بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی
دانشکده مهندسی و علم مواد

روش های پیشرفته مطالعه مواد و آزمایشگاه

جلسه ششم

(برهم کنش الکترون با نمونه)

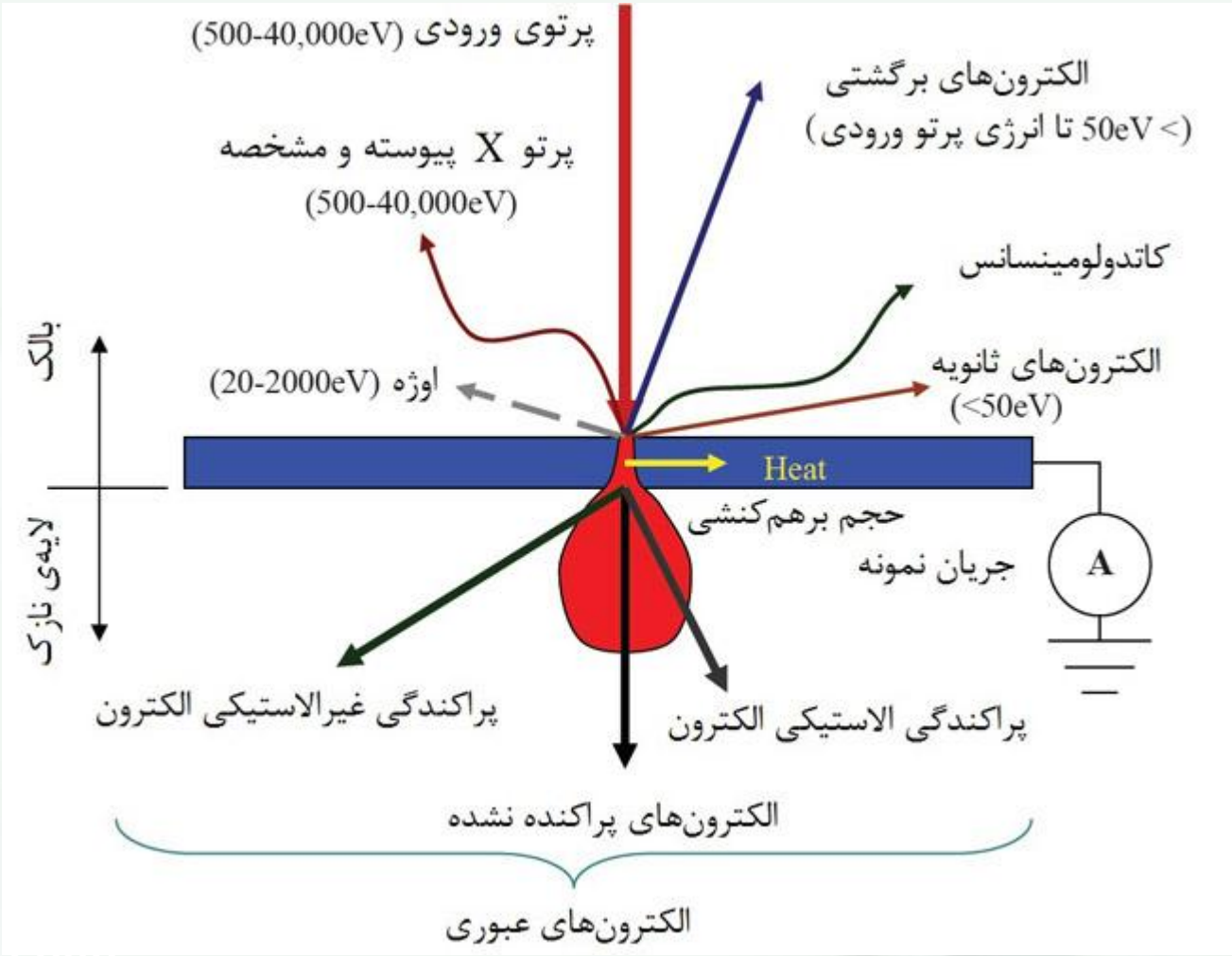
دکتر رضا اسلامی فارسانی

بر هم کنش الکترون با نمونه

- منظور از بر هم کنش الکترون با نمونه، محصولات یا سیگنال های برخورد الکترون با جسم است.
- در اثر برخورد باریکه الکترونی با سطح اجسام، پدیده های مختلفی روی می دهد که هر یک اطلاعات ارزشمندی به همراه دارد.
- این اطلاعات می تواند درباره ترکیب نمونه، ناهمواری های سطح آن، ساختار بلورین و ویژگی های دیگری از ماده باشد.

