

# Röntgensugárzás keltése, ill. keletkezése

- **Alapelvei:**

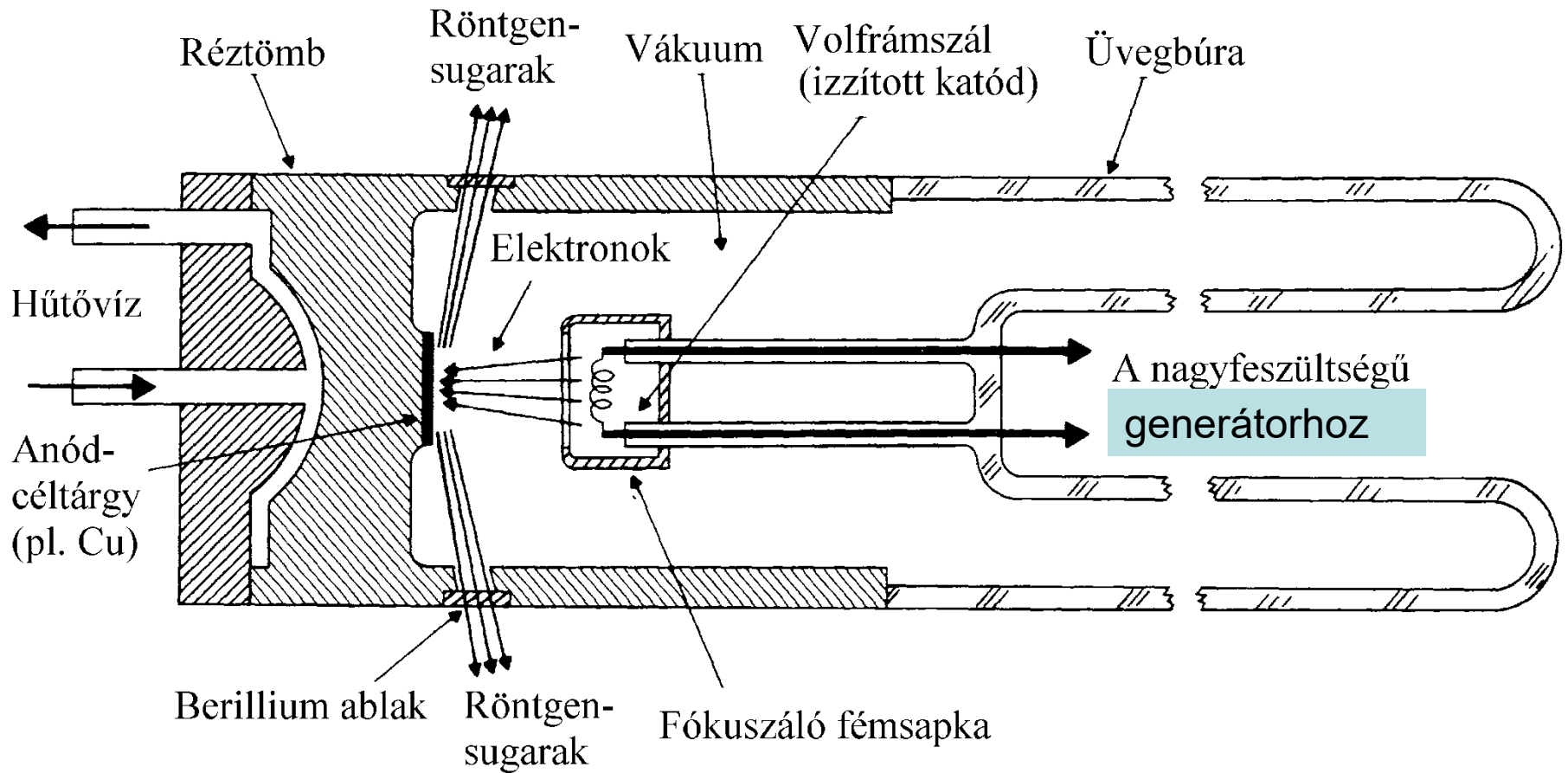
- 1.) igennagy sebességre gyorsított, nagy energiájú bombázó részecskékkel előidézett **belső ionizációt** követő **stabilizálódás** során előálló **karakterisztikus sugárzásként**.
- 2.) ugyancsak igennagy sebességre gyorsított töltött részecskék (pl. elektronok) mozgásállapotának megváltoztatásával (lassításával vagy körpályára kényszerítésével). A klasszikus fizika (Maxwell) szerint ekkor EMH-t (röntgensugarat is akár) sugároz ki.

- **Megvalósításai:**

- 2a) Szinkrotronban körpályán tartva (Synchrotron Radiation) :
  - Koharens, diszkrét **monokromatikus** sugárzás vagy
  - **Folytonos**, ill. különböző tartományokban generálható
  - **Nagy és változtatható intenzitású** sugárzás
- 2b) Röntgensőben (hagyományos katódsugárcsőben)
  - Folytonos fékezési sugárzás (Bremsstrahlung)
- 1.) Hagyományosan röntgensőben (katódsugárcsőben)

