دانشکده مهندسی نساجی – دانشگاه صنعتی اصفهان

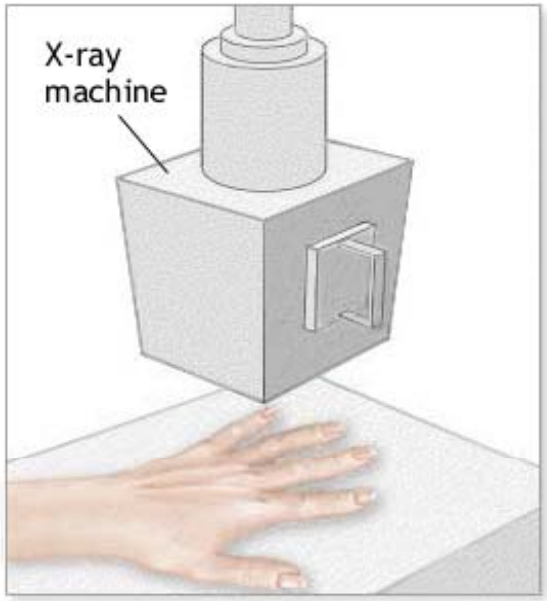
ساختمان فیزیکی الیاف

دکتر مصطفی یوسفی

X-Ray

X-ray and X-ray Diffraction

پرتو ایکس توسط رونتگن در سال ۱۸۹۵ کشف شد.
پراش پرتو ایکس توسط W H Bragg و W L Bragg در سال ۱۹۱۲ کشف شد.



A.D.A.M.

Photograph of the hand of an old man using X-ray.

پرتو ایکس– معرفی

- کاشف: سال ۱۸۹۵ توسط دانشمند آلمانی به نام رونتگن.
- ویژگی ها: نامرئی- به خط مستقیم منتشر میشود - برکاغذ عکاسی اثر میگذارد - قدرت نفوذ زیادی دارد.
- در رادیو گرافی : Radiographyاز اجسام متراکم کمتر و از اجسام رقیق بیشتر عبور میکند
- در سال ۱۹۱۲ ماهیت موجی بودن و پراش آن شناخته شد.
- روش پراش محدوده 10^{-9} سانتیمتر و در رادیو گرافی در محدوده ۰.۱ سانتیمتر شناسائی میکند.

خواص پرتو ایکس

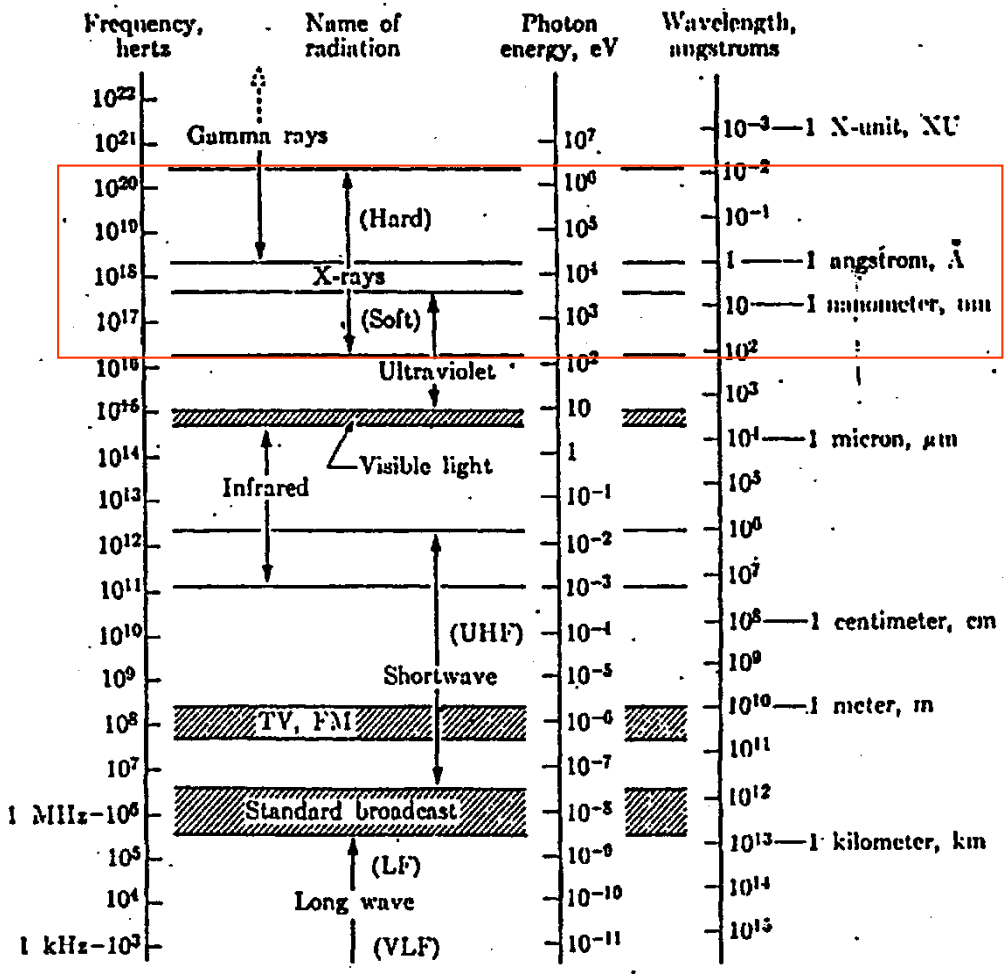
- پرتو ایکس امواج الکترومغناطیس با طول موج بسیار کوتاه می باشند.

($\approx 10^{-8}$ -10^{-12} m)

- انرژی پرتو ایکس از رابطه زیر محاسبه می شود.