برهم کنش الکترون با نمونه

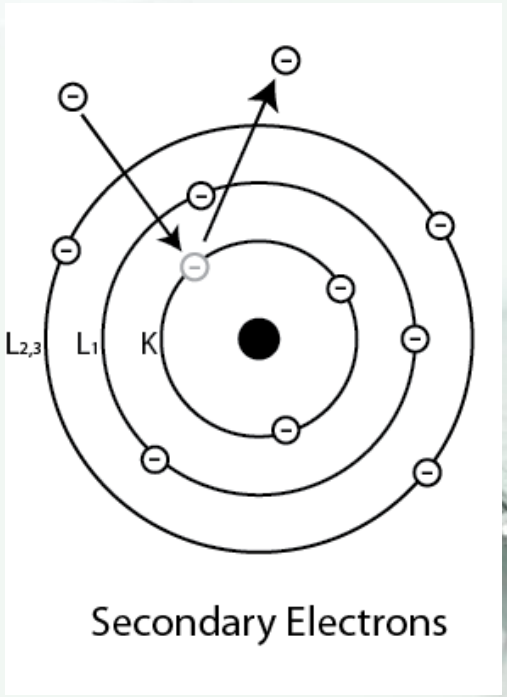
سیگنال های ایجاد شده در اثر برخورد پرتو الکترونی با نمونه



الکترون های ثانویه

باریکه الکترون پس از برخورد به سطح ممکن است به داخل ساختار نفوذ کرده و سبب خروج الکترون از اتم های سطحی شوند که الکترون های ثانویه نامیده می شوند.

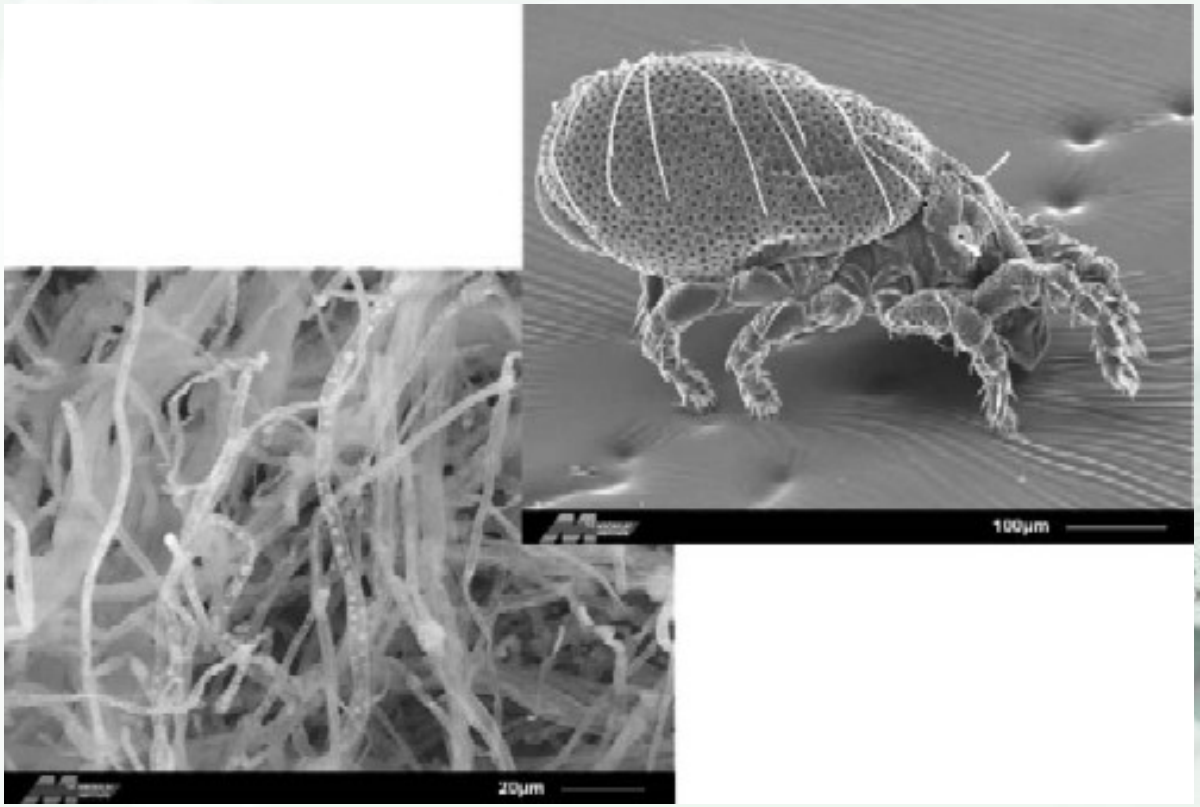
(Secondary Electrons)