# A röntgenső felépítése

- Anód (tiszta fém) szerint;  $U_{gy} = 5-100 \text{ kV}$

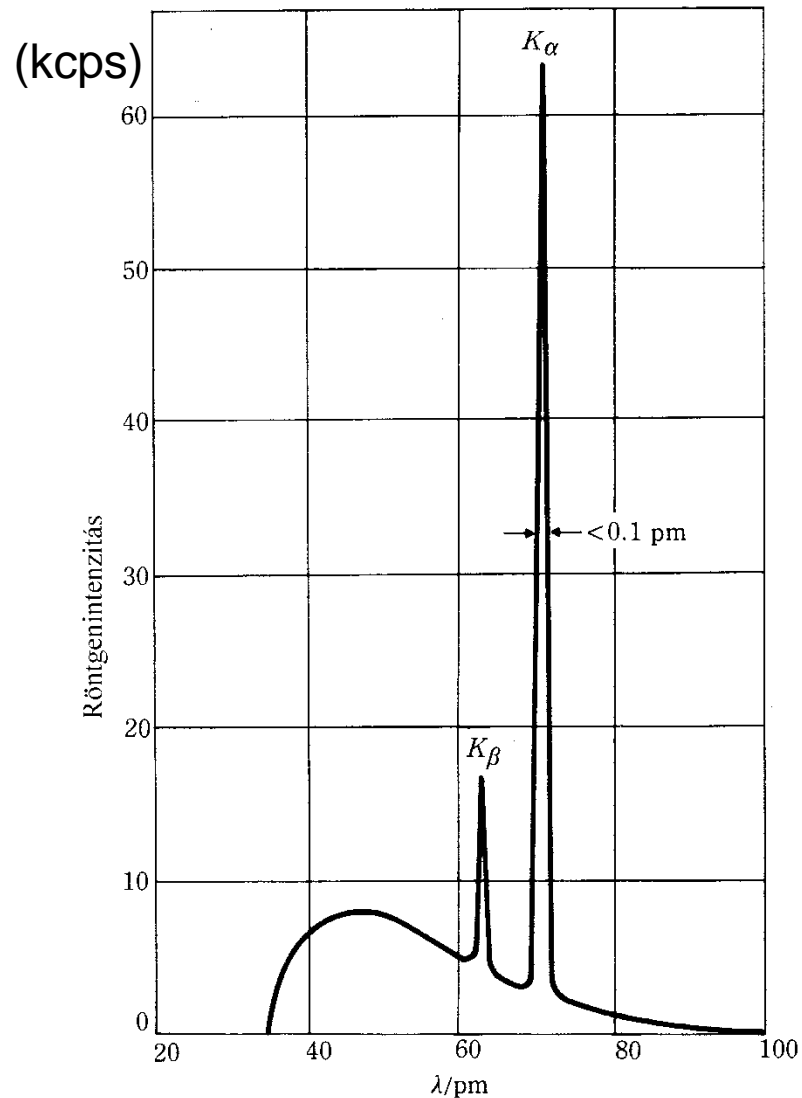
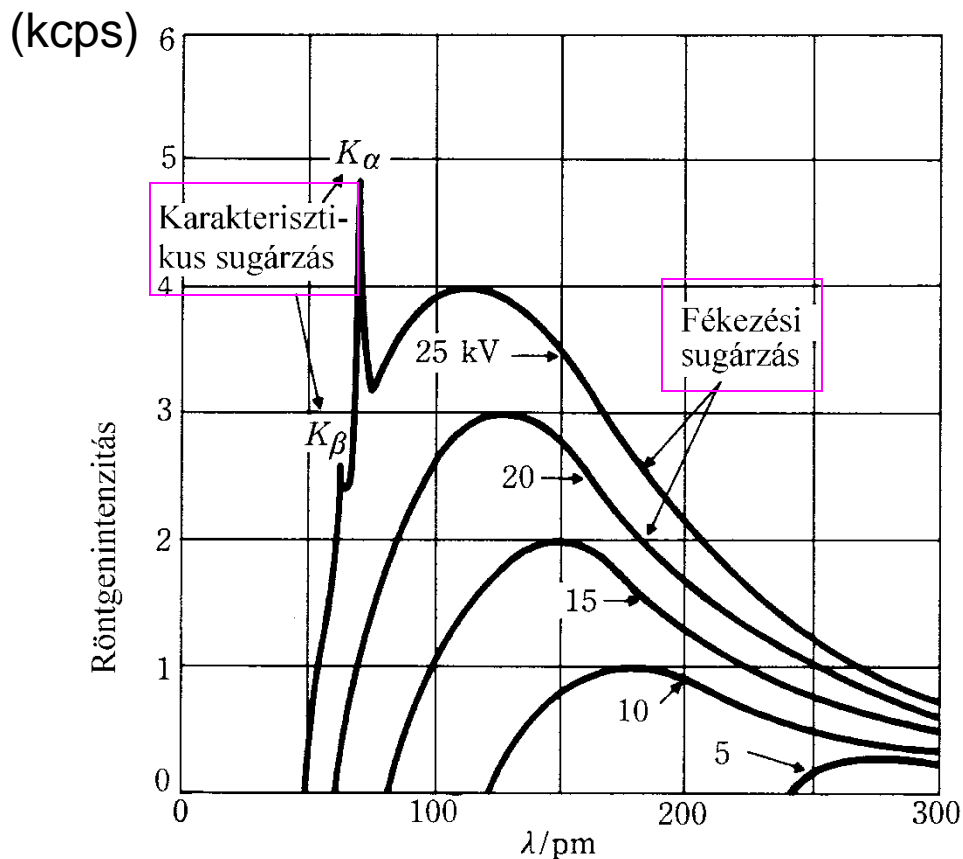


# A röntgensövek spektruma

- Mo-anódú cső;  $U_{gy} = 5-25, 35 \text{ kV}$

- $\lambda_{min}(\text{Å}) = 12,393/U_{gy}(\text{kV})$

- $Int_{folyt,max} \sim U_{gy}^2 I_{cső} Z_{anód}$



# Karakterisztikus röntgenvonalak

- Elnevezése a belső ionizációt szenvedő héj szerint:

– K-vonalak :

$K_{\alpha,(1,2)}$  ( $L_{II-III} \rightarrow K$ );

$K_{\beta}$  ( $M_{I-V} \rightarrow K$ )