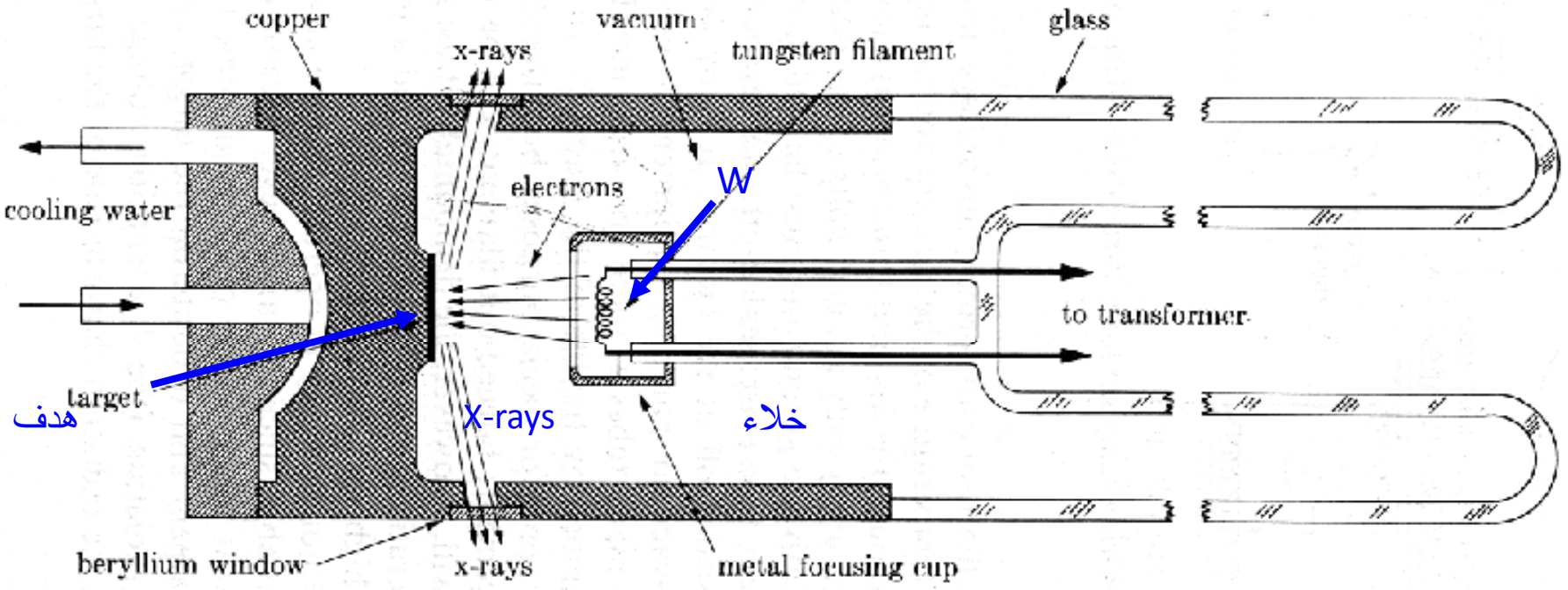
$$E = h\nu = hc/\lambda$$

- به عنوان مثال فوتون پرتو ایکس با طول موج ۱Å دارای انرژی ۱۲.۵KeV می باشد.

