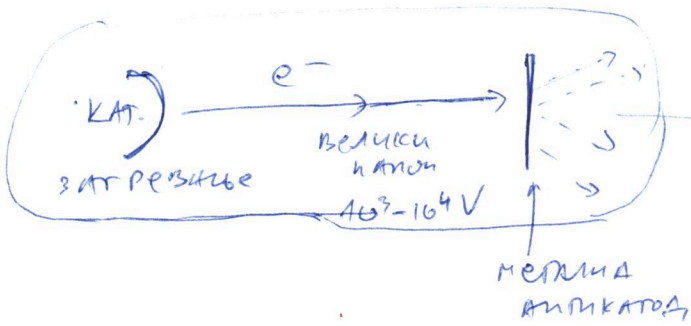
X - зрачење

- Открио 1895. године Рендген (Нобелова награда 1901.)
- Испитивао је луминисценцију под дејством брзих електрона у циљима за прављење - открио да ново непознато („X") зрачење изазива јаку луминисценцију и по са зидова цеви као последица удара електрона о њих. А зато зове зрачење настаје када се на пут електрона стави комад метала.
- Изазивају и јонизацију средине, велика продорност и не скрећу у електричном и магнетном пољу (нису наелектрисане честице)



↓

ЕМС таласи

10 – 0.01 nm

1 – 100 keV

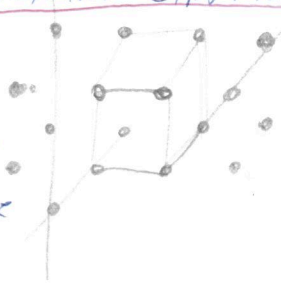
- Показују интерференцију и дифракцију
- Континуални и дискретни спектар (непрекидни) (линијски)

Дифракција X-зрачења на кристалној решетки

- Доказ таласне природе X-зрачења -

- 1912. Макс фон Лауе (Њем. Нобелова награда) - није била доказана ни природа X зрачења а теорија о структури кристала само хипотеза. (1848. Бравис али тек касније прихваћено)

- Кристална решетка - скуп тачака правилно распоређених у простору, мрежом правих све тачке могу да се повежу чиме се затворена кристална решетка дели на низ елементарних ћелија које имају облик геометријског тела - када тачке замишљамо атомом јоном или грозом атома добијамо кристалну структуру.



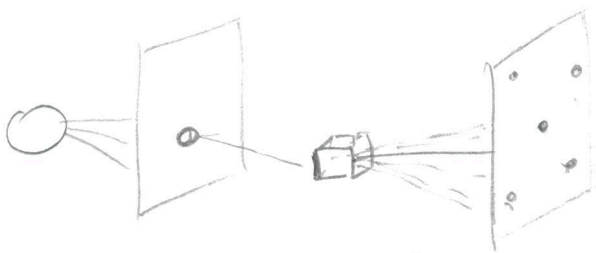
- Макс фон Лауе
- Валтер Фридрих
- Паул Книпинг

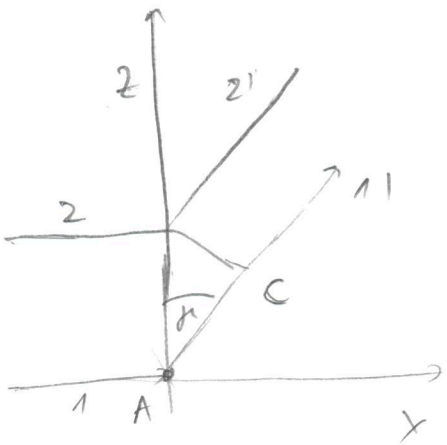
- Кристал као природна оптичка решетка - ред величине међуатомског растојања одговара реду величине таласне дужине X-зрачења.