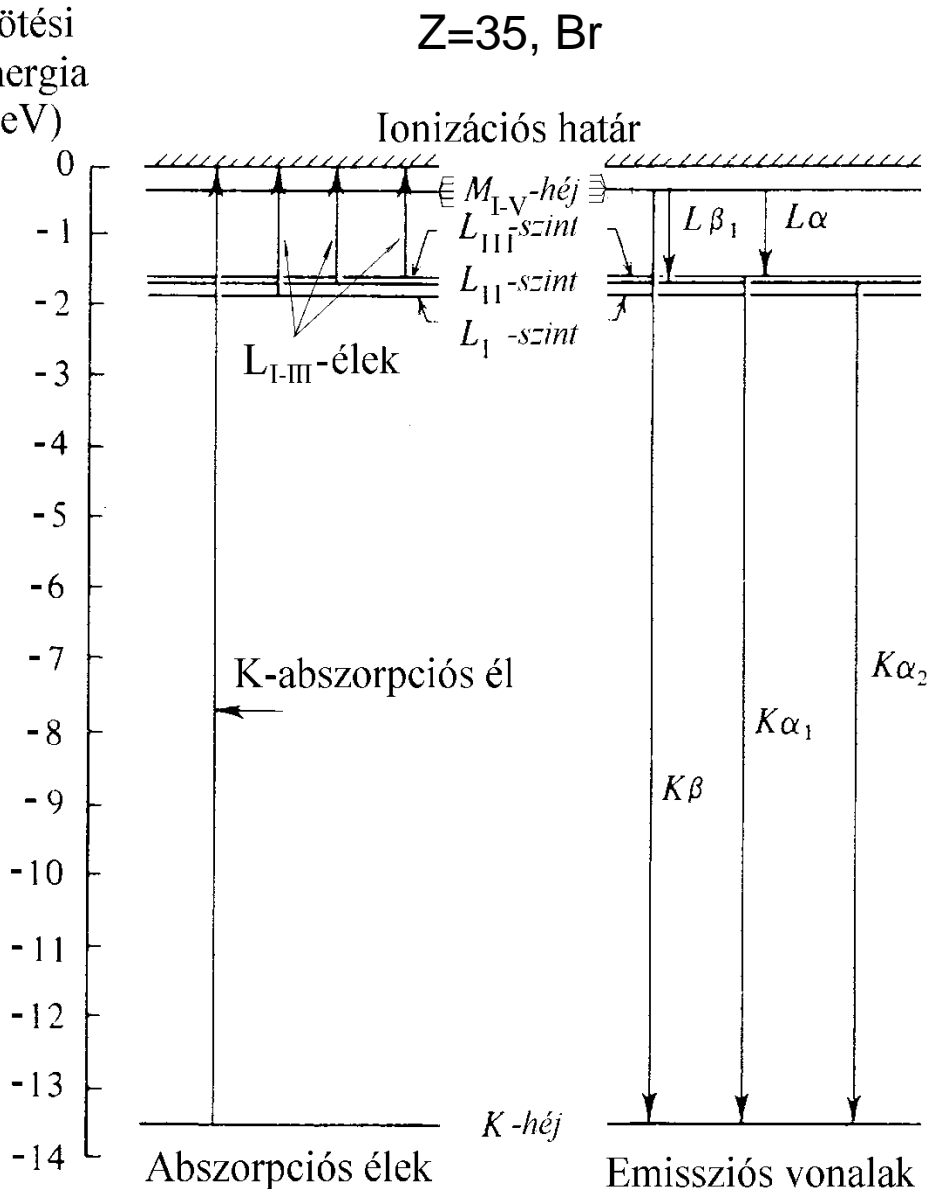
– L-vonalak :

$L_{\alpha,\beta,\gamma,..}$  ( $M_{I-V} \rightarrow L_{I-III}$ );

– M-vonalak :

$M_{\alpha,\beta,\gamma,..}$  ( $N_{I-VII} \rightarrow M_{I-V}$ );

Kötési energia (keV)

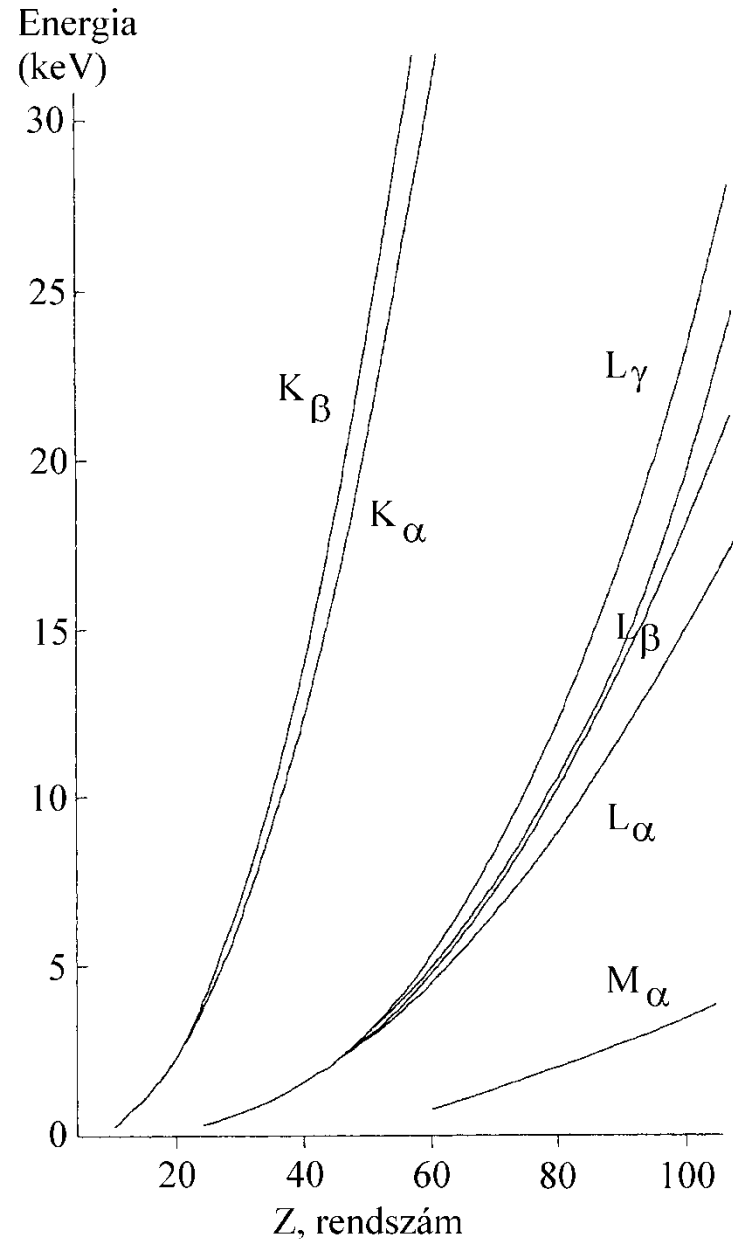


# Karakterisztikus röntgenvonalak

- Vonalenergiák  
(parabolikus)  
rendszámfüggése:  
Moseley törvénye (1911)

$$\Delta E = E_{X\text{-ray}} = h \nu = h \frac{c}{\lambda} =$$
$$= h R (Z - \sigma)^2 \left( \frac{1}{n_2^2} - \frac{1}{n_1^2} \right)$$

