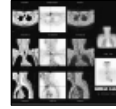


## تولید اشعه X، تیوب اشعه X و

## ژنراتورها



برخورد الکترون ها است. زمانی که الکترون ها از کاتد به سوی آند حرکت می کنند ، توسط اختلاف پتانسیلی که بین الکترودها برقرار است ، شتاب می گیرند و انرژی می گیرند.

انرژی جنبشی ای که الکترون می گیرد با اختلاف پتانسیل بین آند و کاتد متناسب است. برای مثال ، انرژی الکترون های شتاب داده شده با اختلاف پتانسیلهای  $200-100 \text{ KeV}$  ، به ترتیب  $20-100 \text{ KVP}$  هستند.

در برخورد با هدف ، انرژی جنبشی الکترون ها به شکل های دیگر انرژی تبدیل می شوند. تعداد زیادی از برخوردها از طریق تبادل انرژی با برخوردهای جزئی موجب تولید گرمای ناخواسته می شود. این حرارت شدید ، شمار فوتون های اشعه X ای که در یک زمان مشخص بدون تخریب هدف حاصل می شوند ، را محدود می کند.

در حدود  $0.5\%$  از زمان ، الکترون تا نزدیکی هسته باردار مثبت الکترودهای هدف پیشروی می کند. نیروی کولنی الکترون را منحرف می کند و از سرعت آن می کاهد که این موجب کاهش قابل توجهی در انرژی جنبشی الکترون می شود. در نتیجه فوتون اشعه X با انرژی ی برابر با انرژی از دست رفته الکترون بوجود می آید. این تابش ترمزی ( $\text{Bremsstrahlung}$ ) نامیده می شود.

فاصله میان الکترون تا هسته ، تعیین کننده میزان کاهش انرژی الکترون در فرآیند تابش ترمزی می باشد ، زیرا نیروی جاذبه کولنی با معکوس مجذور فاصله برهمکنش متناسب است. در فاصله های نسبتاً طولانی از هسته ، نیروی جاذبه کولنی ضعیف است و در نتیجه پرتوهای X کم انرژی تولید می شوند. برای فاصله های نزدیکتر ، نیروی مؤثر بر الکترون افزایش می یابد که

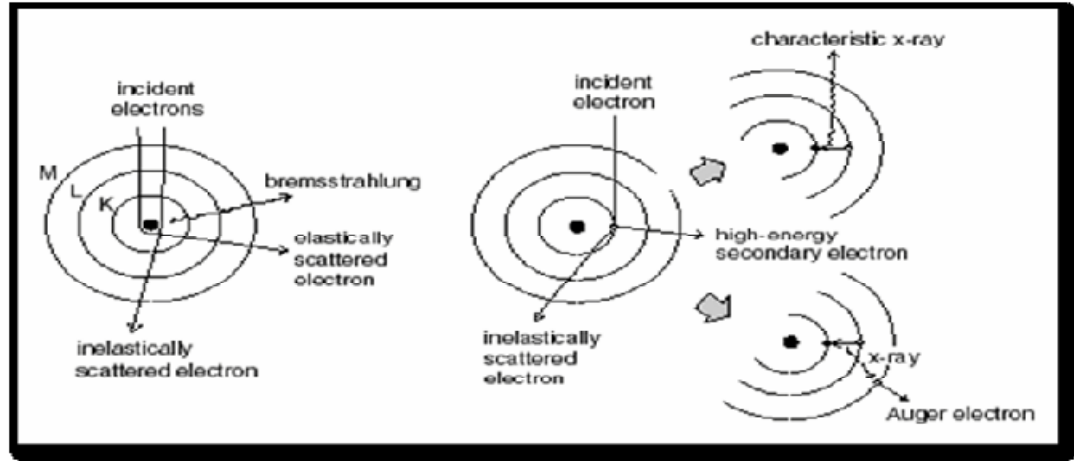
زمانی که الکترون های پر انرژی با ماده واکنش می دهند و انرژی جنبشی خود را به امواج الکترومغناطیس تبدیل می کنند ، اشعه X تولید می شود. وسیله ای که این فرآیند را انجام می دهد از منبع تولید الکترون ، مسیر خلأ مانند ؛ برای حرکت الکترون ها ، الکترودهای هدف و یک منبع خارجی انرژی برای شتاب دادن الکترون ها تشکیل شده است.

