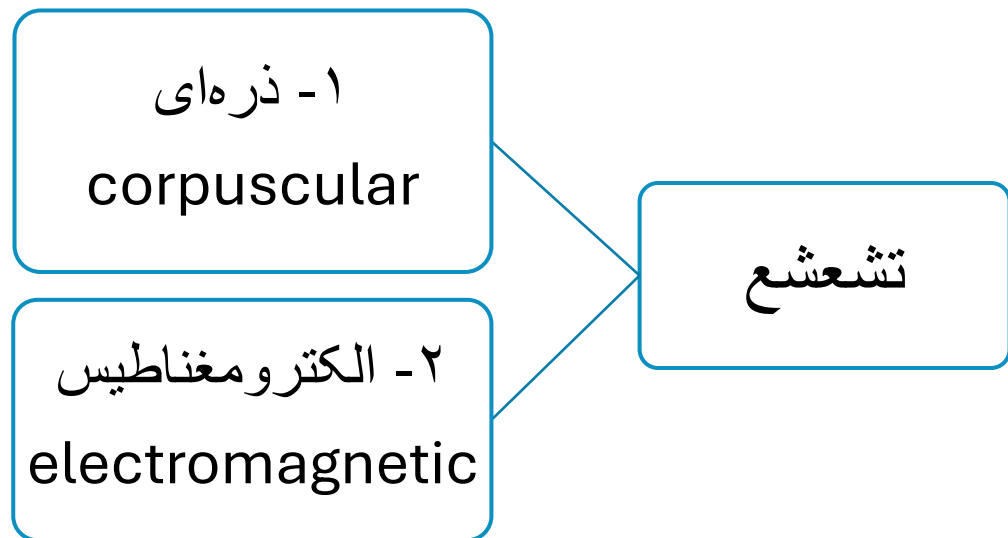


تشعشع یا پرتو (radiation) به انتشار انرژی از میان فضا و یا ماده گفته می‌شود.

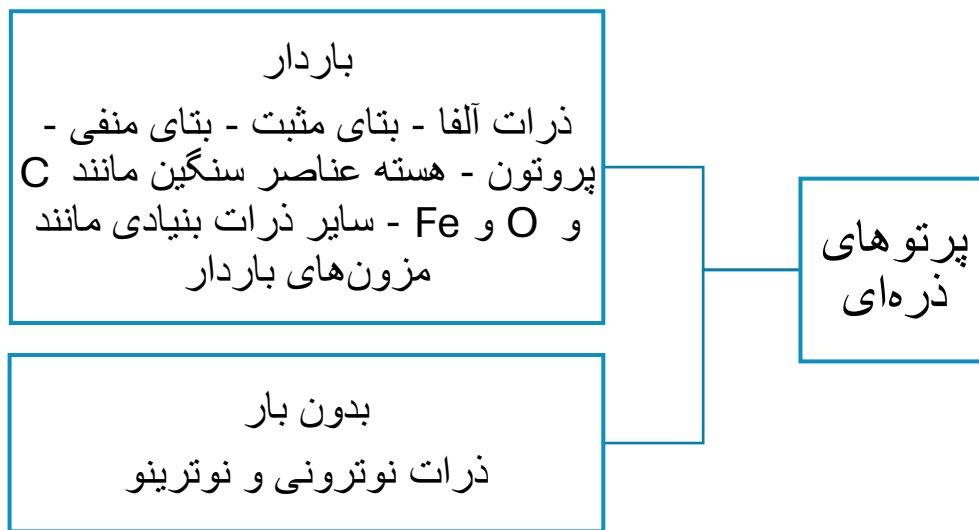


تشعشعات ذره‌ای:

پرتوهای ذره‌ای در اصل ذراتی تشکیل شده از ماده هستند که در اندازه‌ها و جرم‌های مختلف و سرعت‌های متفاوت (از نزدیک صفر تا نزدیک سرعت نور) حرکت می‌کنند. انرژی که توسط پرتوهای ذره‌ای منتقل می‌گردد به شکل انرژی جنبشی است که از فرمول معروف

$$k = \frac{1}{2}mv^2 \text{ به دست می‌آید.}$$

تشعشعات متحرک ذره‌ای در دو دسته باردار و بدون بار قرار دارند.