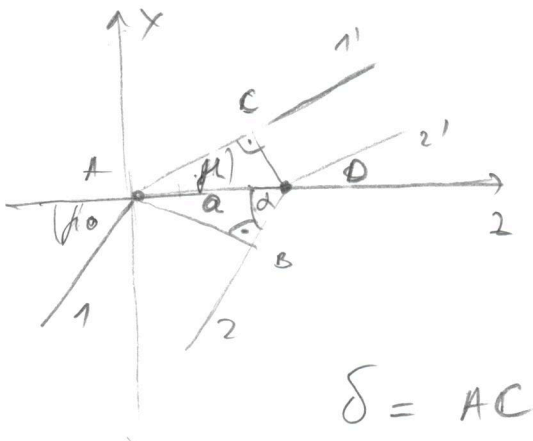
„... $CuSO_4$ ..." НА ФОТОГРАФСКОЈ ПЛОЧИ ИЗА КРИСТАЛА, ПРВИ ПУТ СЕ, ПОРЕД ЈАКА ПРИМАРНОГ ЗРАКА који је ДОЛАЗИО НЕПОСРЕДНО ОД АНТИКАТОДЕ, ЈАВЉАЈУ ЈАКОВИ СЕКУНДАРНИХ ЗРАКОВА, А ТАКОЂЕ ОЧЕКИВАНИ СПЕКТРИ РЕШЕТКЕ..." • ОВО САМ ОБРАЗЛАЖЕ КРИСТАЛ

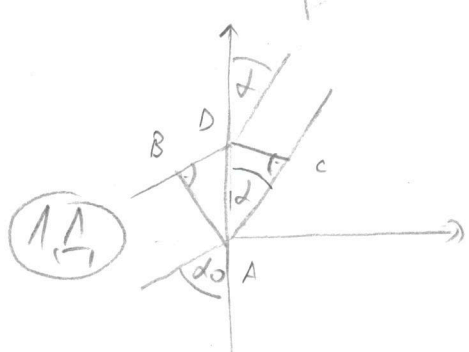
↓ ТАЛАСНА ПРИРОДА X-ЗРАЧЕЊА
КРИСТАЛОГРАФСКА ТЕОРИЈА
„АТОМИ СЕ ВИДЕ"

• КУБНА КРИСТАЛНА СТРУКТУРА
• ЗРАЧЕЊЕ ПАДА ДУЖ X-ОСЕ.