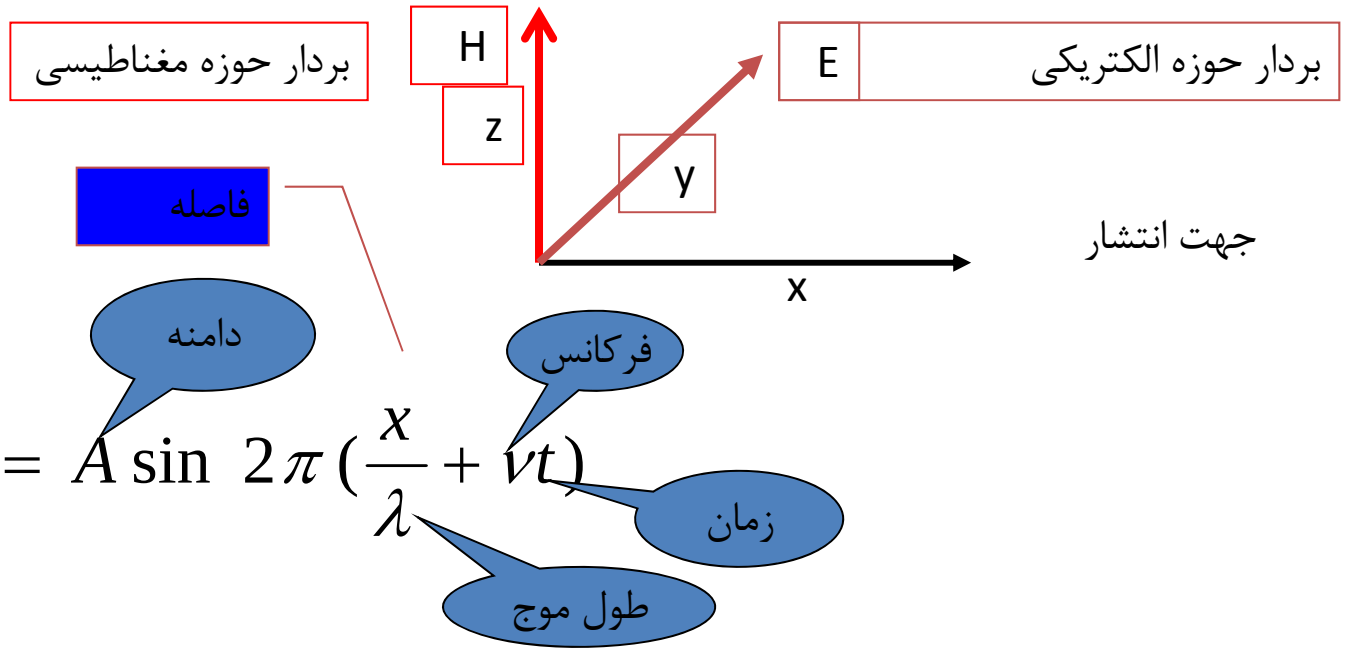


تولید پرتو ایکس

یک لامپ تولید پرتو ایکس

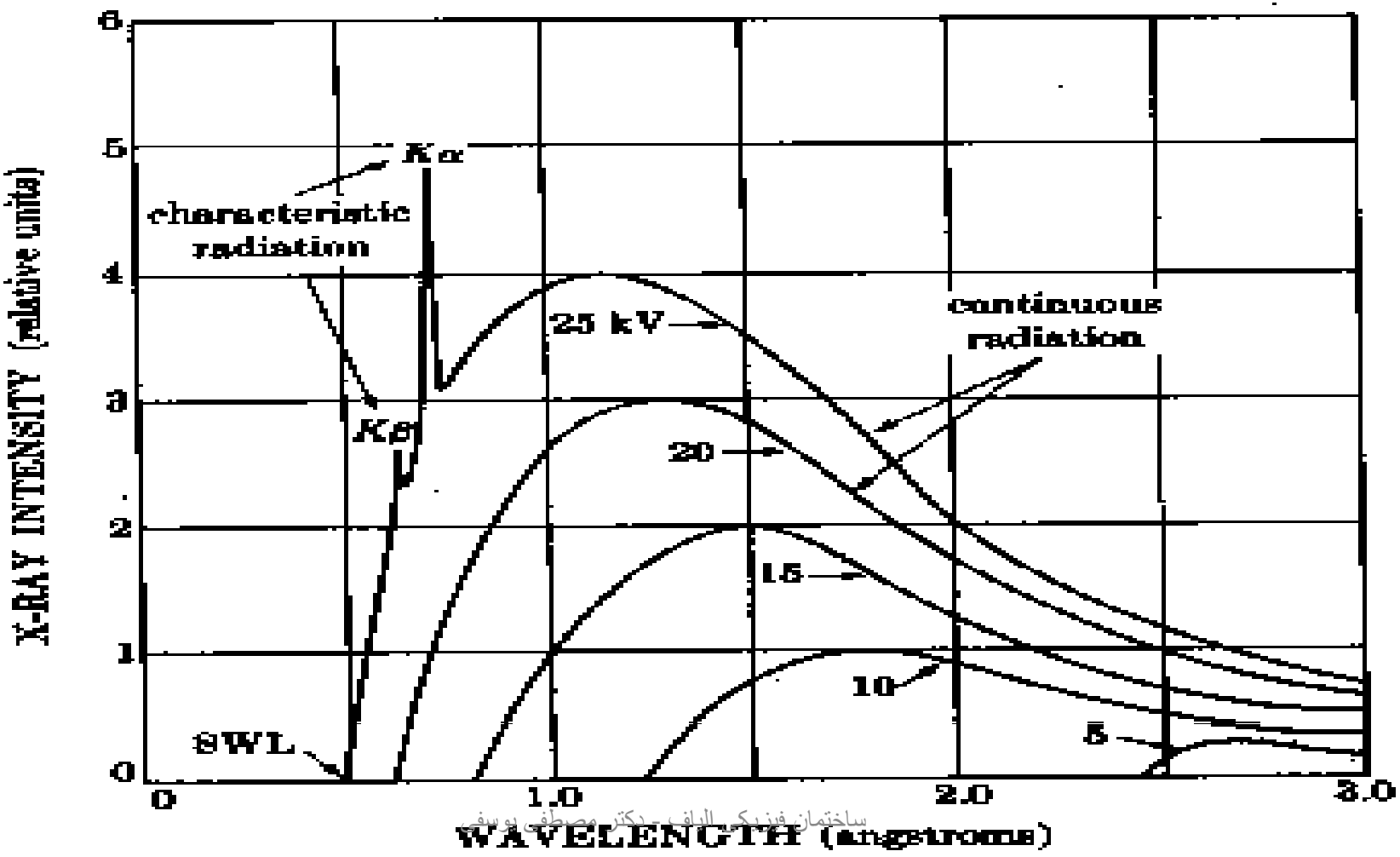


هنگامی که الکترون های پرسرعت به هدف فلزی برخورد می کنند، پرتو ایکس بوجود می آید.
منبع تولید الکترون ها یک فیلامنت داغ تنگستن (W) می باشد.
اختلاف پتانسیل بالا (30-50kV) بین کاتد (W) و آند یا هدف فلزی موجود می باشد.
فلز هدف یا آند توسط آب خنک می شود.
داخل تیوب خلاء می باشد تا انرژی جنبشی الکترون ها در اثر برخورد به مولکول های هوا کم نشود.

- طول موج پرتو ایکس بین ۰.۰۱ تا ۱۰۰ آنگستروم می باشد. طول موج ۰.۰۱ تا ۷ آنگسترم پرتو ایکس سخت و از ۷ تا ۱۰۰آنگسترم پرتوایکس نرم نامیده میشود.
- پرتو ایکس یک موج الکترومغناطیسی electromagnetic دارای خواص موجی و ذره ایست.
- 

ذره بار دار شتاب دار انرژی ساطع میکند.....هرگاه ذره بارداری(معمولاً الکترون) که دارای انرژی جنبشی کافی است متوقف گردد، مقداری از انرژی خودرا به صورت پرتو ایکس ساطع میکند

طیف پرتو ایکس حاصل ازهدف مولیبدون در ولتاژ های متفاوت



ساختمان فیزیک الیافی - دکتر مصطفی یوسفی

طیف پرتو ایکس

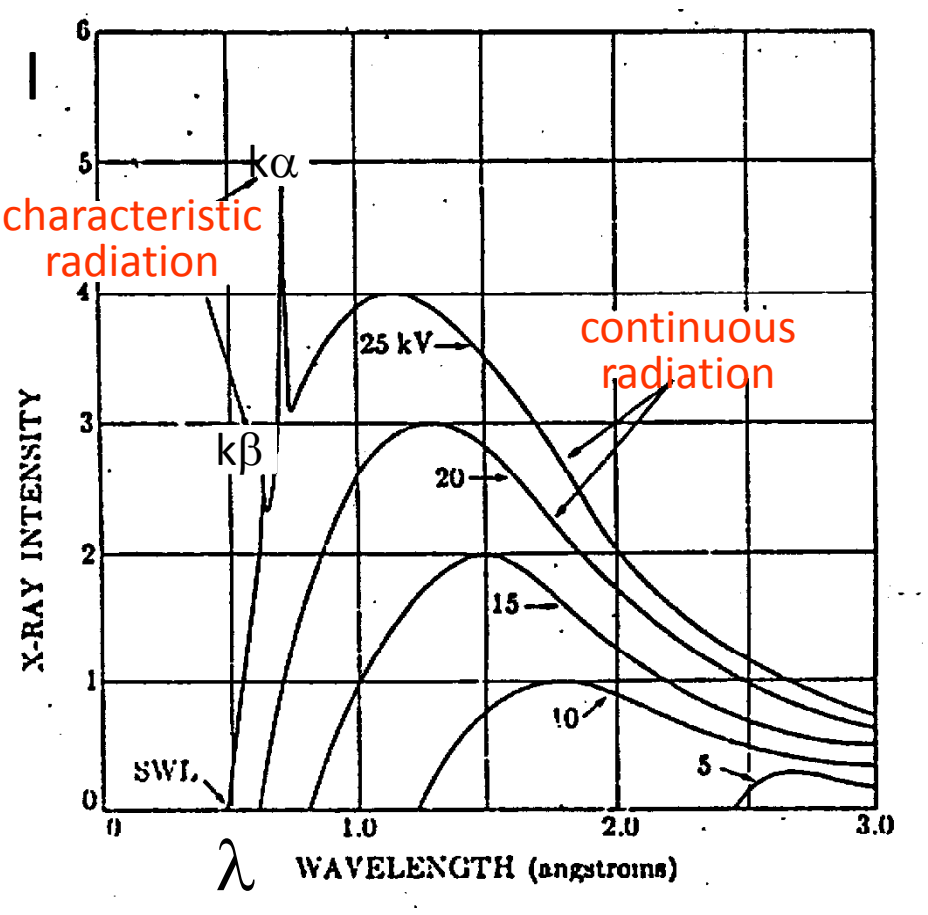
طیف پرتو ایکس دارای دو جزء می باشد:

طیف پیوسته

continuous spectrum

طیف مشخصه

characteristic spectrum.

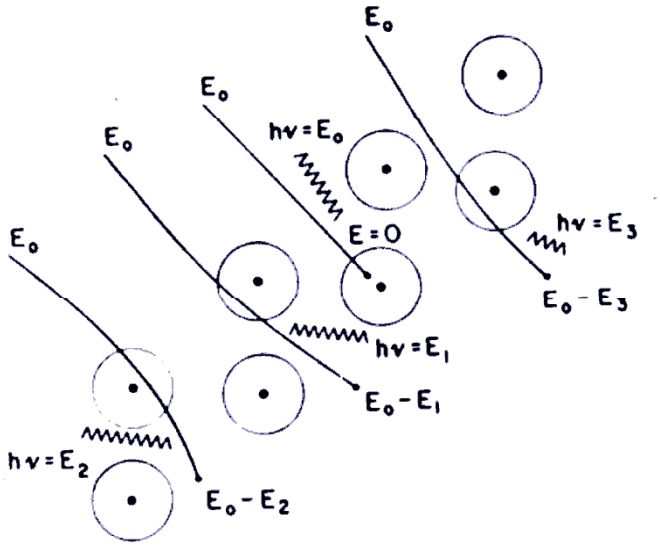


SWL - short-wavelength limit

The Continuous x-ray Spectra

طیف پیوسته در اثر تغییر انرژی جنبشی الکترون ها در اثر برخورد به اتم های هدف به وجود می آید.

