

## انتشار اشعه ایکس

یک الکترون می تواند در لایه های اتمی جابه جا شود و یک لایه به لایه ای که هنوز پر نشده نقل مکان پیدا می کند. اگر این انتقال به لایه پائین تر باشد با آزاد شدن انرژی همراه بوده که میزان این تابش انرژی با اختلاف سطح انرژی دو لایه برابر خواهد بود. اگر این تابش انرژی شکل فوتون به خود گرفته و دارای کمیت انرژی کافی باشد. اصطلاحاً اشعه ایکس نامیده می شود. بالعکس اگر حرکت الکترون به لایه بالاتر باشد، این انتقال مستلزم جذب مقداری انرژی توسط الکترون است که مثلاً می توان با تابش اشعه ایکس به آن، این انرژی را تأمین کرد. در تولید اشعه ایکس از سه خاصیت اتمهای تنگستن در هدف لامپ مولد اشعه ایکس استفاده می شود:

1- میدان الکتریکی

2- انرژی همبستگی مدارات الکترونی

احتیاج اتم به قرار گرفتن در پائین ترین وضعیت انرژی.

### اثر متقابل اشعه ایکس و ماده

فوتون های اشعه ایکس ممکن است با الکترون های مداری یا هسته اتم ها برخورد نمایند که البته در محدوده انرژی اشعه ایکس تشخیص برخوردها غالباً با الکترون های مداری می باشد. 5 راه اصلی برای برخورد یک فوتون اشعه ایکس با ماده وجود دارد:

1. پراکندگی همسوس Coherent Scattering

2. اثر فتوالکتریک Photoelectric effect

3. پراکندگی کمپتون Compton Scattering

4. تولید جفت Pair Production

5. تجزیه توسط فوتون Photodisintegration

### 1- پراکندگی همسوس

بر خوردی است که بدون ایجاد هرگونه تغییری در طول موج پرتو، فقط جهت آن را تغییر می دهد. این برخورد به 2 صورت پراکندگی تامسون و ریلی وجود دارد.

در پراکندگی تامسون یک الکترون منفرد در برخورد شرکت می نماید و لیکن پراکندگی ریلی از برخورد مشترک با تمام الکترون های یک اتم نتیجه می گردد. در محدوده انرژی ایکس تشخیص تعداد کمی پراکندگی همسوس رخ می دهد که گرچه موجب مه آلودگی فیلم می شود ولیکن اهمیت چندانی ندارد.

### 2- اثر فتوالکتریک

در این برخورد یک فوتون تابشی با انرژی کمی بیشتر از انرژی همبستگی یک الکترون لایه  $k$  به یکی از الکترون های این مدار برخورد کرده و آن را از مدارش خارج می کند. تمام انرژی فوتون به الکترون انتقال می یابد. این الکترون به صورت فتوالکتریک در فضا رها می شود. جای خالی الکترون در لایه  $k$  توسط الکترون از لایه مجاور پر می گردد. این الکترون مداری انرژی به شکل اشعه ایکس از دست می دهد که اشعه ایکس اختصاصی گفته می شود و جزء خصوصیات هر عنصر می باشد. برخورد فتوالکتریک به دو عامل انرژی اشعه و عدد اتمی ماده جاذب بستگی دارد و از نقطه نظر کیفیت

تصویر مطلوب می باشد؛ چرا که عالی ترین کنتراست را بدون تولید میزان قابل توجهی از تشعشعات اسکتر تولید می نماید ولی متاسفانه اکسپوزر بیمار در مقایسه با سایر برخوردها بیشتر است.

### **3- پراکندگی کمپتون**

در این برخورد یک فوتون تابشی با انرژی نسبتاً بالا با یک الکترون آزاد از لایه خارجی اتم برخورد کرده و آن را از مدارش خارج می نماید. فوتون مذکور منحرف شده و در جهت جدیدی به عنوان اشعه اسکتر حرکت می نماید. تقریباً تمام اسکترها از این برخورد ناشی می شوند. احتمال وقوع یک برخورد کمپتون به میزان کل الکترون هایی که در یک جسم کاذب وجود دارد متکی می باشد. این برخورد به عدد اتمی ماده جاذب بستگی ندارد؛ ولی به هر حال تحت تأثیر انرژی پرتو و دانسیته ماده جاذب می باشد.