Secondary Electrons

الکترون های ثانویه

- خروج الکترون ها از لایه های الکترونی خارجی اتم (لایه ظرفیت) صورت می گیرد و انرژی کمی دارند (کمتر از 50 الکترون- ولت).
- تصویر تشکیل شده از الکترون های ثانویه برای بررسی توپوگرافی سطح (شکست نگاری) مناسب است.



الکترون های ثانویه

- عمق اطلاعات حاصل از الکترون های ثانویه حدود 5-50 نانومتر است.
- در مواردی این الکترون ها را الکترون های ثانویه کم سرعت نیز می نامند.

Slow Secondary Electrons (SSE)

- اگر باریکه الکترونی، الکترون ها را از مدارهای داخلی اتم جدا سازد، الکترون های خروجی دارای انرژی و سرعت بالایی بوده و می توانند انرژی حدود 50-300 الکترون ولت داشته باشند.

- این الکترون ها کاربرد خاصی در میکروسکوپ های الکترونی نداشته و حتی می توانند در آنالیز به روش X-Ray اختلال ایجاد کنند.

الکترون های برگشتی

- برخی الکترون های اولیه می توانند پیش از آن که تمام انرژی خود از دست دهند، از سطح نمونه منعکس شده و خارج شوند. احتمال خروج آنها در زمانی که هنوز انرژی زیادی از دست نداده اند، بسیار زیادتر است.

Back-Scattered Electrons

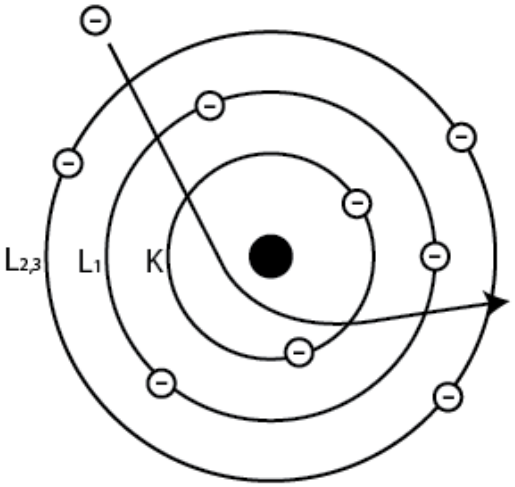
- این الکترون ها کمتر از الکترون های ثانویه بوده، ولی انرژی زیادی دارند و برای تصویرسازی، پراش و آنالیز در SEM مورد استفاده قرار می گیرند.

- با توجه به انرژی زیاد، این الکترون ها می توانند از عمق های زیاد هم خارج شوند.

الکترون های برگشتی

- عمق اطلاعات توسط الکترون های برگشتی، 5-2 میکرون است.
- این الکترون ها را الکترون های ثانویه سریع نیز می گویند.

Fast Secondary Electrons (FSE)



Backscattered Electrons

الکترون های اوژه

Auger Electrons

- اگر در اثر تابش الکترون به نمونه، الکترونی از اتم بیرون انداخته شود، اتم در حالت تهییج شده پر انرژی قرار می گیرد. در ادامه جای خالی الکترون پر شده و اتم به حالت تعادل و آرامش می رسد و انرژی اضافی آن به صورت اثر ثانویه آزاد می شود.