These radiation is called white radiation



$KE = eV = \frac{1}{2}(mv^2)$

continuous spectrum طیف پیوسته

- طیف پیوسته در اثر کاهش شتاب الکترونهائی که به هدف برخورد میکنند بوجود میآیند. برخی در برخورد اول متوقف وبرخی در برخوردهای متوالی به تدریج انرژی ازدست داده و پرتو ایکس با طول موجهای متفاوت ایجاد میکنند.
- الکترونهائی که در برخورد اول متوقف میشوند بیشترین انرژی تبدیل به پرتو ایکس با کوتاه ترین طول موج میشود.

$$eV = h\nu_{\max}$$

ثابت پلانك

سرعت نور

$$\lambda_{swl} = \lambda_{\min} = \frac{c}{\nu_{\max}} = \frac{hc}{eV}$$

فركانس

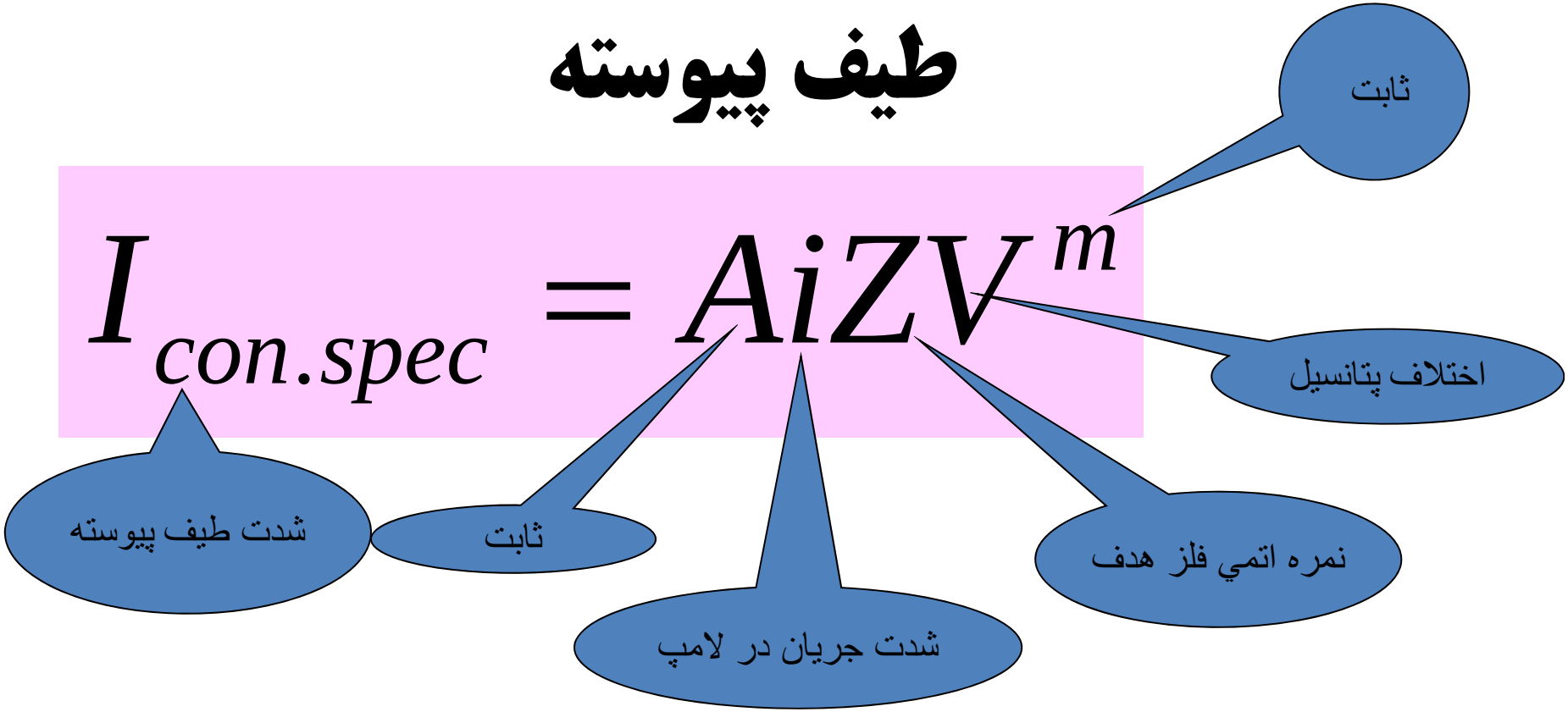
انرژي الكترون

$$\lambda_{swl} = \frac{(6.626 \times 10^{-34})(2.998 \times 10^{8})}{(1.602 \times 10^{-19})V} metr$$

$$\lambda_{swl} = \frac{12.40 \times 10^{3}}{V}$$

كوتاهترين طول موج

طیف پیوسته



چنانچه پرتو ایکس با شدت زیاد لارم باشد از هدفی با نمره اتمی زیاد مانند تنگستن (74) استفاده میشود.

I متناسب با سطح زیر منحنی می باشد.

Short-wavelength Limit

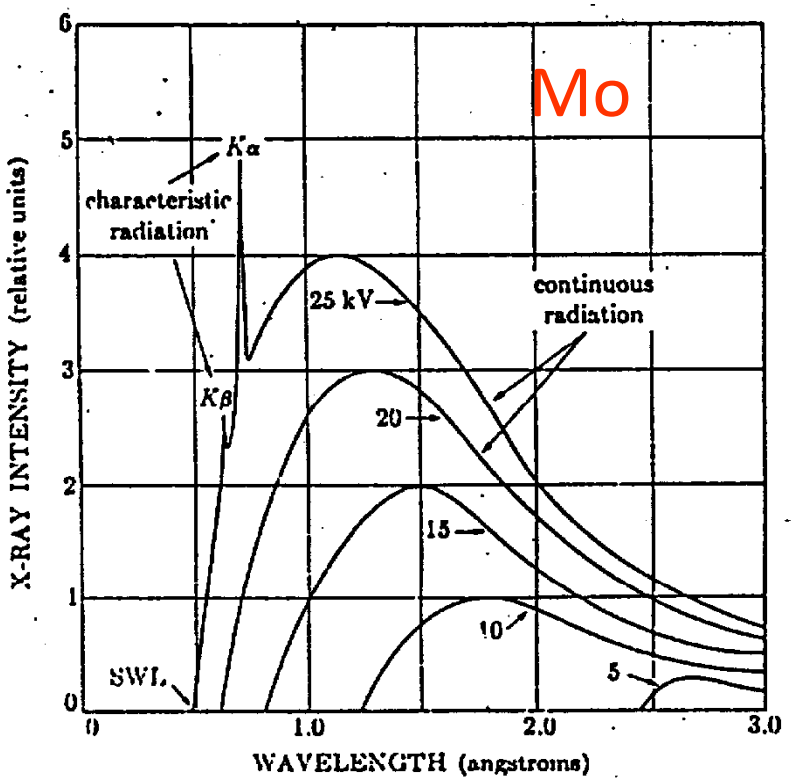
- طول موج **SWL** مربوط به پرتوهایی هستند که در اثر تبدیل انرژی الکترون ها در یک برخورد حاصل شده اند.

$$eV = h\nu_{\max} = \frac{hc}{\lambda_{\min}}$$

$$\therefore \lambda_{\min} = \lambda_{SWL} = \frac{hc}{eV} = \frac{1.240 \times 10^4}{V} \text{ Å}$$