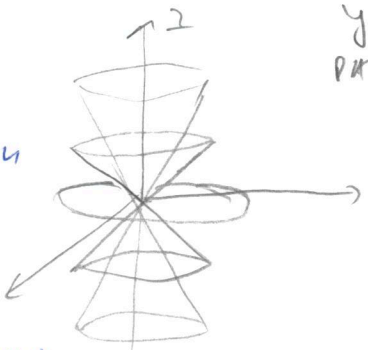


$\delta = AC - BD$

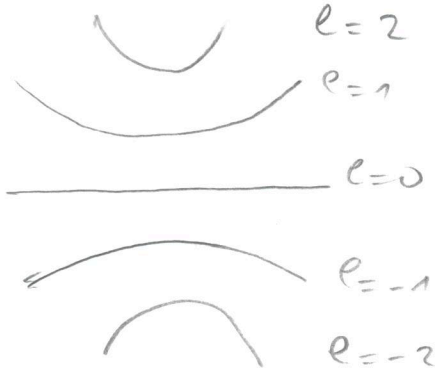
$= a\cos\mu - a\cos\mu_0 = e\lambda$

$\mu_0 = 90°$ $AC = \delta$

$$\boxed{\delta = a\cos\mu = e\lambda}$$

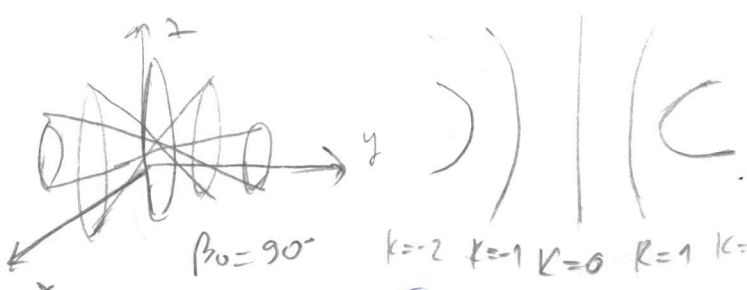


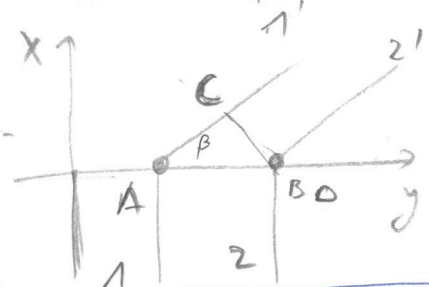
yz РАВАН



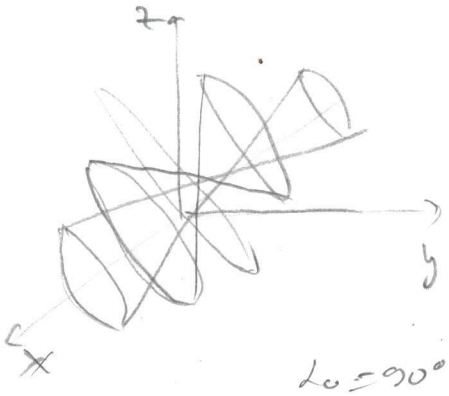
• ЧЕСТИЦЕ КРИСТАЛА ЦЕНТРИ РАСЕЈАЊА
• ЗРАЧЕЊЕ СЕ РАСЕЈАВА У СВИМ ПРАВЦИМА
• РАСЕЈАНИ ТАЛАСИ ИНТЕРФЕРИШУ ПОЈАЧАВАЊЕМ ИЛИ ПОНИШТАВАЊЕМ.

• КОНСТРУКТИВНА ИНТЕРФЕРЕНЦИЈА ⇒ ТАЛАСИ У ФАЗИ И ПУТНА РАЗЛИКА ЈЕДНАКА ЦЕЛОБРОЈНОМ ХИЉАДИТОМ ТАЛАСНОЈ ДУЖИНИ.

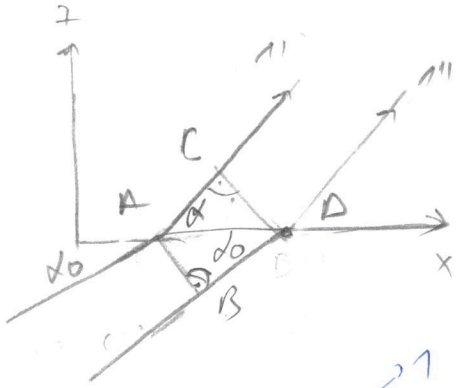


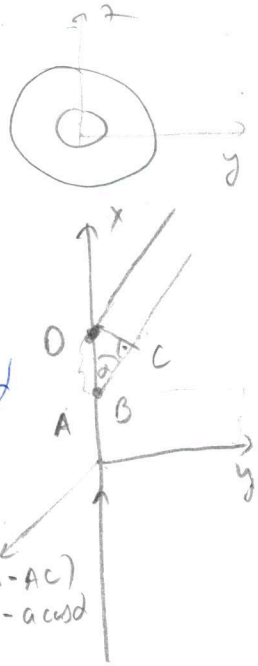


$AD = \delta = a\cos\beta - a\cos\beta_0 \Rightarrow$ $\boxed{\delta = a\cos\beta = k\lambda}$



$\alpha_0 = 90°$





$\delta = BD - AC = a\cos\alpha_0 - a\cos\alpha$

$$\boxed{\delta = a(1-\cos\alpha) = m\lambda}$$

1) $\cos\gamma = \frac{e\lambda}{a}$

2) $\cos\beta = \frac{k\lambda}{a}$

3) $\cos\alpha = 1 - \frac{m\lambda}{a}$

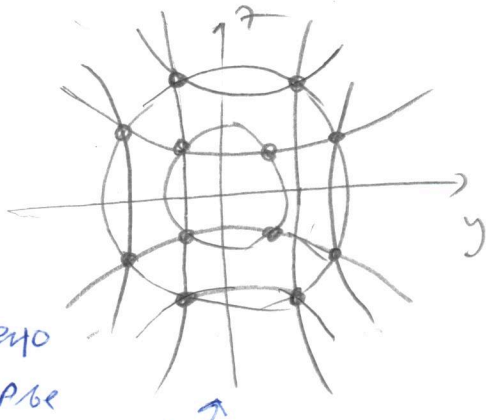
$\cos^2\alpha + \cos^2\beta + \cos^2\gamma = 1$

$$1 = \frac{e^2\lambda^2}{a^2} + \frac{k^2\lambda^2}{a^2} + \frac{m^2\lambda^2}{a^2} + 1 - \frac{2m\lambda}{a}$$

$$\lambda\left[\lambda\left(\frac{e^2}{a^2} + \frac{k^2}{a^2} + \frac{m^2}{a^2}\right) - \frac{2m}{a}\right] = 0$$