- $n_1, n_2$  főkvantumszámok
- $\sigma \sim 1, n_2=1$  (K-héj)
- $R$ , Rydberg állandó

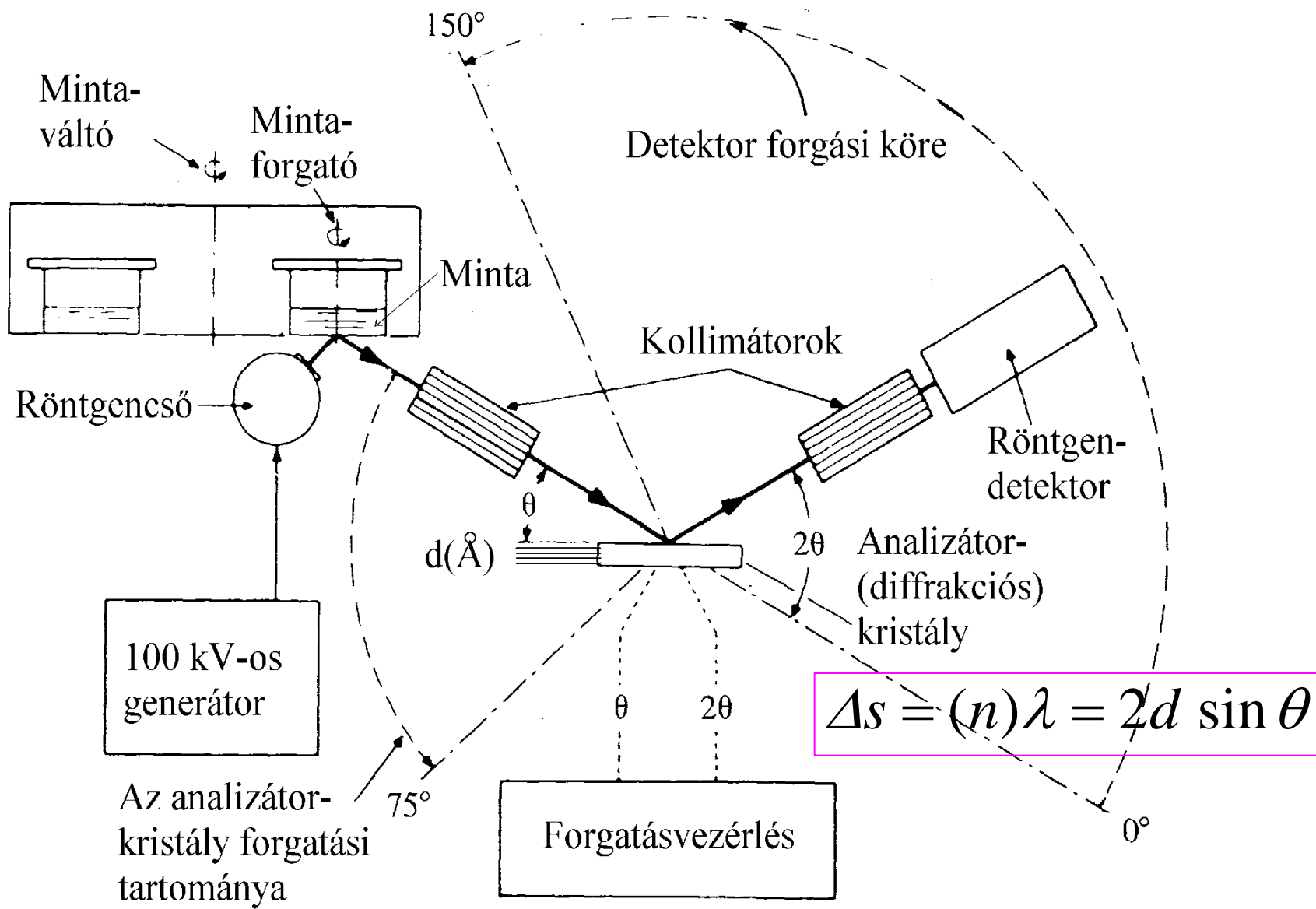


# Röntgenfluoreszcenciás (XRF) módszerek csoportosítása

- **Sugárforrások** növekvő intenzitása szerint
  - Rádioaktív  $\gamma$ -sugárzó izotóp (monokrom.sugár)
  - Röntgencsővel (folytonos és karakterisztikus)
  - Szinkrotron-sugárzással (SR nagy intenzitás)
- A karakterisztikus sugárzás **detektálási módja** szerint
  - **Hullámhossz** szerint felbontva és mérve (**WD**)
  - **Energia** szerint felbontva és mérve az intenzitásokat (**ED**)

$$E = h \nu = h \frac{c}{\lambda} = h R (Z - \sigma)^2 \left( \frac{1}{n_2^2} - \frac{1}{n_1^2} \right)$$