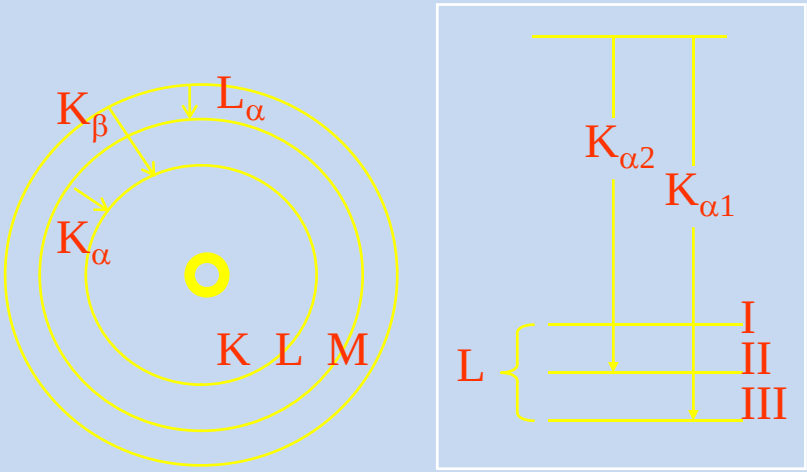
Characteristic x-ray طیف مشخصه Spectra

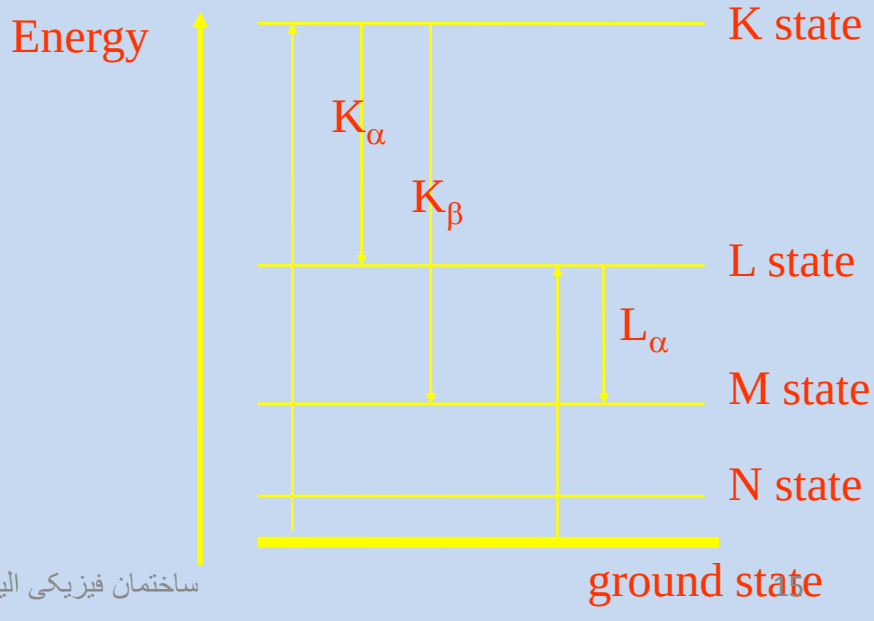
پیک های تیز در ولتاژهای بالا مشاهده می شوند. (مثلاً برای هدف مولیبدن ۲۵ کیلوولت یا بالاتر).



Characteristic x-ray Spectra

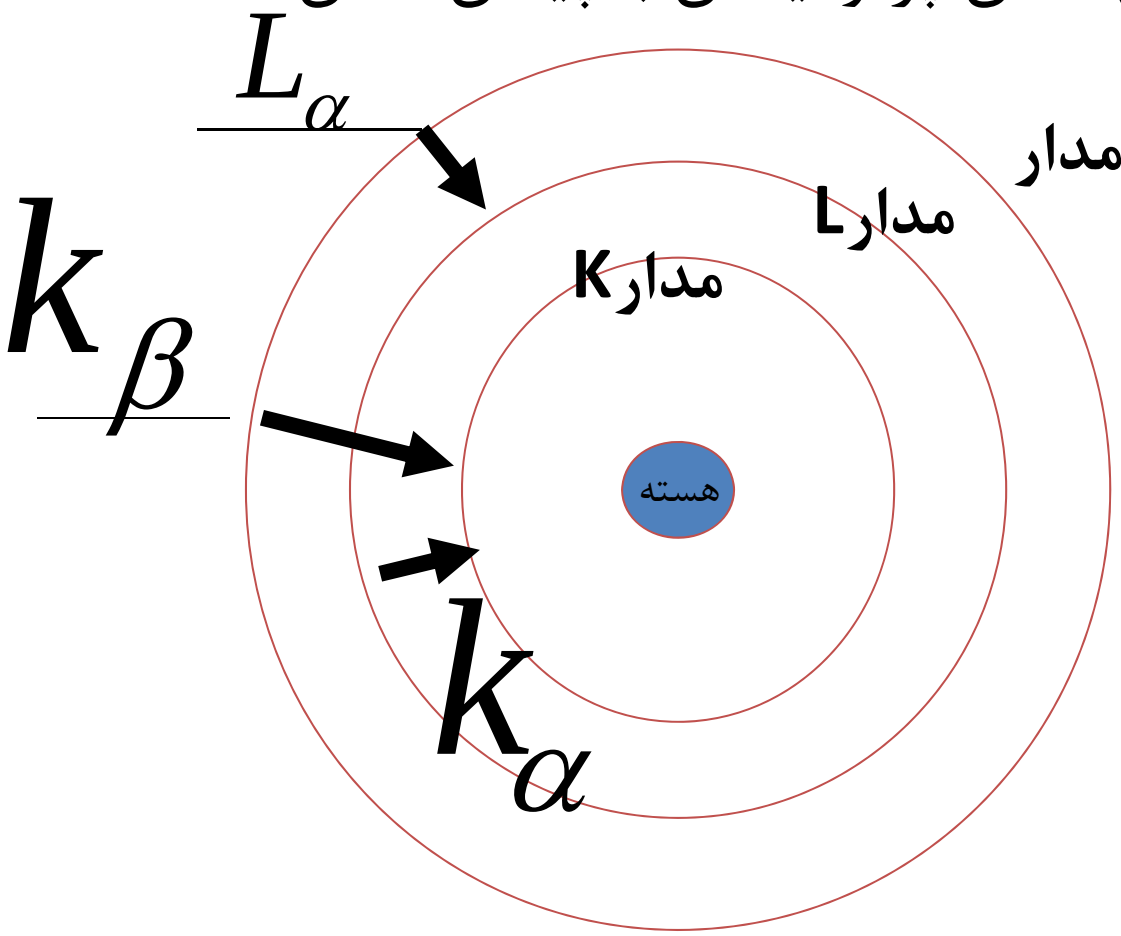
- اگر الکترون های برخورد کننده دارای انرژی جنبشی کافی باشند، می توانند الکترون های لایه های مختلف اتم هدف (مثلا لایه k) را از مدار خود خارج کرده و به مدارهای بالاتر ببرند. (اتم به حالت تهییج شده در می آید). حال اگر الکترون هایی از لایه های بالاتر به لایه قبلی برگردند، انرژی به صورت فوتون های پرتو ایکس منتشر می گردد.