این دو نوع برخورد در محدوده انرژی پرتوهای ایکس تشخیصی رخ می دهند. در تولید جفت یک فوتون با انرژی زیاد تحت تأثیر نیروی هسته اتم، انرژی اش به دو ذره تبدیل شده و خود ناپدید می شود. دو ذره، یکی الکترون معمولی و دیگری پوزیترون می باشد. این برخورد با فوتون هایی که انرژیشان کمتر از  $0.511 \text{ MeV}$  می باشد رخ نمی دهد.

در تجزیه توسط فوتون، هسته یک اتم توسط یک فوتون پرا انرژی تجزیه می شود. قسمت خارج شده از هسته اتم ممکن است یک نوترون یا پروتون، ذره آلفا و یا یک دسته از ذرات باشد. فوتون می بایست انرژی کافی برای غلبه بر انرژی همبستگی هسته به میزان  $7 \text{ MeV}$  تا  $15$  را داشته باشد.

به طور کلی در انرژی های پائین برخورد فتوالکتریک متداول تر می باشد؛ در حالی که در انرژی های بالا برخورد کمپتون غالب است.

### **4.1 تولید اشعه ایکس**

هنگامی که یک جریان الکترونی با سرعت زیاد به هدف برخورد کند، شتاب خود را از دست داده و با تبدیل انرژی ایجاد اشعه ایکس می کند.

### **به طور کلی اشعه در اثر دو فرایند تولید میشوند :**

1- پدیده ترمزی در این پدیده الکترونها به دلیل انرژی جنبشی که دارند به داخل اتمهای آند وارد میشوند و تحت تأثیر میدان اتمهای سنگین هدف از مسیر اولیه منحرف شده و دارای تغییر سرعت و کاهش انرژی میشوند. این انرژی به صورت پرتو تابیده میشود. در این فرایند راندمان تولید اشعه بسیار کم و در حدود کمتر از انرژی میباشد. در این طیف ماکزیمم انرژی مربوط به الکترونی است که بیشترین انحراف را توسط هسته داشته و هیچگونه اتلافی در انرژی آن صورت نپذیرفته است. مینیمم انرژی نیز مربوط به مواد جاذب سرراه فوتون ها است که چه کسری از انرژی آنها را جذب کرده اند. قله انرژی نیز مربوط به بالاترین انرژی اعمالی به تیوب است.

2- پدیده تابش اختصاصی: در این پدیده الکترون های تابیده شده از فیلامان به الکترون های مدارهای داخلی اتم های هدف نظیر لایه های و برخورد می کنند و باعث کنده شدن این الکترون ها از مدار مربوطه می شوند و لذا در این لایه یک حفره به وجود می آید. با پُر شدن این حفره توسط الکترون های لایه های بالاتر، اختلاف انرژی دو لایه به صورت

فوتون از ماده هدف خارج می شود. طیف اختصاصی برای تنگستن که عنصر سازنده آند در لامپ های اشعه است و می باشد.

اگر شدت باریکه الکترونی را در نظر بگیریم، تولید نور و گرما خواهیم داشت. یعنی در سطح آند از انرژی اولیه باریکه الکترونی تشعشع خواهیم داشت. بعد از فیلتراسیون ذاتی که در اثر پنجره خروج تشعشع صورت می گیرد این شدت به می رسد و در صورت استفاده از فیلتراسیون افزوده این شدت، تا کاهش می یابد. اما همین در صد کم حاوی تعداد زیادی فوتون است مثلاً در یک رادیوگرافی سینه با شرایط معمول در حدود عدد فوتون وجود دارد.

تاثیر انرژی باریکه پرتو بر کیفیت تصویر نهایی: میزان معرف قدرت نفوذ پرتو در بیمار و کیفیت تصویر نهایی است. پائین باعث ایجاد کنتراست زیاد و تمایز بهتر بافت های نرم میشود. به همین دلیل در ماموگرافی از های پائین استفاده میشود. بالا باعث افزایش انرژی سیم و افزایش میزان نفوذ تشعشع در بافت و کاهش کنتراست میشود.