- اگر جای خالی در مدار داخلی تر باشد، انرژی آزاد شده بیشتر است و می تواند پرتو ایکس مشخصه و یا الکترون اوژه (اوژر یا اوجر) مشخصه منتشر شود.

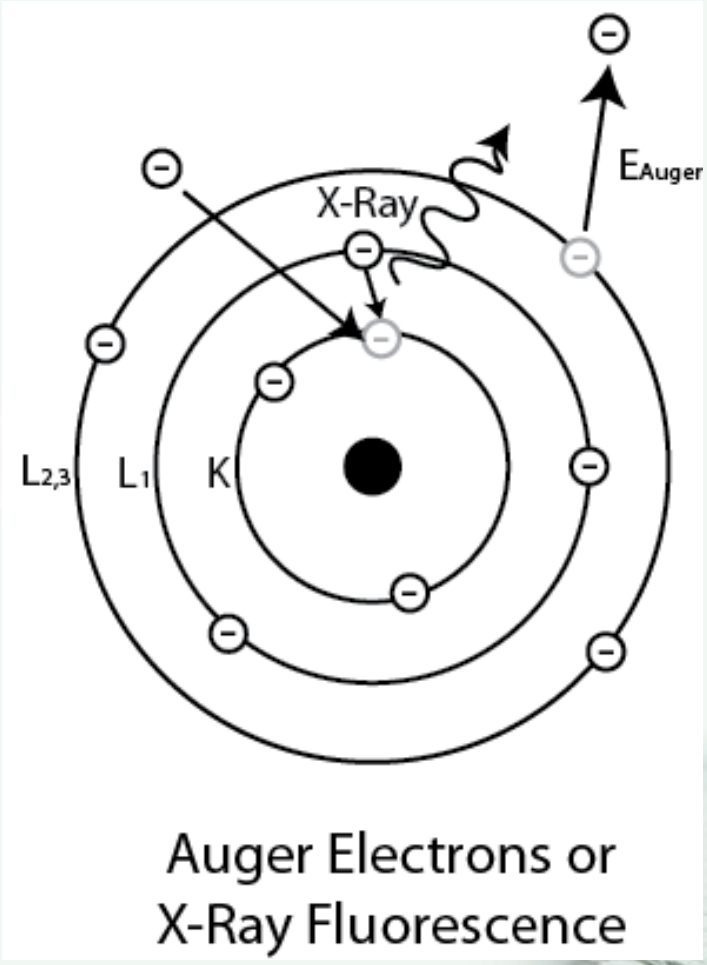
الکترون های اوژه

ممکن است به جای انتشار پرتو ایکس، الکترونی از مدار خارجی به بیرون پرتاب شود که این انرژی اضافی را به صورت انرژی جنبشی با خود حمل می کند. این فرآیند، انتشار اوژه نامیده می شود.

در این حالت چهار الکترون نقش دارند:

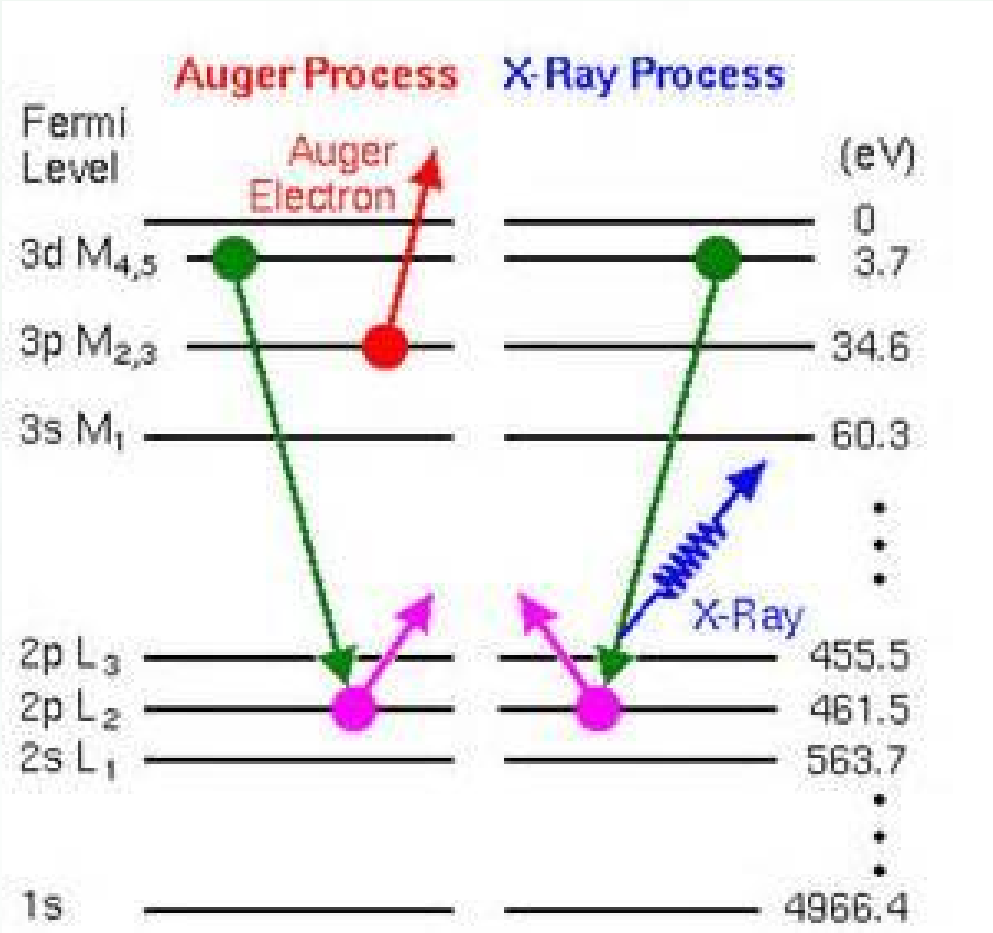
- الکترون اولیه (که الکترونی را از مدار داخلی خارج می کند)
- الکترونی که از مدار خارج می شود
- الکترونی که جای خالی آن را پر می کند و
- الکترون دیگر از مدار خارجی که به همراه انرژی اضافی، اتم را ترک می کند (الکترون اوژه).