میزان یونیزاسیون (ionization) تشعشعات ذره‌ای نتیجه میزان برخورد این تشعشعات (interaction) با ماده است. سه عامل اساسی در اینتراکشن نقش دارند:

- ۱- اندازه و جرم ذره (نسبت مستقیم)
- ۲- بار الکتریکی ذره (نسبت مستقیم)
- ۳- سرعت ذره (نسبت عکس)

هرچه جرم و بار یک ذره بیشتر و سرعت آن کمتر باشد قدرت یونیزاسیون آن بیشتر ولی قدرت نفوذ آن کمتر خواهد بود.

$$\text{انرژی یونیزاسیون} = IE \propto \frac{m|q|}{v}$$

طبق این تناسب، انرژی یونیزاسیون هنگامی به ماکسیمم خود می‌رسد که سرعت ذره در لحظه برابر با صفر باشد.

تشعشعات الکترومغناطیسی:

هنگامی که بار الکتریکی q با شتاب حرکت می‌کند میدان الکتریکی (در راستای محور y) و مغناطیسی (در راستای محور z) عمود بر یکدیگر و عمود بر مسیر انتقال انرژی (یعنی موج الکترومغناطیس از نوع موج عرضی است) حرکت می‌کنند. بدین ترتیب انرژی در فضا با سرعت بالا منتقل می‌شود که همان پرتو EM یا الکترومغناطیس است.

پرتوهای الکترومغناطیس انرژی هستند که به شکل میدان‌های نوسانی الکتریکی و مغناطیسی از نقطه‌ای به نقطه دیگر انتقال و انتشار می‌یابند. این پرتوها ذره نیستند بلکه انرژی در حال انتقال‌اند و نیازی به ماده ندارند.

پرتو EM:

- ۱- جرم ندارد.
- ۲- تحت تاثیر میدان مغناطیسی قرار نمی‌گیرد.
- ۳- برای انتشار به محیط مادی نیاز ندارد.

هر پرتو EM سه مشخصه دارد:

- ۱- انرژی
- ۲- فرکانس (f)
- ۳- طول موج (λ)

رابطه بین فرکانس و طول موج:

(c برابر است با سرعت نور)

$$c = f \cdot \lambda$$

بزرگترین منبع پرتوهای الکترومغناطیسی در طبیعت، خورشید است.

طیف الکترومغناطیسی:

امواج الکترومغناطیس در یک طیف پیوسته از فرکانس ۱ هرتز تا بالای ۱۰۸۲۵ هرتز و طول موج بسیار بلند (حدود ۱۰۰ هزار کیلومتر) تا کم (حدود ۱ درصد ابعاد هسته) دسته‌بندی شده‌اند.

انرژی برخی امواج در حدود بلیون الکترون‌ولت است. اما در پرتوشناسی تشخیصی از امواج تا انرژی ۱۵۱ کیلو الکترون‌ولت و در پرتودرمانی از امواج با انرژی بالای ۵۰۰ کیلو الکترون‌ولت استفاده می‌شود.