به طور کمی مقدار اشعه دریافتی در گیرنده تصویر با توان دوم رابطه دارد. در مورد رابطه با دانسیته تصویر یک رابطه تجربی وجود دارد. این رابطه بیان میکند که در زیر به ازای هر تغییر، اکسپوزر ما نصف یا دو برابر میشود. در مقادیر بالای این تغییر به ازای هر تغییر رخ میدهد.

### تشکیل تصویر اشعه ایکس

عامل تشکیل تصویر، تضعیف متفاوت اشعه ایکس به هنگام عبور از نواحی مختلف بدن (به دلیل اختلاف چگالی و ضریب جرمی در بافت های مختلف) است. قانون لامبرت- بیر تضعیف اشعه ایکس را این گونه بیان می کند:

$$I(z) = I_0 \exp(-\mu pz)$$

شدت I(z) =  
ایکس شدت اولیه اشعه I<sub>0</sub> =  
ضریب تضعیف خطی μ =  
چگالی P =  
فاصله بین صفحه منبع و صفحه اندازه گیری Z =

در این رابطه مولد میدان اشعه ایکس یک منبع تک انرژی اشعه ایکس است. ضریب تضعیف وابسته به انرژی فوتون منبع و عدد اتمی عناصر بافت است. در محدوده تشخیص (زیر 200 keV سه روش برای تضعیف اشعه ایکس مورد استفاده قرار می گیرد:

1- پراکندگی همدوس، 2- جذب فوتوالکتریک و 3- کامپتون.

• پراکندگی رایلی (همدوس):

به دلیل انحراف باریکه های اشعه ایکس است که از تحریک اتمها (به خاطر پرتو تابنده) و گسیل مجدد امواج نتیجه می شود و در انرژی های کم (زیر 50 keV رخ می دهد. • جذب فوتوالکتریک:

فوتون اشعه ایکس با جدانشدن یک الکترون با پیوند محکم جذب می شود. انرژی جنبشی

الکترون به صورت گرما پراکنده می شود و الکترونی از لایه مجاور به جای خالی ایجاد شده می آید. حرکت الکترون با تشعشع فلئورسنت همراه است. ضریب تضعیف جرمی در این جا متناسب با توان سوم  $Z$  است و در انرژی های فوتونی بین 20 تا 50 keV رخ می دهد.

• پراکندگی ناشی از اثر کامپتون:

به علت برخورد بین فوتون اشعه ایکس با یک الکترون آزاد یا با الکترون یک لایه خارجی که پیوند ضعیف تری دارد ایجاد می شود و این برخورد باعث تغییر جهت و کم شدن افت انرژی اشعه ایکس و پراکندگی الکترون است. این پراکندگی اثر مهم در تخریب تصویر دارد و در انرژی های بین 50 keV تا 200 keV رخ می دهد. اثر فوتوالکتریک در موادی با عدد اتمی پائین و انرژی کم غالب است. پراکندگی کامپتون در انرژیهای بالا غالب است.

تفاوت در ضریب تضعیف جرمی کنترل کننده تشکیل تصویر در رادیولوژی است. برای یافتن یک استخوان شکسته در انرژی های فوتونی متوسط (50 تا 70 keV) کار می شود تا اختلاف ضریب تضعیف استخوان و بافت نرم قابل مشاهده باشد. با توجه به قانون لامبرت-بیر استخوان بسیار بیشتر از بافت نرم اشعه ایکس را جذب می کند. این تفاوتها را با محیط کنتراستی می توان افزایش داد. دو محیط کنتراست مثبت و منفی داریم. محیط کنتراست منفی چگالی و تضعیف جرمی بیشتری دارد. مثل دی اکسیدکربن و هوا (بطن نگاری). در محیط کنتراست مثبت عدد اتمی بالا داریم مثل باریم و ید (آنژیوگرافی).