За $\alpha_0 = 0°$
$\alpha_0 = \beta_0 = 90$
Дифракционни макс. за λ:

$$\boxed{\lambda = 2a\frac{m}{e^2+k^2+m^2}}$$



За кристална решетка - типови

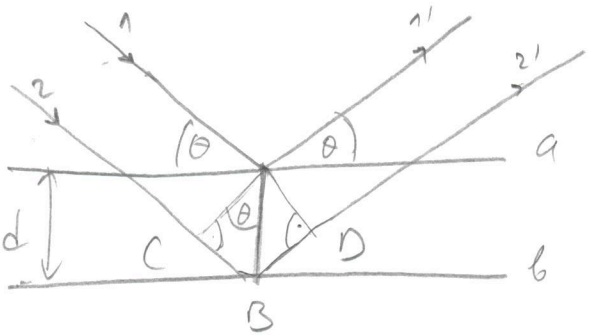
1) 2) 3) могат да бъдат задоволени неговременно

⇒ На екрана се получават дифракционни ивици и затова пресечна окръжност са хиперболите бихме се изпълнили само за определено λ.

Кристали се облъчват полихроматичен X-лъчение и върху получения спектър се явяват няколко ивици с типичен дължина λ която задоволява горните зависимости.

- Братов метод, дифракције X зрачења на кристалима.

- Хенри и Лоренс Брат 1913. и 1914. (Нобелова награда 1915.)
  ↳ темељи анализе структуре кристала рендгенским зрачењем
- Расејавање X-зрачења на кристалној решетки као рефлексија са равни кристала које на зрачење делују попут огледала.
  ↳ равнке кристала припадају системима међусобно паралелних равни, које могу бити различито оријентисане у простору. Системи равни разликују се у броју атома по јединици површине a, и по растојању d. a/d је константно.
- Атоми (јони, молекули) који чине кристал расејавају зрачење у свим правцима, а нас занима под којим углом долази до конструктивне интерференције.

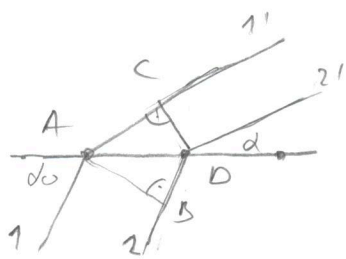


$$\delta = CB + BD = 2d\sin\theta$$

$$\boxed{2d\sin\theta = n\lambda}$$

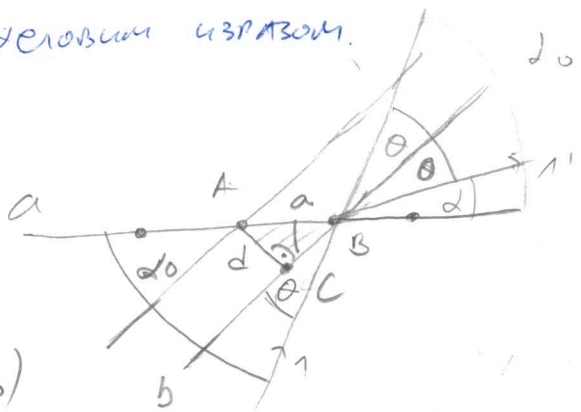
n – ред дифракције

- Еквивалентно са Лауеловим изразом.



$$\delta = AC - BD = a(\cos\alpha - \cos\alpha_0)$$

$$\delta = a\cos\alpha = n\lambda$$



α_0 у односу на a
θ у односу на b

$$\sin(\alpha_0 - \theta) = \sin(90 - \theta) = \cos\theta = \frac{d}{a}$$

$$a = \frac{d}{\cos\theta}$$

$$\alpha_0 = 2\theta + \alpha \Rightarrow \alpha = \alpha_0 - 2\theta = 90 - 2\theta$$

$$\frac{d}{\cos\theta}\cos(90 - 2\theta) = \frac{d}{\cos\theta}\sin 2\theta =$$

$$= \frac{d}{\cos\theta} 2\cos\theta\sin\theta = \boxed{2d\sin\theta = n\lambda}$$