الکترون اوژه و اشعه X مشخصه



Auger Electrons or
X-Ray Fluorescence

الکترون اوژه و اشعه X مشخصه

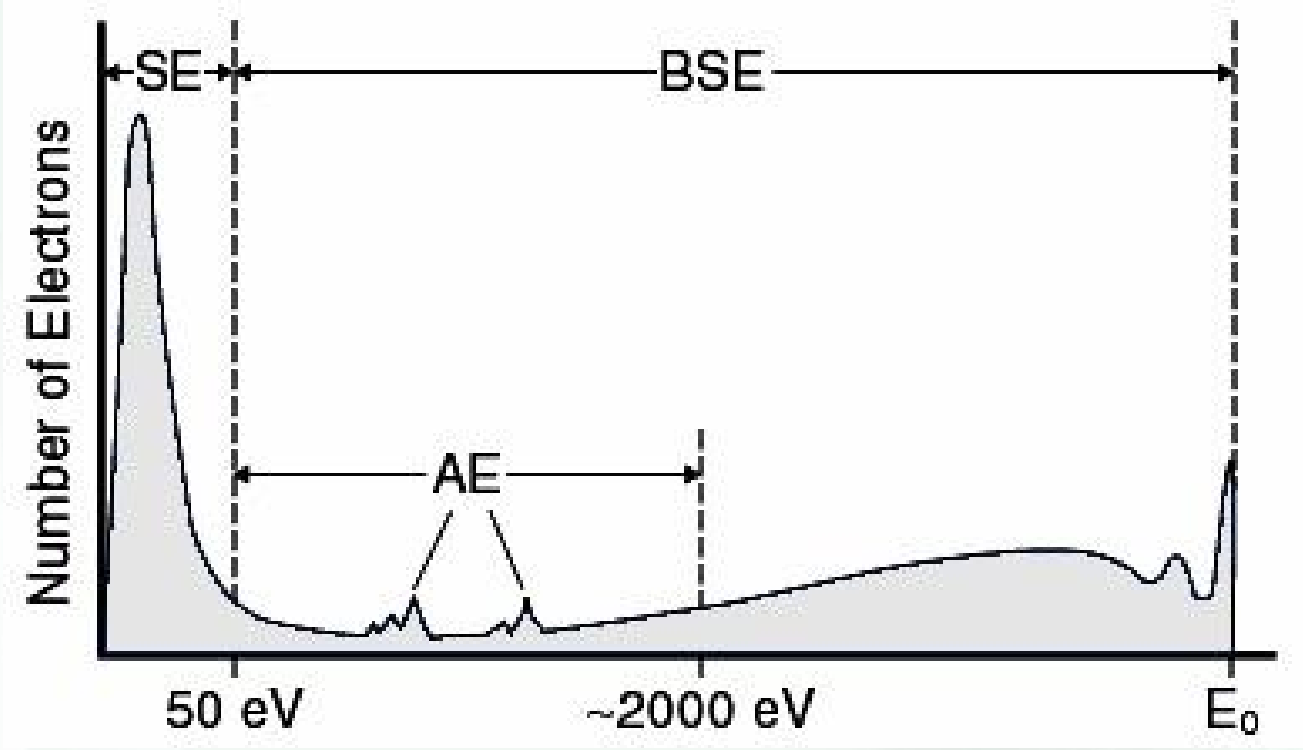


الکترون اوژه

- اندازه گیری انرژی الکترون های اوژه مشخصه، اساس طیف نگاری الکترون اوژه را تشکیل می دهد. انرژی این الکترون ها بسیار کم بوده و تنها می توانند از لایه های کاملاً سطحی (1 نانومتر)، نظیر لایه های اکسیدی و یا پوششی، خارج شوند.
- احتمال اتفاق افتادن انتشار الکترون اوژه و پرتو ایکس مشخصه در یک ماده یکسان نیست.

برای عناصر سبک (با عدد اتمی کوچک)، تعداد الکترون های اوژه منتشر شده بسیار بیشتر از پرتو ایکس است و برای اتم های سنگین (با عدد اتمی بیشتر) کاملاً برعکس است.

فراوانی نسبی سه نوع انتشار الکترونی



طیف مشخصه و پیوسته اشعه X

طیف مشخصه

- اگر الکترون از مدار خارجی به جای خالی در مدار داخلی بپرد، انرژی پرتو ایکس معادل اختلاف انرژی اتم در این دو حالت تهییج شده است که مشخصه آن اتم است.

- به عبارتی انرژی ها و طول موج های اشعه ایکس حاصله برای هر نوع اتم متفاوت بوده و با سنجش آنها می توان نوع عناصر در نمونه مورد بررسی را تشخیص داد.

طیف مشخصه و پیوسته اشعه X

طیف پیوسته (سفید یا تشعشع ترمزی)

- الکترون های اولیه می توانند بدون بیرون انداختن الکترونی از مدار داخلی نیز پرتو ایکس تولید کنند. در این حالت الکترون می تواند هر مقدار انرژی (تا حد تمام انرژی جنبشی خود) را از دست بدهد و این انرژی، پرتو ایکس تولید کند که این پرتو ایکس دیگر مشخصه یک اتم خاص نخواهد بود و دارای محدوده طول موج است.

- الکترون های مذکور نیز اگر از همان سطح ورودی خارج شوند، الکترون های برگشتی هستند