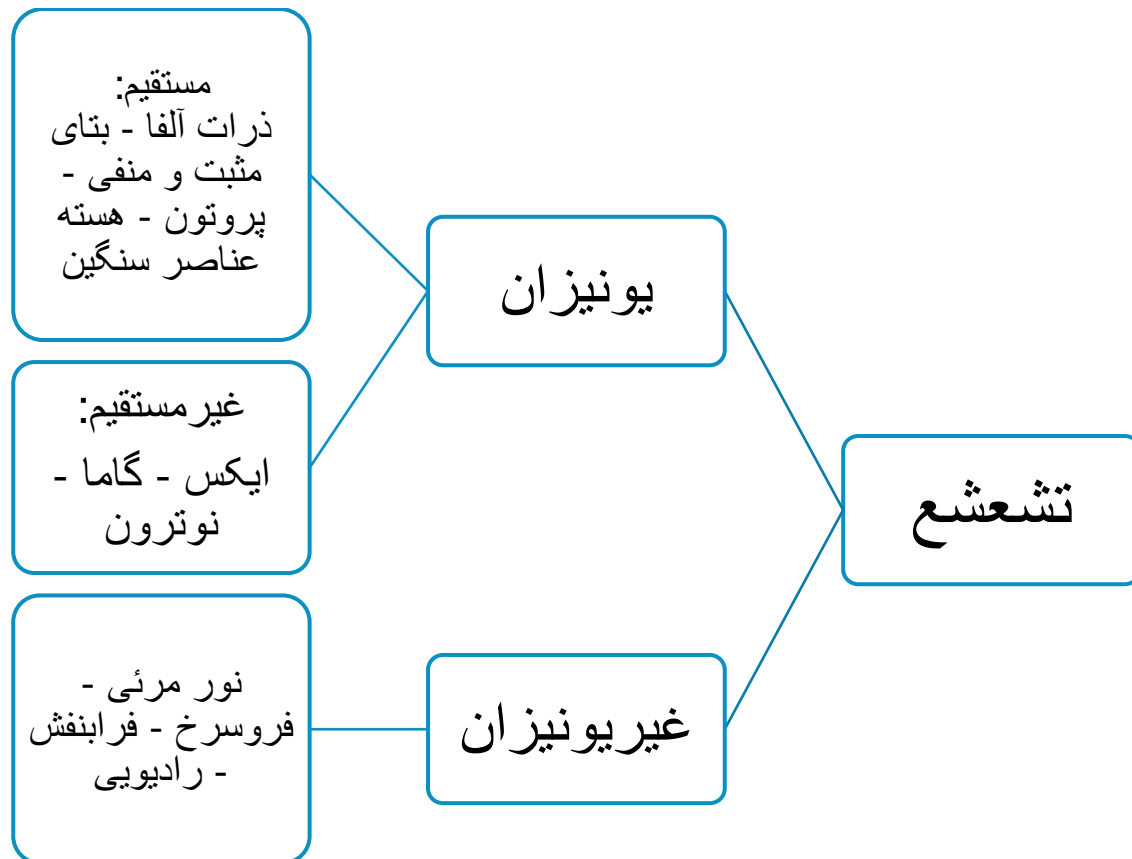


از موج رادیویی به سمت اشعه ایکس و گاما، فرکانس و انرژی افزایش و طول موج کاهش می‌یابد.

پرتو ایکس و گاما در ماهیت خود (طول موج، انرژی و فرکانس) کاملاً یکسان هستند اما منشأ پرتوی گاما هسته ناپایدار اتم و منشأ پرتوی ایکس توقف ناگهانی الکترون‌های شتاب‌گرفته و تبدیل انرژی جنبشی به انرژی الکترومغناطیسی است. پرتوی گاما برخلاف ایکس در طبیعت دیده می‌شود.

یونیزان و غیر یونیزان:

در دسته‌بندی دیگری پرتوها به دو دسته یونیزان و غیر یونیزان تقسیم می‌شوند. پرتوهای نوع یونیزان برخلاف نوع غیر یونیزان می‌توانند الکترون آزاد کنند.



طبق نمودار تمام پرتوهای ذره‌ای به جز ذرات نوترون از نوع یونیزان مستقیم و پرتوی ذره نوترون به دلیل خنثی بودن از لحاظ بار الکتریکی از نوع یونیزان غیر مستقیم است.

اتم زمانی در حالت پایه قرار دارد که تعداد پروتون‌های درون هسته آن با تعداد الکترون‌های خارج هسته برابر باشد. بار الکتریکی این دو ذره $q = \pm 1.6 \times 10^{-19} e$ است که در پروتون این میزان مثبت و در الکترون منفی است.

یونیزاسیون هنگامی اتفاق می‌افتد که اتم از وضعیت پایدار خود خارج شده و یک الکترون از ساختار اتم بیرون می‌رود.

تشعشعات غیر یونیزان توانایی خارج کردن الکترون از مدار و انجام یونیزاسیون را ندارند. این امواج بدون تاثیر روی ساختار اتم می‌توانند اثری مانند تکان دادن اتم یا ذرات آن و آزاد کردن گرما (آزاد کردن انرژی به صورت مکانیکی یا گرمایی) داشته باشند. در سطح بافت و سلول این اثر ممکن است باعث ایجاد قرمزی (برای مثال قرمز شدن پوست) شود.

پرتوهای یونیزان مستقیم با اینتراکشن با اتم سبب انجام یونیزاسیون‌های متوالی و متراکم می‌شوند. اما نوع دیگر پرتوهای یونیزان ابتدا با برخورد به یک مولکول واسطه باعث آزادی الکترون می‌شوند و آن الکترون در ادامه به طور مستقیم اینتراکشن با اتم و سپس یونیزاسیون را انجام می‌دهد.