– Лауе – Дебај – Шерерова метода кристалног праха –

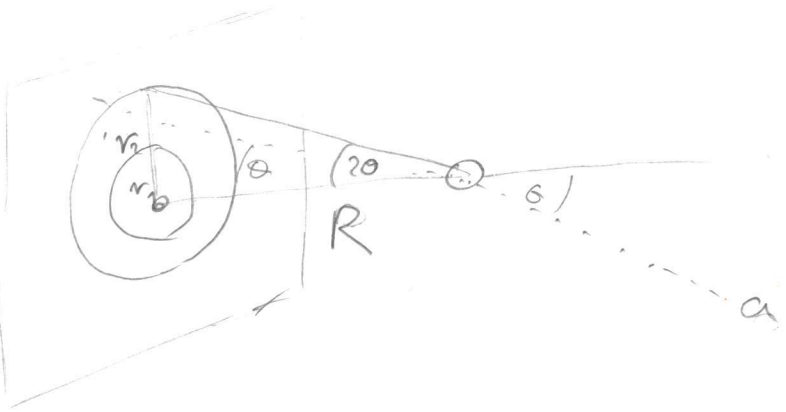
Из Брагове једначине следи да се конструктивна интерференција може остварити на више начина: • кристал се може осветлити из континуалног у зрачењу – равни „бирају" компоненту зрачења са таласном дужином за d и Θ.

• монохроматско зрачење, а кристал се окреће и тражи углове за дато λ

• кристални прах

у коме су кристалити хаотично усмерени па за сваку серију равни могу се наћи кристалити који су у односу на упадни сноп усмерени тако да задовољавају Брагов услов при датој λ. – свако спрашени кристал на пут монохроматског зрачења.

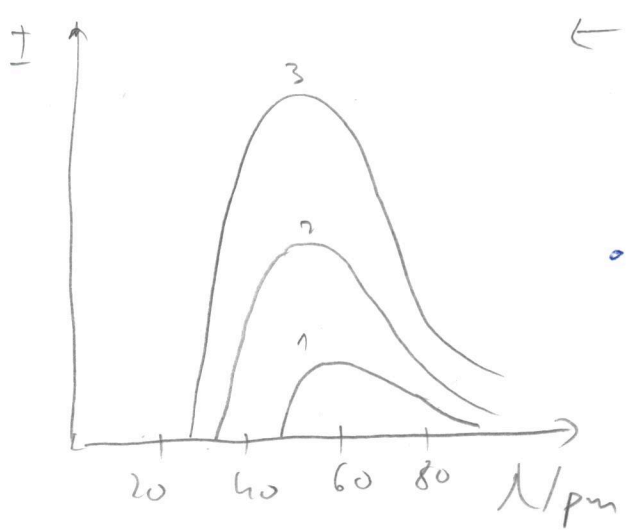
$$\frac{r}{R} = \operatorname{tg} 2\Theta = \frac{\sin 2\Theta}{\cos 2\Theta} \approx 2\sin\Theta\cos\Theta \approx 2\sin\Theta$$



$$d\frac{r}{R} = n\lambda$$

→ Ако је познато λ налазимо d и обрнуто.

– Континуално и карактеристично X зрачење –



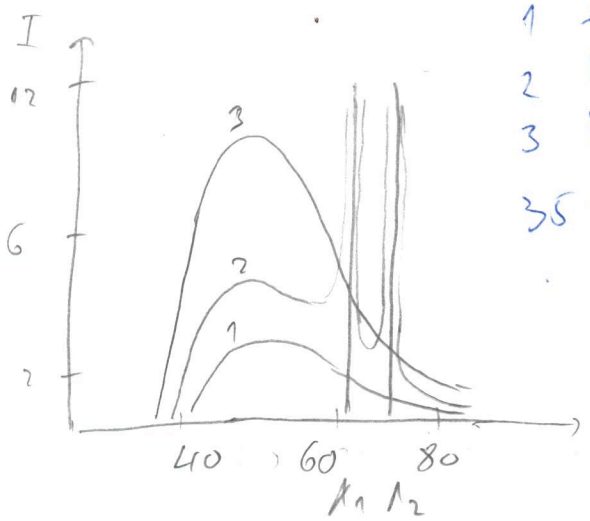
← континуални рендгенски спектар волфрама

30, 40 и 50 keV енергија е⁻

• Граничну вредност таласне дужине – краткоталасна граница

$$T = \frac{mv^2}{2} = eV = hV = \frac{hc}{\lambda_g}$$

највећа вредност енергије емитованих фотона једнака је кинетичкој енергији електрона.