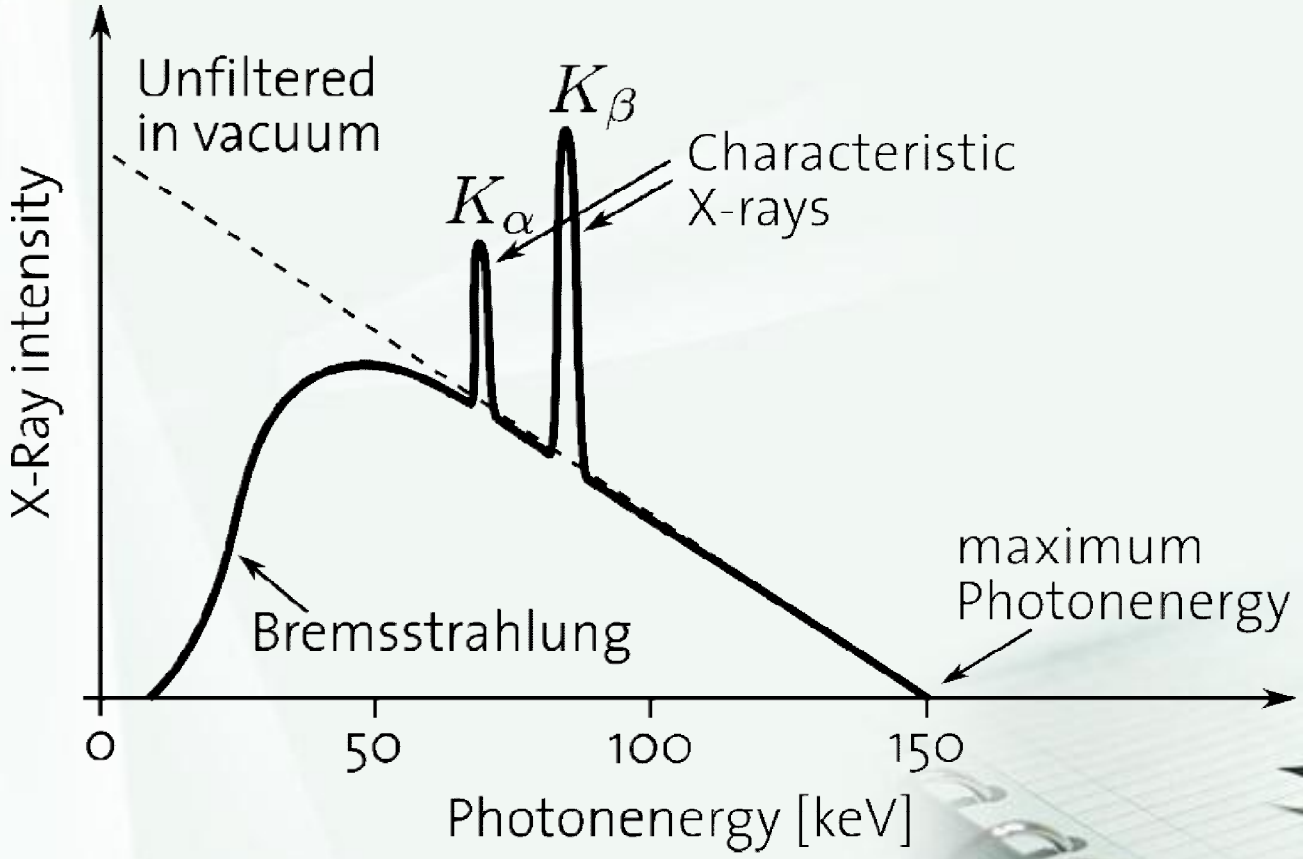
طیف مشخصه و پیوسته اشعه X

طیف پیوسته (سفید یا تشعشع ترمزی)

- فرآیند تولید اشعه ایکس پیوسته، Bremsstrahlung (معادل آلمانی Braking Radiation) نام دارد.
- این فرآیند سبب ایجاد زمینه پرتو ایکس با طیف سفید (پیوسته) در طیف پرتو ایکس مشخصه بوجود آمده توسط الکترون می شود.

طیف مشخصه و پیوسته اشعه X

یک طیف معمول که شامل تابش مشخصه و طیف سفید اشعه X است



پدیده کاتدولومینسانس

Cathodoluminescence (Visible Light)

- اگر جای خالی الکترون در مدار خارجی باشد، انرژی آزاد شده کم است و معمولاً به صورت فوتون منتشر می شود که می تواند در محدوده نور مرئی باشد. این اثر کاتدولومینسانس نامیده می شود.
- چون اختلاف انرژی آزاد شده در این حالت کم است در حد ساطع شدن نور مرئی است.

الکترون های عبوری

بخشی از الکترون های تابیده شده به نمونه از فضای داخلی ماده در راستای ضخامت نمونه عبور می کنند. این الکترون ها می توانند در همان راستای تابش بوده و یا منحرف شده باشند. هر چه ضخامت نمونه کمتر باشد، احتمال و میزان عبور پرتو الکترونی بیشتر است. این اشعه عبوری نیز برای بررسی های میکروسکوپی و ساختاری ماده بکار می رود.