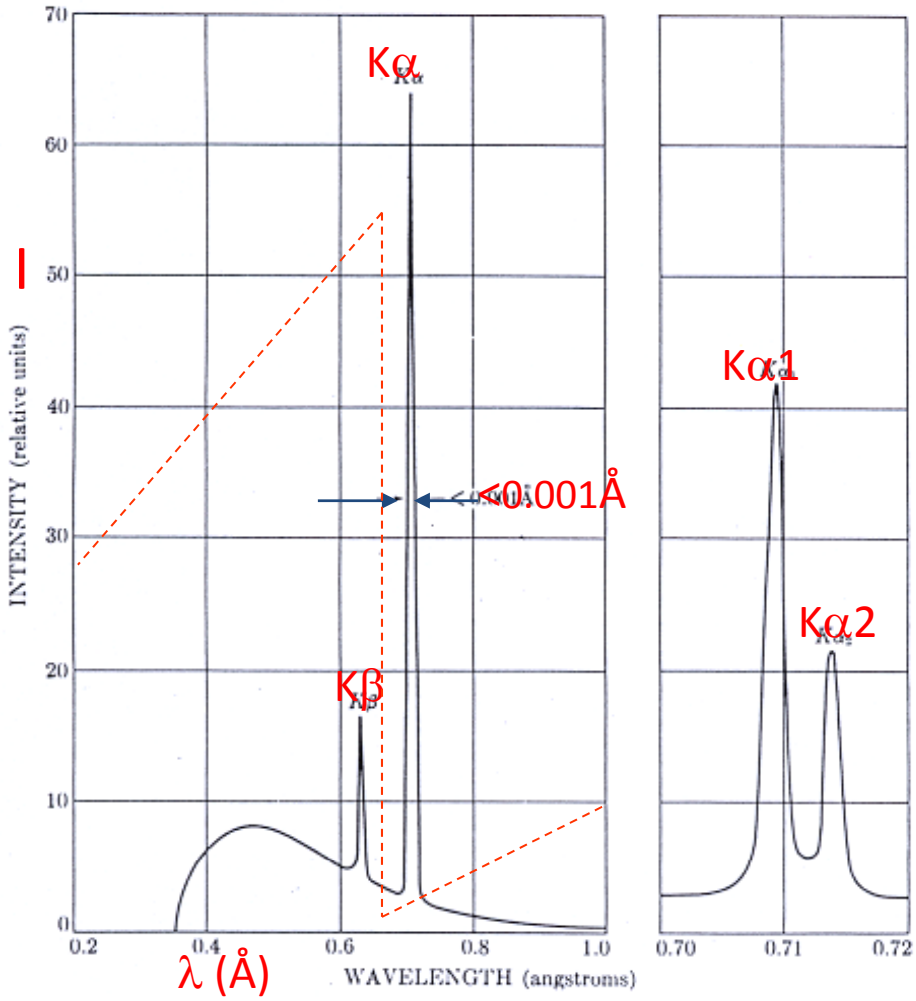
انتقال الکترونها در اتم

- فرایند ساطع شدن پرتو ایکس با پیکان نشان داده شده



اگر الکترون برخورد ی انرژی کافی داشته باشد الکترون مدار Kرا خارج کرده اتم را در حالت تهییج قرار داده الکترونی از مدار بالاتر به جای آن میرود . انرژی به صورت پرتو ایکس با طول موج مشخص ساطع میشود

Characteristic X-ray Lines



Spectrum of Mo at 35kV

$$k_{\alpha 1} : 0.709 \mathrm{A}^{0}$$

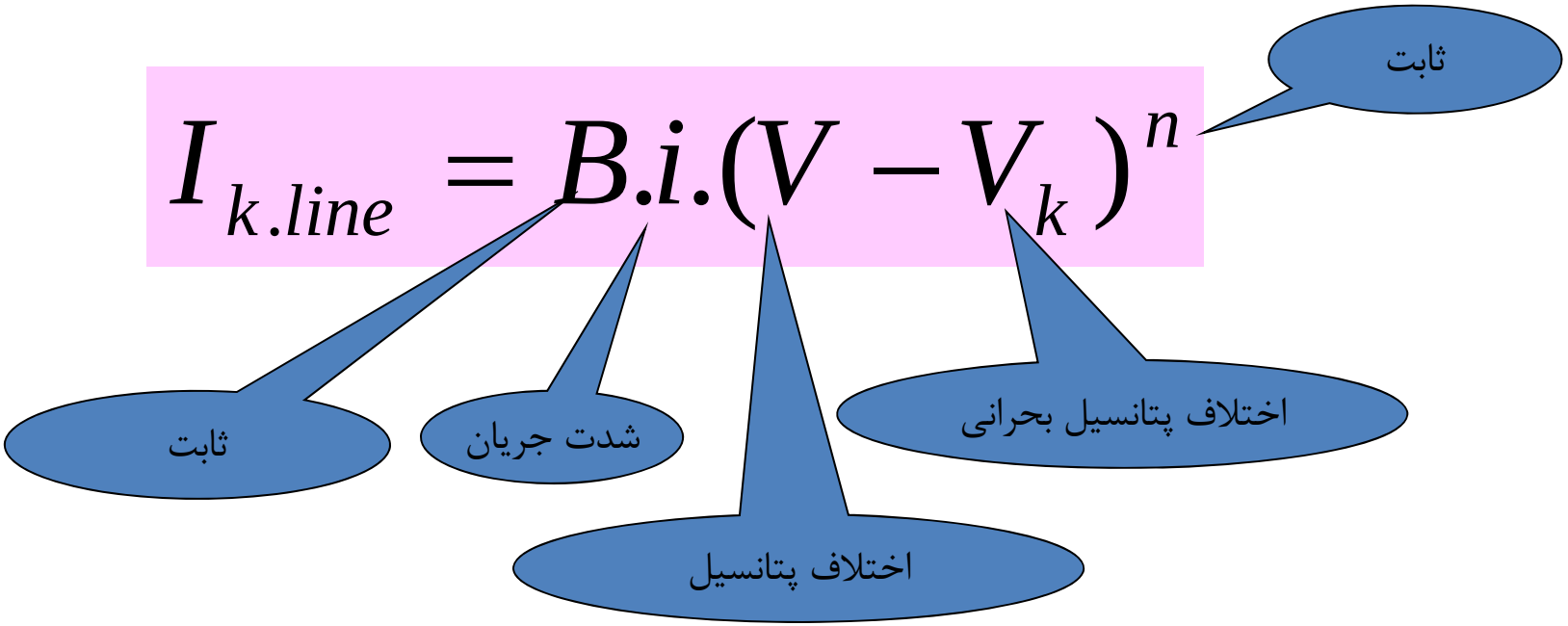
$$k_{\alpha_2} : 0.714 \mathrm{A}$$

$$k_{\beta_1} = 0.632 \mathrm{A}$$

ولتاژ بحرانی Kبرای مولیبدن = 20.01 K.V

طیف مشخصه

- شدت طیف مشخصه افزون بر طیف پیوسته $I_{k\,line}$:



شدت طیف مشخصه بسیار بیشتراز نقطه مجاور طیف پیوسته است .. مس ۹۰ بار بیشتر

با زیاد شدن ولتاژ شدت پیک های مشخصه بیشتر می شود، ولی طول موج (محل) آنها ثابت می ماند.

$$\sqrt{\nu} = C(Z - \sigma)$$

قانون Moseley

c و σ ثابت و Z عدد اتمی فلز هدف می باشد.