البته در هر کدام از مراحل بالا و در هر نوع برهمکنش پرتویی احتمال بروز پدیده‌های متفاوت (کمپتون، کوهرنت، فوتوالکتریک و ...) با توجه به انرژی تشعشع وارده، انرژی بستگی ذره، عدد اتمی و سایر موارد وجود دارد. هدف نهایی برای هر دو نوع پرتو یونیزان مستقیم و غیرمستقیم، انجام یونیزاسیون است و به طور کلی مقصود از یونیزاسیون غیرمستقیم، به دست آوردن الکترونی پراانرژی است که بتواند یونیزاسیون مستقیم را انجام دهد.

به طور کلی ذرات دخیل در یونیزاسیون مستقیم به دلیل داشتن بار و جرم قدرت نفوذ کمی دارند و حتی قبل از رسیدن به هدف با اجسام نامربوط اینتراکشن انجام می‌دهند. برای مثال ذره آلفا (هسته هلیوم) بسیار سنگین است و دو بار مثبت هم دارد.

به همین دلیل در رادیوتراپی معمولاً از پرتوهای یونیزان غیرمستقیم استفاده می‌شود که بارشان خنثی است و جرم ندارند (ایکس و گاما) یا دارای جرم بسیار پایین (نوترون) هستند.

شتاب الکترون

الکترون در اطراف هسته شتاب ندارد اما خارج از اتم می‌تواند شتابدار شود. همچنین هر بار شتابداری که به اتم متصل نباشد از خود اشعه الکترومغناطیس ساطع خواهد کرد.

ماهیت دوگانه

پرتوهای الکترومغناطیس دارای ماهیت دوگانه (dual nature) هستند:

۱- خاصیت موجی

۲- خاصیت ذره‌ای

ماهیت موجی: امواج الکترومغناطیس در خلاء با سرعت $3 \times 10^8 \text{ m/s}$ حرکت می‌کنند. پدیده‌های مهم تداخل، شکست، انعکاس و پراش امواج EM نشان‌دهنده خاصیت موجی آن است.

برای ماهیت موجی این پرتوها چهار مشخصه تعریف شده است:

۱- سرعت

۲- طول موج

۳- فرکانس

۴- فاز (نشان‌دهنده بعد مکانی موج در شروع انتشار آن که در نمودار برابر با عرض از مبدا است)

طول موج و فرکانس نشان‌دهنده خصوصیات فیزیکی و شیمیایی یک موج هستند.
طول موج پرتوهای الکترومغناطیس در رادیولوژی تشخیصی بسیار کوتاه است و بر اساس آنگستروم ($10^{-10} m$) بیان می‌شود.

ماهیت ذره‌ای: امواج الکترومغناطیس انرژی را به صورت بسته‌های معین به نام کوانتا (quanta) منتقل می‌کند. کوانتای پرتو ایکس و نور را فوتون می‌گویند. انرژی هر فوتون با فرکانس آن موج رابطه مستقیم دارد.

$$E = h \cdot f = \frac{hc}{\lambda}$$

ثابت پلانک یا h برابر است با $6.625 \times 10^{-34} j \cdot sec$ یا $4.15 \times 10^{-15} eV \cdot sec$
معمولاً در پرتوهای الکترومغناطیس انرژی را برحسب الکترون‌ولت حساب می‌کنیم.

$$1 eV = 1.6 \times 10^{-19} j$$

این انرژی با مقدار انرژی که یک الکترون با حرکت از جایی به جایی دیگر در اختلاف پتانسیل یک ولت به دست می‌آورد مساوی است.

انرژی نسبت داده‌شده به یک پرتو برابر با انرژی یک فوتون آن است. برای مثال هنگامی که از یک پرتو یک میلیون الکترون‌ولتی (Mev) سخن می‌گوییم یعنی هر فوتون آن 1 Mev انرژی دارد.
برای به دست آوردن انرژی یک باریکه یا دسته پرتو می‌توانیم تعداد فوتون‌ها را در انرژی یک فوتون ضرب کنیم:

$$E = N \cdot h \cdot f = N \frac{hc}{\lambda}$$

خصوصیات فیزیکی مشترک

به جز خصوصیات منحصر به فرد هر موج، ویژگی‌های زیر میان همه پرتوهای EM مشترک است:

- ۱- حرکت در خلاء با سرعت نور (این سرعت در خارج خلاء به دلیل اینتراکشن با اجزای محیط مادی از حد سرعت نور کمی کمتر می‌شود)
- ۲- حرکت به صورت خطی مستقیم (پرتو ممکن است انحراف یابد و تغییر جهت دهد اما همچنان در خطی مستقیم به حرکت خود ادامه می‌دهد. مانند برخورد نور مرئی به آینه محدب. تمام محاسبات دوزیمتری بر این فرض انجام می‌شوند که پرتو در خطی مستقیم و عمود به هدف برخورد می‌کند)
- ۳- امکان تضعیف (جذب یا پراکنده شدن) در صورت برخورد با ماده

- ۴- امکان انعکاس، پراش یا شکست (که در صورت بروز هر کدام، ادامه مسیر باز هم به شکل خطی مستقیم است)
- ۵- عدم قرارگیری تحت تاثیر میدان‌های الکتریکی یا مغناطیسی

انرژی و طول موج

یک پرتو (فوتون) الکترومغناطیس با طول موج یک آنگستروم 12400 \AA الکترون‌ولت انرژی می‌دهد. طول موج و انرژی پرتو با هم رابطه عکس دارند. به این معنا که هرچه طول موج کمتر باشد انرژی پرتو بیشتر است.

$$E (\text{eV}) = 12400/\lambda (\text{\AA})$$

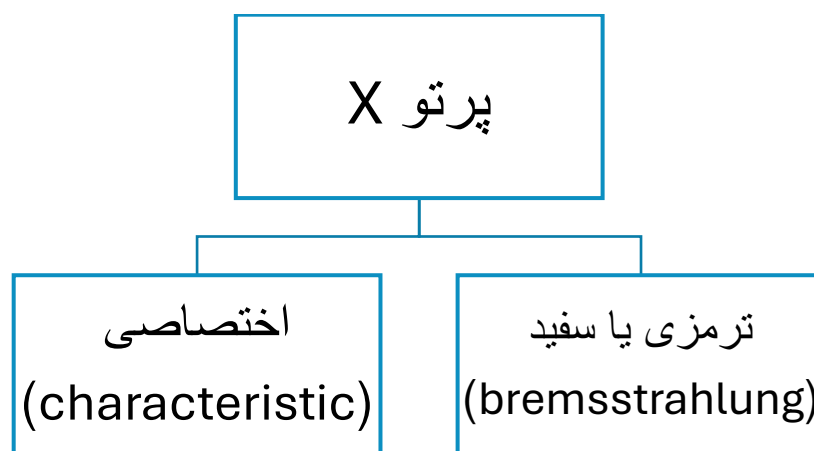
$$E \propto \frac{1}{\lambda}$$

پرتو ایکس

دسته‌ای از امواج الکترومغناطیس با توانایی یونیزاسیون (غیرمستقیم) هستند.

پرتو X سه ویژگی منحصر به فرد دارد:

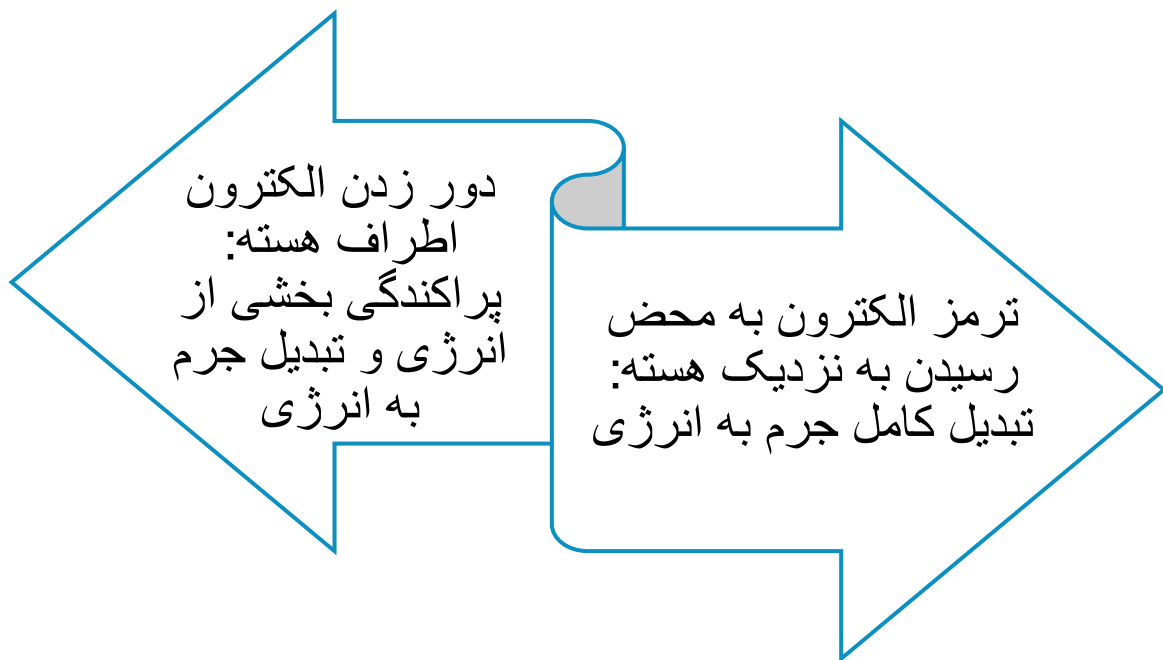
- ۱- از جنس امواج الکترومغناطیس است و تمامی خواص عمومی آنها را داراست.
 - ۲- یونیزان است.
 - ۳- از تبدیل انرژی جنبشی یا پتانسیل به انرژی الکترومغناطیس حاصل می‌شود (وجه تمایز با پرتو گاما)
- به طور کلی ۲ روش برای به دست آوردن این پرتو وجود دارد.