# Hullámhossz-diszperzív (WD) röntgenfluoreszcenciás (XRF) elemző



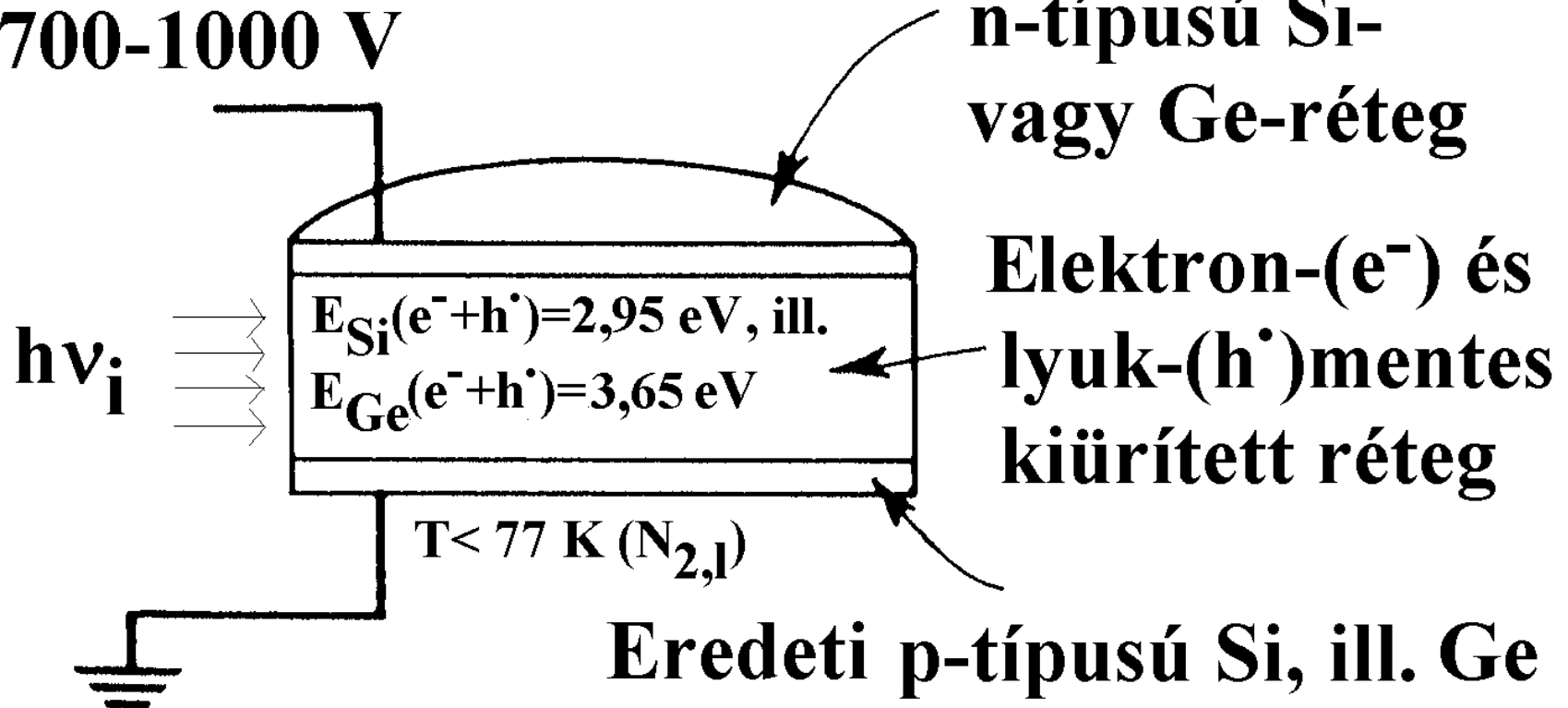
# Energia-diszperzív (ED) röntgendetektor ED-XRF elemzőhöz

- Fotonenergiával arányos nagyságú jelet adó detektorok:

- Szcintillációs detektor ( $\Delta Z = 8-10$ ,  $\Delta E = 500$  eV);
- Proporciónális detektor ( $\Delta Z = 4-6$ ,  $\Delta E = 20-30$  eV);

– Si(Li)-detektor ( $N_{2,l}$ ) ( $\Delta Z = 1-2$ ,  $\Delta E = 3-4$  eV) **Litiumban gazdag**