به طور مخصوص ، تیوب اشعه X از منبع الکترونی و الکترودهای هدف ، که در یک محفظه شیشه ای یا فلزی که فضای خلأ مانند دارد ، تشکیل شده است. در بیرون این محفظه ، حفاظ و حمام روغن خنک کننده ای وجود دارد. کلیاتورها میدان اشعه X را تعریف می کنند.

ژنراتور ، منبع انرژی ای است که تأمین کننده ولتاژ برای شتاب دادن به الکترون ها است. همچنین ژنراتور خروجی اشعه X را از طریق انتخاب ولتاژ ، جریان و زمان تابش کنترل می کند. کارکرد این اجزاء در کنار یکدیگر موجب تولید دسته ای از فوتون های اشعه X با شدت مناسب ، قابلیت نفوذ مطلوب و با توزیع مکانی مورد نظر می شوند.

## تولید اشعه X

**تابش ترمزی:** تبدیل انرژی جنبشی الکترون به امواج الکترومغناطیسی موجب تولید اشعه X می شود. ولتاژ بالایی در محفظه خلأ گونه بین دو الکترودهای آند و کاتد اعمال می شود. کاتد بار منفی دارد و منبع تولید الکترون ها است. آند بار مثبت دارد و هدف مورد



پتانسیل اعمال شده تعیین می شود ( می باشند. نسبت تقریبی انرژی تلف شده از طریق تولید اشعه ترمزی به انرژی ای که در اثر برخورد الکترون به ماده هدف ( که موجب یونش یا برانگیزش می شود ) تلف می شود را ، از رابطه زیر بدست می آورند.

$$\frac{E_k Z}{820,000} \approx \text{atلاف انرژی به صورت تابش از طریق برخورد}$$

که  $E_k$  انرژی جنبشی الکترون بر حسب KeV و  $Z$  ، عدد اتمی ماده جاذب می باشد. برای الکترون های ۱۰۰ KeV که با هدف تنگستنی برخورد می کنند ، این نسبت ۰/۹۹٪ است. به این معنا که بیشتر از ۹۹٪ انرژی الکترون موجب تولید گرما می شود. اما با افزایش انرژی الکترون فرودی ( برای مثال در سطح انرژی های پرتو درمانی ) ، بازه تولید اشعه X افزایش می یابد. به طور مثال ، برای الکترون های ۶ MeV کسر تولید اشعه X نسبت به اتلاف انرژی از طریق برخورد ، حدوداً



موجب انحراف بیشتر الکترون و اتلاف بیشتر انرژی آن می شود و در نتیجه پرتوهای X پرا انرژی تری تولید می شوند. برخورد مستقیم الکترون با هسته هدف موجب از دست رفتن تمام انرژی الکترون و در نتیجه تولید پرا انرژی ترین پرتو های X است. احتمال برخورد مستقیم یک الکترون با یک هسته ، بی نهایت کم است ؛ زیرا در مقیاس اتمی ، بیشتر اتم را فضای خالی تشکیل می دهد و سطح مقطع هسته ای ، بسیار کوچک می باشد. بنابراین ، پرتوهای X کم انرژی از فراوانی بیشتری برخوردار می باشند و شمار پرتوهای X پرا انرژی تقریباً به طور خطی تا انرژی ماکزیم الکترون ها کاهش می یابد. طیف تابش ترمزی ، توزیع فوتون های اشعه X را بر اساس انرژی شان نمایش می دهد. طیف فیلتر نشده اشعه X ، رابطه خطی بین شمار و انرژی اشعه X تولید شده را ، همراه با پرا انرژی ترین پرتوهای X که به کمک ولتاژ پیکی (KVP) که به تیوب اشعه X اعمال می شود را نشان می دهد. طیف فیلتر شده تابش ترمزی ، توزیع پرتوهای X بالاتر از انرژی KeV ۱۰ را نشان می دهد. توسط فیلتر کردن ، اشعه های X کم انرژی جذب می شوند و انرژی میانگین پرتوهای X در حدود  $\frac{1}{3}$  تا  $\frac{1}{2}$  پرا انرژی ترین اشعه X در این طیف می باشد.