روش ترمزی: ناشی از شتاب گرفتن یک ذره باردار و توقف آن در نزدیکی هسته است.
روش اختصاصی: نتیجه حرکت الکترون در نواحی مختلف اتم است و در اتم هر عنصر متفاوت است.
با داشتن پرتو ایکس اختصاصی یک اتم می‌توانیم عنصر مربوطه آن را بفهمیم.

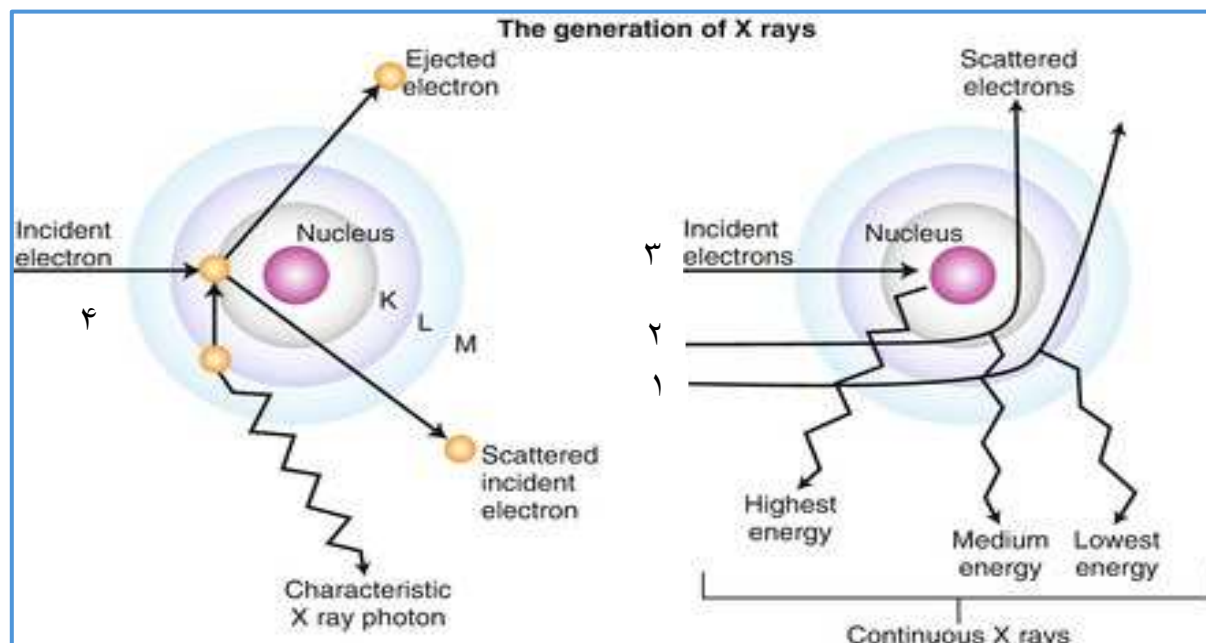
اشعه ایکس ترمزی

الکترون پرانرژی و شتاب گرفته با الکترون‌های لایه‌ای اینتراکشن نمی‌کند و به نزدیکی هسته (target) می‌رسد و با میدان الکترواستاتیک هسته اینتراکشن ایجاد می‌کند.
اگر الکترون در نزدیکی هسته ساکن شود پرتو ایکس تولیدشده بیشترین میزان انرژی را خواهد داشت.
این حالت بهینه و احتمال پیشامد آن بسیار پایین است.
به احتمال بیشتر، الکترون که نمی‌تواند وارد هسته شود در اطراف هسته دور می‌زند و سپس تبدیل به پرتو ایکس می‌شود. هرچه حرکت دور هسته بیشتر باشد تشعشع تولیدی انرژی کمتری خواهد داشت.
به این دلیل که بخشی از انرژی اولیه صرف دور زدن شده است.



در فرایند ترمزی هرچقدر فاصله ذره به هسته نزدیکتر باشد احتمال دور زدن کمتر است و دسته پرتو ایکس تولیدی ترمزی، پیوسته است. یعنی کوانتاها با مقدار انرژی‌های متنوع دیده می‌شوند.
در بررسی آماری، پرتوهای ایکس با انرژی بیشتر تعداد کمتری دارند چون احتمال وقوعشان کمتر است.

بررسی شکل



الکترون ۱ و ۲ در اطراف هسته دور زده‌اند و پرتو با انرژی کمتر از بهینه داده‌اند. انرژی پرتو ایکس از الکترون ۱ کمتر از ۲ است زیرا از هسته دورتر بوده و در مسافت بیشتری دور زده است و بخش بزرگتری از انرژی خود را صرف حرکت کرده است.

الکترون ۳ در حالت بهینه است. به محض رسیدن به حدود اتم ترمز کرده و تمام جرم آن به انرژی تبدیل شده است.