**+ 700-1000 V**

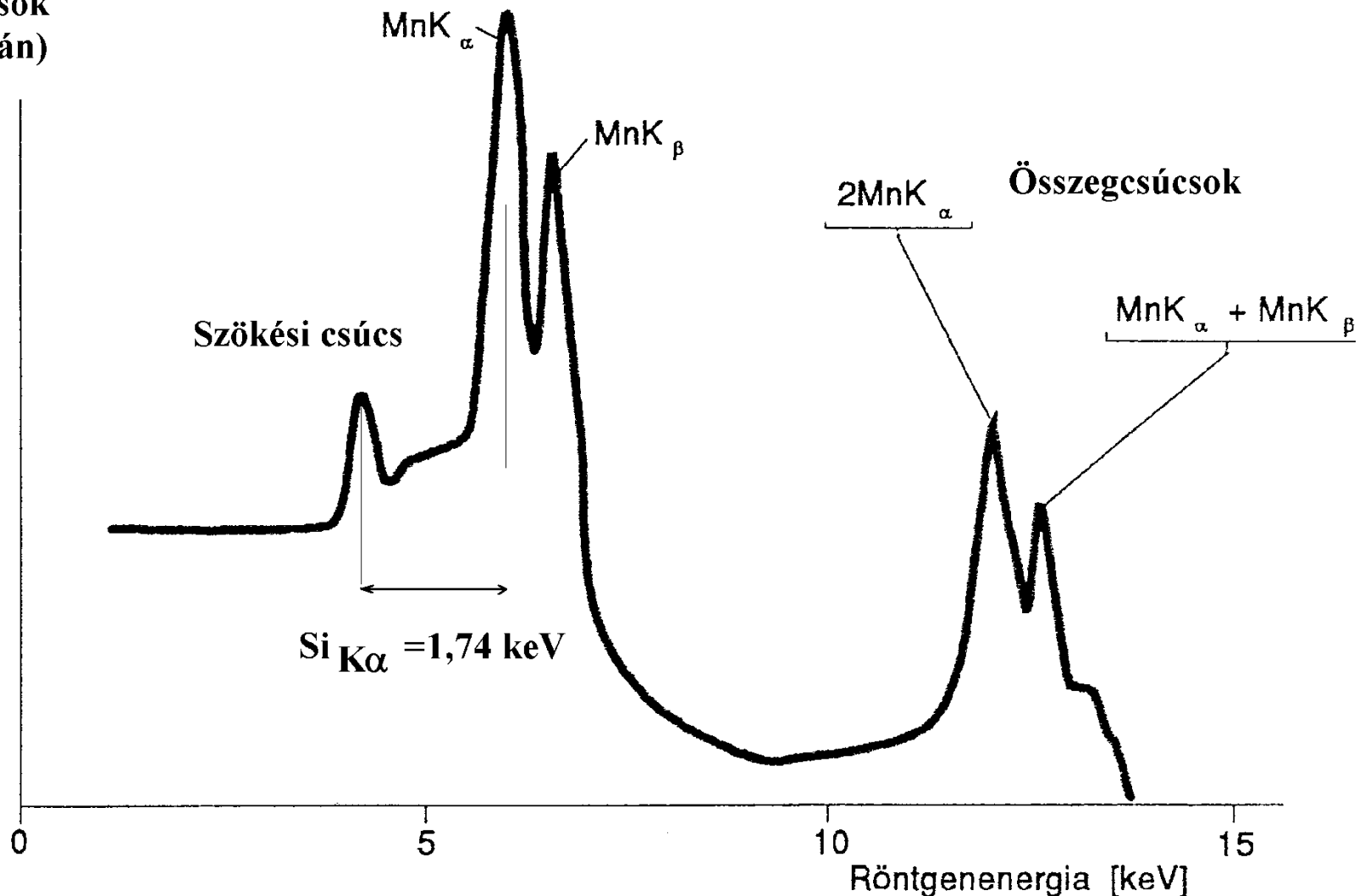




# Energia-diszperzív (ED) röntgendetektor ED-XRF elemzőhöz

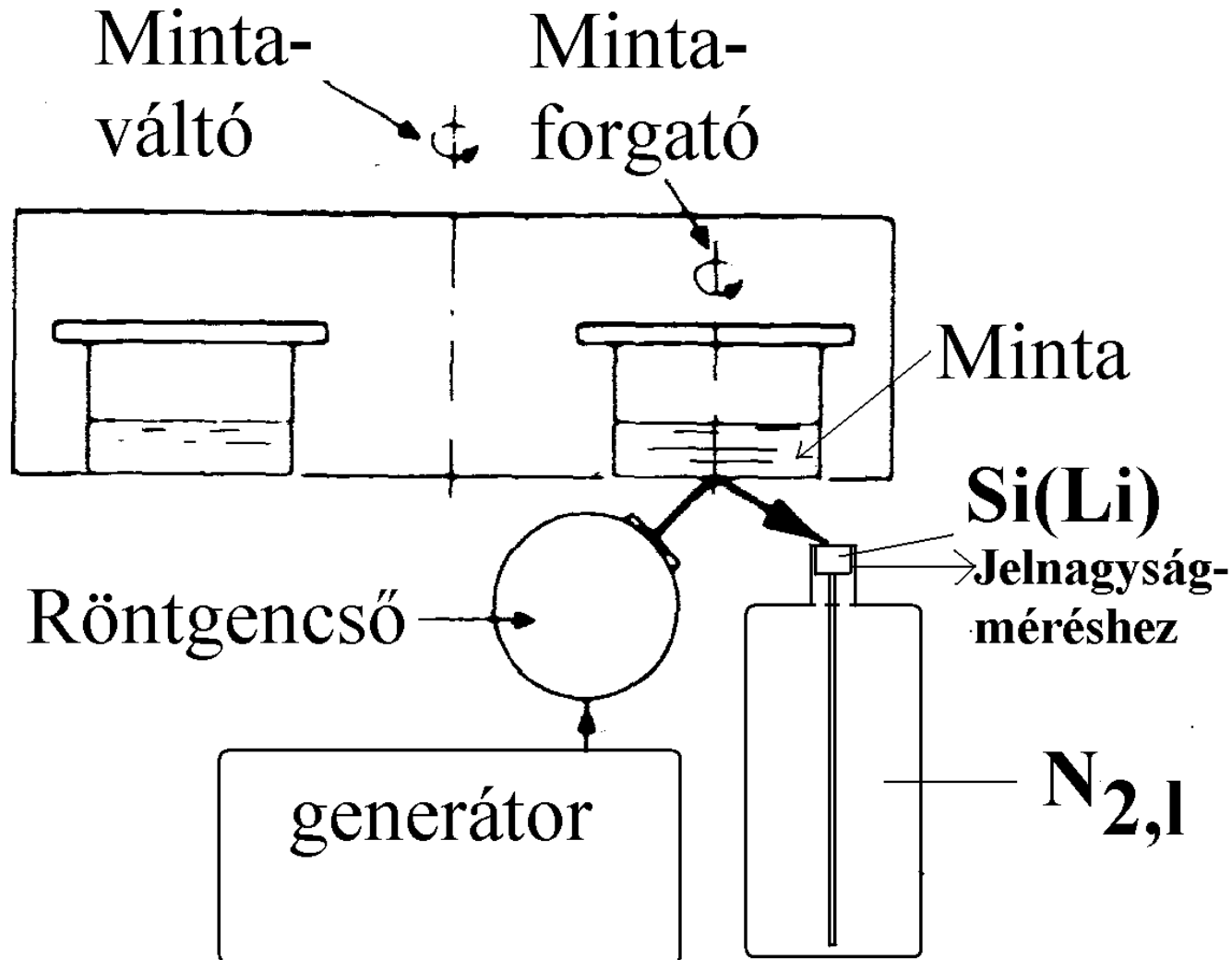
- Si(Li)-detektor ( $N_{2,1}$ ) válaszspektruma (pl. Mn-cső sugárzásra)

Impulzusok  
(log skálán)