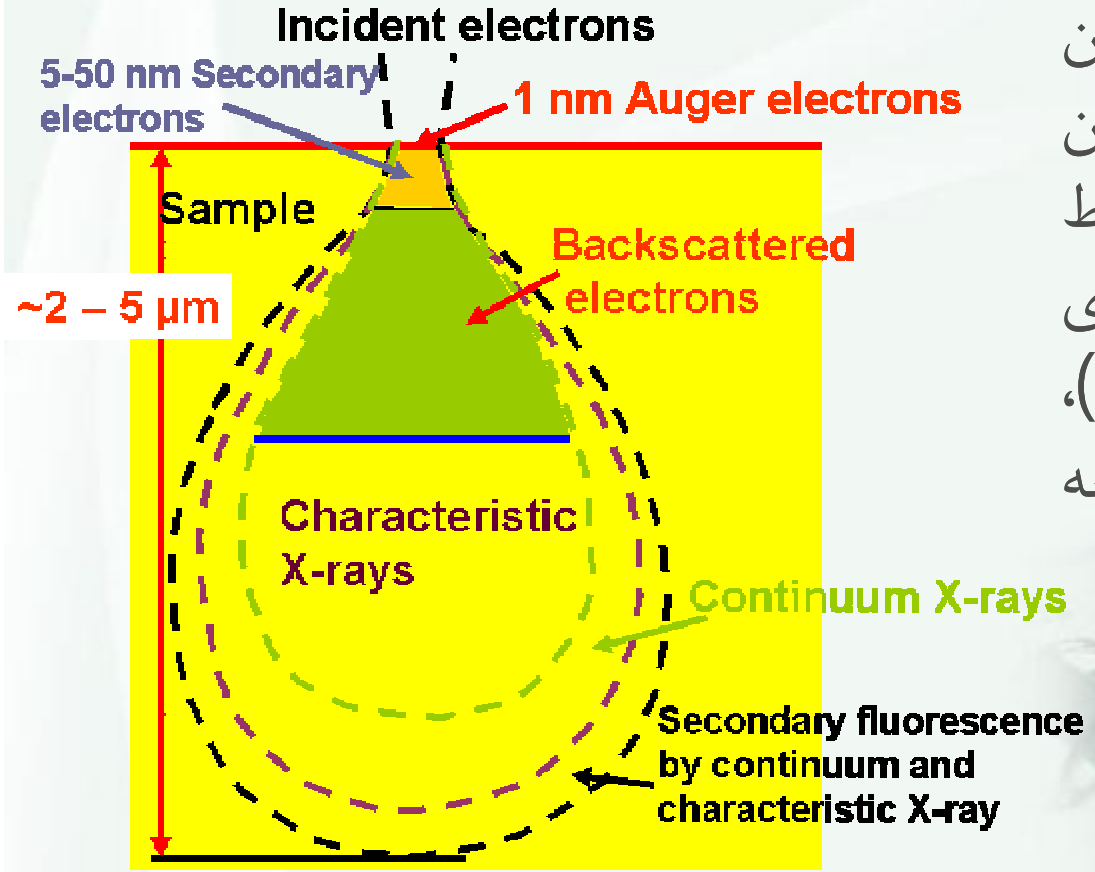
جریان های الکتریکی و گرما

در اثر تجمع الکترون های باریکه بر روی سطح نمونه، جریان های الکتریکی بر روی سطح ایجاد می شوند.

در اثر برخورد پرتو الکترونی با نمونه، بخشی از انرژی آن صرف تولید گرما می شود.

گلابی تفرق

شکل زیر نشان دهنده حجم واکنش و مناطقی است که الکترون های ثانویه، برگشتی، پرتو ایکس و الکترون های اوژه می توانند آشکار شوند.



اشعه X مشخصه و همچنین پیوسته می توانند با همان مکانیسم تولید اشعه ایکس توسط الکترون (برخورد به مدارهای الکترونی، کندن الکترون و ...)، خود اشعه X تولید کنند که اشعه X فلورسانت ثانویه نام دارد.