الکترون ۴ با الکترون لایه‌ای برخورد کرده و پرتو ایکس آن نه ترمزی بلکه اختصاصی است و در این بخش توضیح داده نمی‌شود.

اگر الکترون کامل ترمز کند (۳) انرژی پرتو ایکس را می‌توان از طریق فرمول $E = hf$ و اگر الکترون پراکنده شود (۱ و ۲) با $E_0 - hf$ می‌توان انرژی باقی‌مانده در آن را حساب کرد. در این فرمول انرژی پرتو ایکس تولیدی از انرژی اولیه الکترون کم شده است.

فیلتراسیون

در رادیوتراپی و رادیولوژی، بسیاری از پرتوهای تولیدی حاوی فوتون‌های کم‌انرژی و پرنفوذ هستند که نه تنها جنبه درمانی یا تشخیصی ندارند؛ بلکه با نفوذ بر سطح پوست باعث سوختگی می‌شوند.

با استفاده از مانعی مانند ورق نازک آلومینیوم که عنصری سبک است می‌توان پرتوهای کم‌انرژی را حذف کرد. دسته پرتوی فیلترشده بهینه هستند و در میانگین انرژی (در حدود یک سوم نمودار طیف فیلترشده) آنها بیشترین تعداد فوتون‌ها اتفاق می‌افتد. ماکزیم تعداد فوتون، معیار انجام انواع

تصویربرداری‌ها و درمان‌ها (ماموگرافی در 40 Kev یا تصویر شکم و لگن در $70-80\text{ Kev}$) است.

تابش ایکس فیلترشده هیچ فوتونی با انرژی کمتر از 10 کیلوالکترون‌ولت ندارد.

در رادیولوژی محدوده انرژی اختلاف پتانسیلی که با آن پرتو ایکس تولید می‌کنیم از 20 کیلوالکترون‌ولت (کمینه برای ماموگرافی) تا 150 کیلوالکترون‌ولت (بیشینه برای سیتی‌اسکن)

لامپ اشعه ایکس

در این لامپ یک محفظه خلاء وجود دارد که در دو سر آن آند و کاتد دیده می‌شود. بین این دو قطب اختلاف پتانسیل وجود دارد که باعث ایجاد شتاب در الکترون‌های ابر الکترونی تولیدشده در کاتد می‌شود. این الکترون‌ها به سمت هدف (آند) می‌رود و پرتو ایکس برمزاشرالونگ تولید می‌کند. انرژی به دست آمده توسط الکترون‌ها به دلیل اختلاف پتانسیل از فرمول $W = Q \times V$ محاسبه می‌شود.