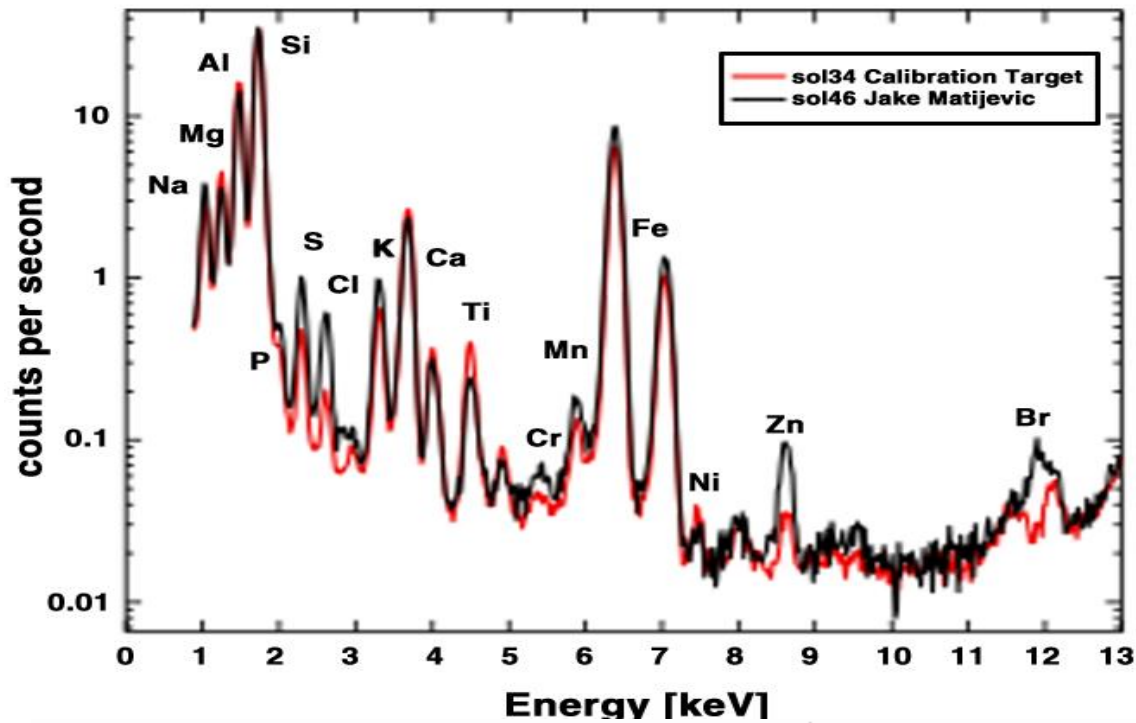
# Energia-diszperzív röntgenfluoreszcenciás ED-XRF elemző

- Si(Li)-detektoros ( $N_{2,l}$ ) hordozható készülék

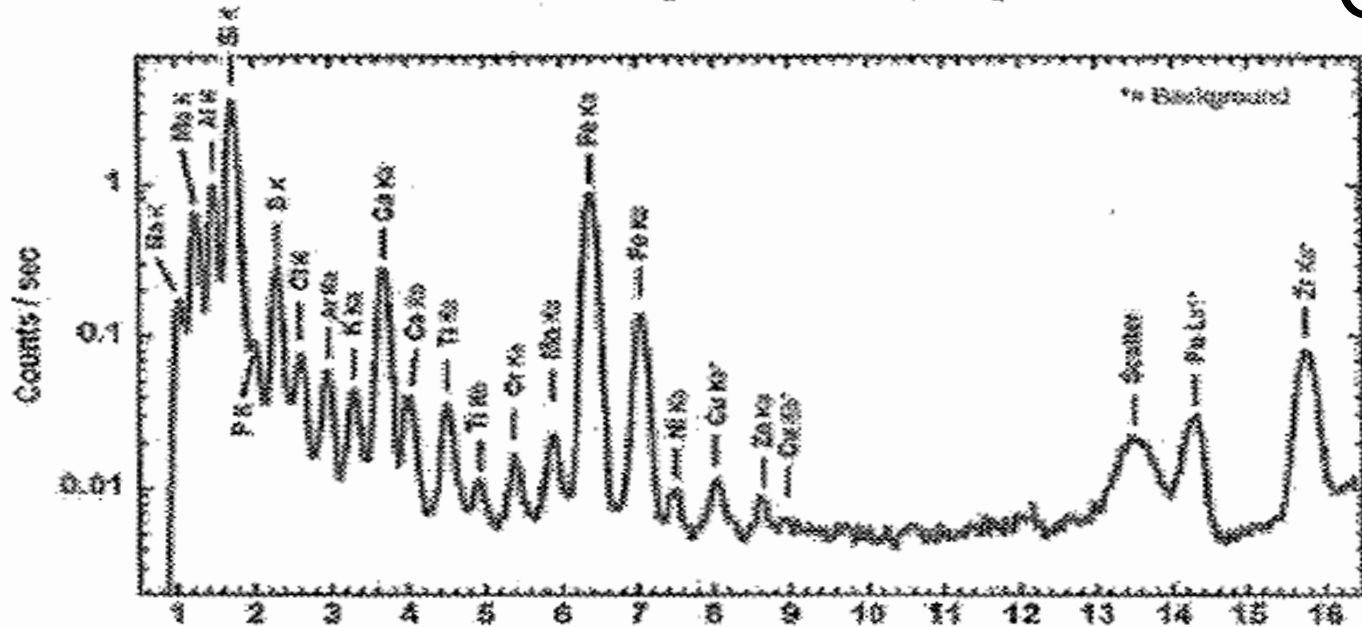


# Sojourner-APXS-Mars-1997





MER-A Spirit APXS X-Ray



PIXE,  
 $\alpha$  ( $\text{He}^{2+}$ ) -  
 APXS -ED-  
 detektorral  
 (Sojourner/  
 Spirit/  
 Opportunity  
 /Curiosity  
 Mars-  
 szondán)