ν فرکانس پیک مشخصه می باشد.

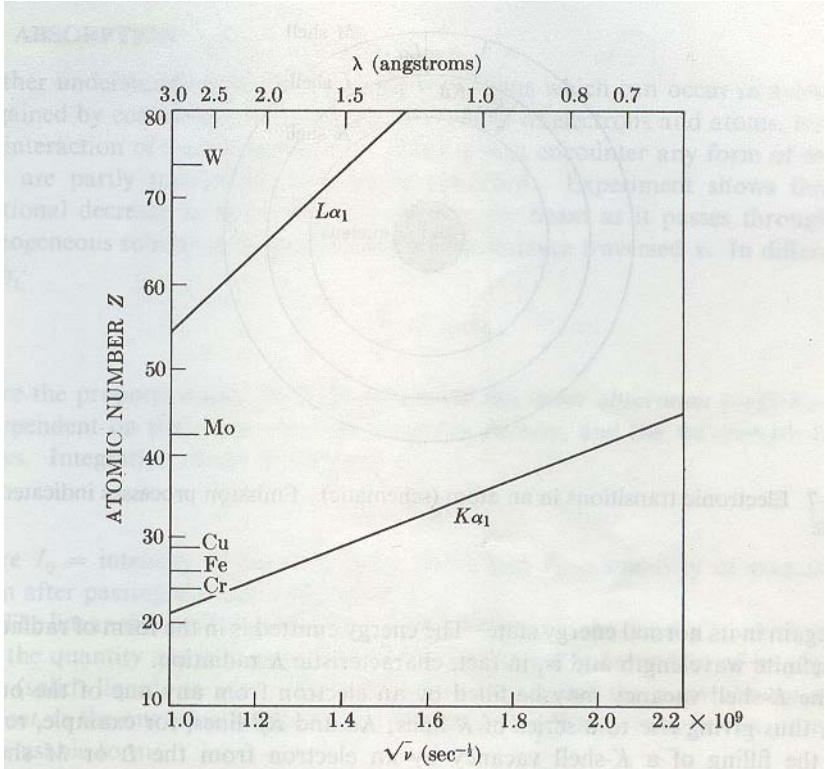


Fig. 1–6 Moseley's relation between $\sqrt{\nu}$ and Z for two characteristic lines.

- بنابراین مکانیزم تولید پرتو ایکس به صورت های زیر می باشد:
- ۱- تغییر انرژی جنبشی الکترون ها در اثر برخورد به اتم های فلز هدف (طیف پیوسته)
- ۲- تهییج الکترون های فلز هدف در اثر برخورد الکترون های بسیار پر انرژی به آن ها. (طیف مشخصه)

$$\lambda_{K_\alpha}(Cu) = 1.5418 A^\circ$$

$$\lambda_{K_\beta}(Cu) = 1.3922 A^\circ$$

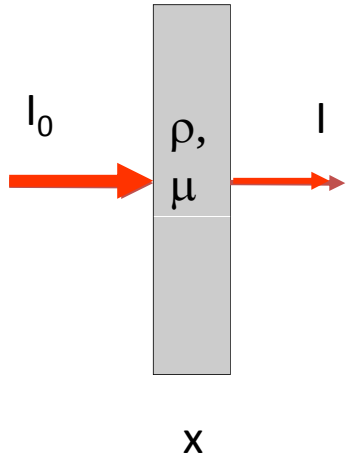
Characteristic x-ray Spectra

Element	K_α (weighted average), Å	$K_{\alpha 1}$ very strong, Å	$K_{\alpha 2}$ strong, Å	K_β weak, Å	K Absorption edge, Å	Excitation potential (kV)
Ag	0.56084	0.55941	0.56380	0.49707	0.4859	25.52
Mo	0.710730	0.709300	0.713590	0.632288	0.6198	20.00
Cu	1.541838	1.540562	1.544390	1.392218	1.3806	8.98
Ni	1.65919	1.65791	1.66175	1.50014	1.4881	8.33
Co	1.790260	1.788965	1.792850	1.62079	1.6082	7.71
Fe	1.937355	1.936042	1.939980	1.75661	1.7435	7.11
Cr	2.29100	2.28970	2.293606	2.08487	2.0702	5.99

Absorption of x-ray جذب پرتو ایکس

- شدت پرتو ایکس در اثر عبور از ماده کم می شود.
- شدت پرتو عبور کرده از رابطه زیر بدست می آید:

$$\frac{dI}{I} = -\mu .dx$$



I پرتو عبور کرده

I_0 شدت پرتو برخورد کرده

x ضخامت ماده

μ ضریب خطی جذب linear absorption coefficient

μ (element dependent);

ρ چگالی ماده

(μ/ρ) ضریب جرمی جذب **mass absorption coefficient (cm^2/gm)**.

$$I_x = I_0 e^{-\mu x}$$

$$I = I_0 e^{-\mu x} = I_0 e^{-\left(\frac{\mu}{\rho}\right)\rho x}$$

$$\frac{\mu}{\rho} = k \lambda^3 Z^3$$

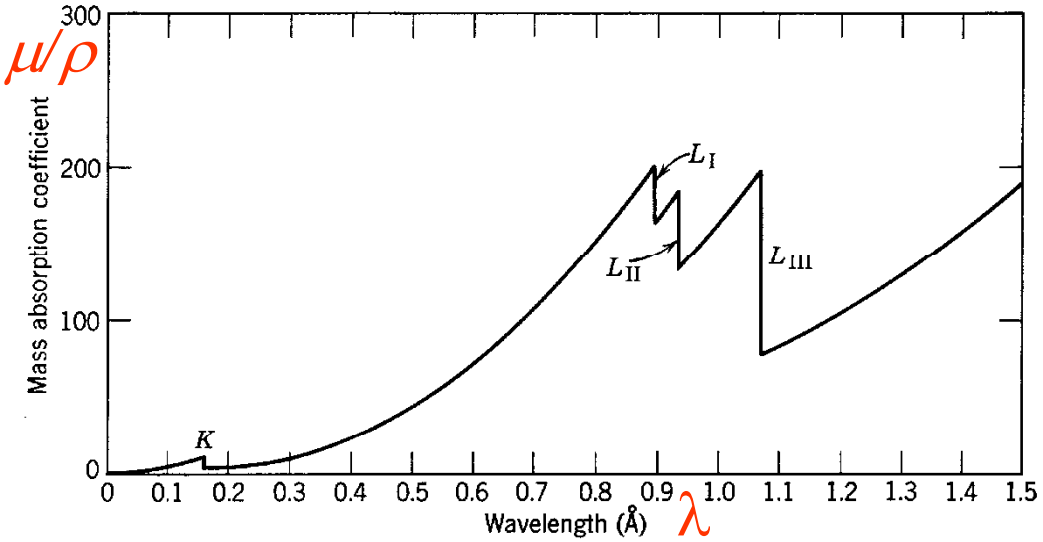
اشعه ایکس سخت و نرم

$$\frac{\mu}{\rho} = w_1 \left(\frac{\mu}{\rho}\right)_1 + w_2 \left(\frac{\mu}{\rho}\right)_2 + \ldots$$

W1 و w2 کسر وزنی عناصر

Absorption of x-ray

- ضریب خطی جذب به طول موج هم بستگی دارد.
- لبه های جذب در برخی طول موج ها دیده می شوند.
- این لبه های جذب در طول موج هایی هستند که پرتو ایکس انرژی کافی برای تهییج اتم های ماده و انتقال الکترون یکی از لایه ها به مدار بالاتر را دارد.