فاکتورهای مهمی که بر بازده تولید پرتوهای X تأثیر می گذارند ، شامل عدد اتمی ماده هدف و انرژی جنبشی الکترون های تابش شده ( که با اختلاف

تشخیصی، از فضاهای خالی در لایه K که با الکترونها لایه های L و M و N پر می شوند. حتی الکترونها آزاد بیرون از اتم نیز احتمال اندکی برای پر کردن فضای خالی الکترون ها دارند. اشعه های X مشخصه ای که در اثر انتقال الکترون ها به لایه ای غیر از K تشکیل می شوند، اهمیتی در تصویربرداری تشخیصی ندارند؛ زیرا آنها تقریباً به کلی توسط شیشه تیوب اشعه X یا فیلتر اضافی جذب می شوند. اختلاف پتانسیل اعمال شده برای هدف های تنگستن باید بیشتر از ۶۹,۵ KVP و برای هدف های مولیبدنی باید از ۲۰ KVP بیشتر باشد تا اشعه X مشخصه لایه K تولید شود. پرتوی X مشخصه بیشتری متناسب با افزایش انرژی الکترون فرودی از انرژی آستانه تولید اشعه X مشخصه، نسبت به تابش ترمزی تولید می شود. برای مثال در ۸۰ KVP تقریباً ۵٪ خروجی کل پرتوی X در تیوبی که هدف آن تنگستن است را پرتوی X مشخصه تشکیل می دهد، در حالیکه این مقدار در ۱۰۰ KVP به ۱۰٪ افزایش می یابد.

تولید اشعه X مشخصه در یک تیوب اشعه X تقریباً به طور کلی، نتیجه برهمکنش الکترون-الکترون است. اما برهمکنش پرتوی X حاصل از تابش ترمزی با الکترون از طریق فرآیند فوتوالکتریک نیز منجر به تولید اشعه X مشخصه می شود.

۵۴٪ می شود که نشان می دهنده این است که گرمای تولید شده بیش از حد، در انرژی های بالاتر کمتر مشکل ایجاد می کند.

## طیف اشعه X مشخصه

هر الکترون در اتم هدف انرژی پیوندی ای دارد که وابسته به لایه ای است که در آن قرار دارد. در لایه K که نزدیکترین لایه به هسته می باشد دو الکترون وجود دارد که بیشترین انرژی پیوندی را دارا می باشند. زمانی که انرژی الکترون فرودی بر هدف، از انرژی پیوندی الکترون اتم هدف بیشتر باشد، امکان این وجود دارد که در برخورد، الکترون از اتم جدا شود و اتم یونیزه شود. لایه پرنشده بی ثباتی انرژی دارد به همین سبب الکترونی با انرژی پیوندی کمتر از لایه ای خارجی، جای خالی را پر می کند. با انتقال الکترون به سطح انرژی کمتر، انرژی اضافه می تواند به صورت فوتون های اشعه X مشخصه با انرژی ای معادل اختلاف انرژی پیوندی دو لایه الکترونی از اتم خارج شود. انرژی های پیوندی برای هر عنصری یکتاست، به همین ترتیب اختلافشان نیز یکتاست. در نتیجه اشعه X خارج شده، انرژی های گسسته ای که مشخصه هر عنصر و مخصوص آن است، دارا می باشد. بسیاری از انتقال های الکترونی می تواند از لایه های نزدیک و یا دور در اتم صورت گیرد که باعث پدیدار شدن پیک های انرژی گسسته بر طیف پیوسته انرژی تابش ترمزی می شود. رایج ترین پرتوهای X مشخصه در بازه انرژی

ادامه دارد