1 I_r
2 M_o
3 W
35 keV

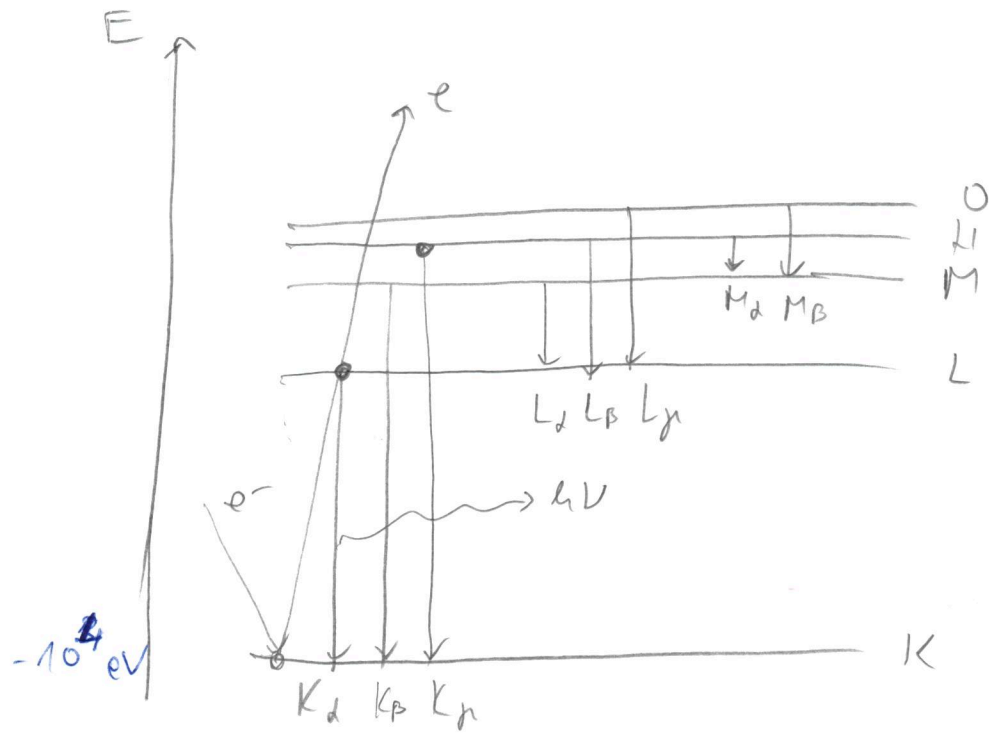
→ 2 ОШПА МАКСИМУМА НА λ_1 и λ_2 → ЛИНИИ КАРАКТЕРИСТИЧНОГ РЕНДГЕНСКОГ ЗРАЧЕЊА

• ЕНЕРГИЈА УПАДНИХ e⁻ МОРА БИЛА ДОВОЉНА ЗА ПОБУЂИВАЊЕ КАРАКТЕРИСТИЧНОГ СПЕКТРА I_r и W.

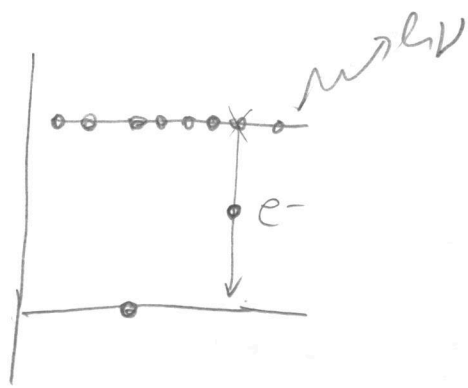
↓

ГИБИО ОДГОВОРЕН ЗА АТОМЕ

- ОСЛИКАВА СТРУКТУРУ УНУТРАШЊИХ ЕНЕРГИЈСКИХ НИВОА АТОМА (КАО И ОПТИЧКИ СПЕКТАР ЗА СПОЉАШЊЕ НИВОЕ)



$$E = -\frac{hcR(Z-1)^2}{n^2}$$

• ЕЛЕКТРОНИ ПОБУЂЕНИХ ИЛИ ЈОНИЗОВАНИХ АТОМА СТВАРАЈУ ПРИ ТОМЕ ПРАЗНИНУ У НЕКОМ ОД УНУТРАШЊИХ НИВОА АТОМА (K, L, ...)

НАСТАЛА ПРАЗНИНА ПОСЛЕ КРАТКОГ ВРЕМЕНА (10^{-8} s) ПОПУЊАВА СЕ ЕЛЕКТРОНОМ КОЈИ ПРЕЛАЗИ СА ЕНЕРГИЈСКИ ВИШЕГ НИВОА, УЗ ЕМИСИЈУ ФОТОНА ЕНЕРГИЈЕ hν КОЈА ОДГОВАРА РАЗЛИЦИ ЕНЕРГИЈСКИХ НИВОА.