Absorption coefficients of Pb, showing K and L absorption edges.

- جذب پرتو ایکس هم به دو روش صورت می گیرد:
- ۱- جذب در اثر پراکندگی
- ۲- جذب در اثر ایجاد تهیج در اتم های ماده

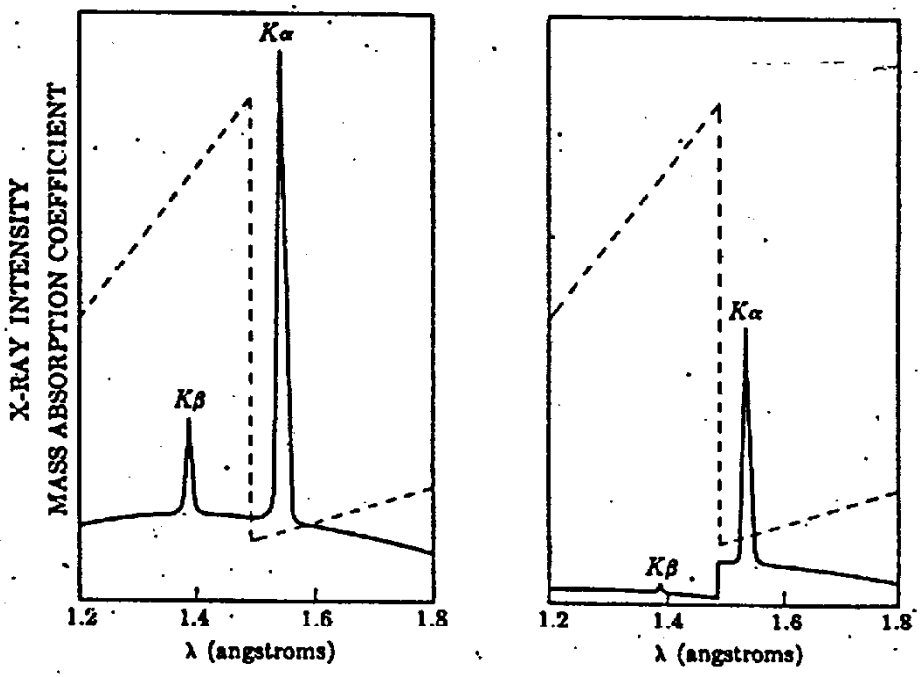
Filtering of X-ray

- یک مثال برای فیلترها استفاده از فیلتر نیکل برای کاهش شدت پیک K_β در طیف مس می باشد.

$$\lambda_{K_\alpha}(Cu) = 1.5418A^\circ$$

$$\lambda_{K_\beta}(Cu) = 1.3922A^\circ$$

$$\lambda_K(Ni) = 1.488A^\circ$$



No filter Ni filter

Comparison of the spectra of Cu radiation (a) before and (b) after passage through a Ni filter. The dashed line is the mass absorption coefficient of Ni.

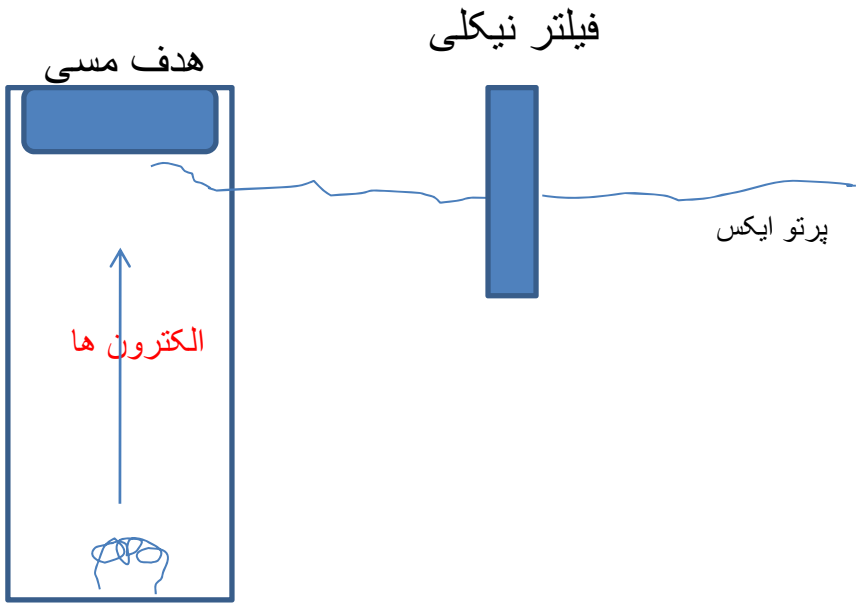
Filtering of X-ray

- از پدیده جذب پرتو ایکس برای فیلتر کردن طول موج های ناخواسته و یا به عبارت دیگر ایجاد پرتو ایکس تک طول موج استفاده می شود.

- باید فیلتری استفاده شود که لبه جذب K آن بین طول موج های K_α و K_β فلز هدف باشد. به عبارت دیگر عدد اتمی فیلتر یک یا دو عدد کمتر از عدد اتمی فلز هدف باشد

در اینصورت K_β به شدت جذب میشود ولي K_α بسیار کمتر. و پرتو ایکس با طول موج مربوط به K_α حاصل میشود

Target material	Ag	Mo	Cu	Ni	Co	Fe	Cr
Filter material	Pd	Nb, Zr	Ni	Co	Fe	Mn	V



لامپ تولید پرتو ایکس

Table 1–1

Filters for Suppression of $K\beta$ Radiation

Target	Filter	Incident beam* $\frac{I(K\alpha)}{I(K\beta)}$	Filter thickness for $\frac{I(K\alpha)}{I(K\beta)} = \frac{500}{1}$ in trans. beam		$\frac{I(K\alpha) \text{ trans.}}{I(K\alpha) \text{ incident}}$
			mg/cm²	in.	
Mo	Zr	[illegible]	77	0.0046	[illegible]
Cu	Ni	7.5	18	0.0008	0.42
Co	Fe	[illegible]	14	0.0007	0.46
Fe	Mn	9.0	12	0.0007	0.48
Cr	V	8.5	10	0.0006	0.49

* This is the intensity ratio *at the target* [G.11, Vol. 3, p. 71]. This ratio outside the x-ray tube will be changed somewhat by the differential absorption of $K\alpha$ and $K\beta$ by the tube window, typically beryllium, 0.01 inch (0.25 mm) thick.

آشکار سازهای پرتو ایکس

- صفحات فلورسانس fluorescent screen
  - zinc sulfide +trace of nickel
  - با برخورد پرتو ایکس تولید نور مرئی میکنند - برای تعیین موضع شعاع اصلی به کار میروند.
- فیلم عکاسی photographic film
  - اندازه ذرات بزرگ و لایه ضخیم است. درجه سیاهی متناسب با شدت پرتو نیست مگر برای طول موجی مشخص.
- شمارنده های الکتریکی counters
  - تبدیل پرتو ایکس به پالسهای الکتریکی. تعداد پالسها در واحد زمان متناسب با شدت پرتو است .مانند
  - scintillation counter, proportional counter