# A röntgenfluoreszcenciás elemzés lehetőségei

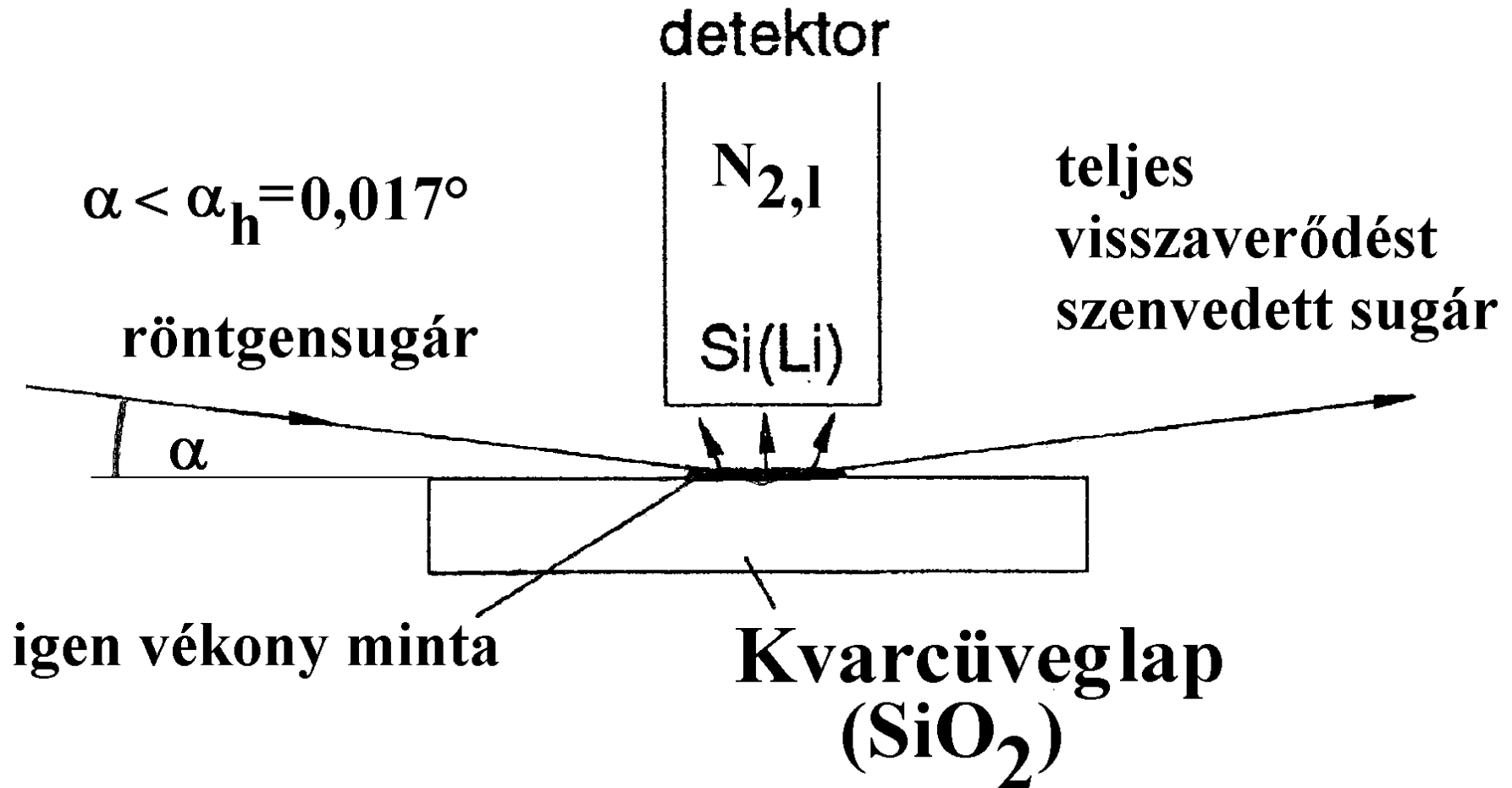
- Szilárd és folyékony halmazállapotú minták elemezhetők;
- Elemi összetételi információ (minőségi és mennyiségi elemzés):
  - B (Z=5) -- Na (Z=11) vákuumban vagy He-ban
  - Na (Z=11) -- U (Z=92) -- levegőben mérhető.
- Fő-, mellék- és nyomnyi (>1 ppm) komponensek is elemezhetők (LLD  $\leftrightarrow$  mérési idő);
- Különösen, ha nincs szelektív „nedvesanalitikai” módszer a birtokunkba:
  - Nb, Ta, Na, ritkaföldfémek
- Szimultán sokelemes analízis, automatizálva, pl. analizátor-kristály-váltogatással, ill. ED-detektorral felszerelve

# Mátrixhatások a röntgenfluoreszcenciás elemzésnél

- Fluoreszcens abszorpció:
  - Folyadék mintáknál (oldás:  $H_{(17)}Cl$  és  $H_{2(16)}SO_4$ -nél jobb a  $H_2O$ ,  $HNO_3$ )
  - Szilárd mintáknál az őrlöttségi fok, a szemcseméret, a tömörítettség, a sűrűség azonos legyen a kalibrációs mintákkal + **hígítás (keményítőpor, lítium-karbonát, gumi-arábikum, borax)**
  - Hígítással csökken a zavaró mátrix elem koncentrációja, de a mérendő jel értéke is!
  - Belső standard használata ( a mérendő elemre és a belső standardre azonos legyen a zavaró mátrix elem hatása)
    - A zavaró elem abszorpciós élének egyazon oldalára essen a mérendő elem és a belső standard mérő vonala, hogy hasonló mérvű abszorpciót szenvedjenek.
- Fluoreszcens intenzitásnövekedés(!):
  - Egy mátrix elem karakterisztikus sugárzása pótlólagosan gerjesztheti a mérendő elemet (nagyobb jelet mérünk a vártnál)
    - A belső standard és a mérendő elem abszorpciós élének azonos oldalaira essen a zavaró elem zavaró karakterisztikus sugárzása
    - ZAF iteratív korrekciós számítások

# Mátrixhatásmentes nyomelemzés teljes-reflexiós röntgenfluoreszcenciás (TR-XRF) elemzéssel

Kvarcüveglapon a teljes visszaverődés határszöge alatti esetben:  
Detektor nagyon közel helyezhető, nem jut bele az eredeti sugárból;  
Igen vékonyrétegben nagyon kicsi a mátrixzavarások lehetősége.  
Nagyon kis anyagmennyiségek és koncentrációk mérhetők (pl. esővíz)



# Mikrofókuszálású/mikrokollimálású röntgensöves berendezések

Újabban: A röntgensugárzást becsatolva egy kvarcüvegszál(nyaláb)hoz a teljes reflexiós szögeknél kisebb szögek alatt, így reflektálódik (vezetődik, fókuszálódik) a röntgensugárzás :

- mikro-porröntgendiffrakció;
- mikrofókuszált/mikrokollimált XRF;
- egykristály-röntgendiffrakciós felvételekhez.

Egyébként régebben

- megfelelően (parabolikusan, elliptikusan) görbített felületet beborító (parányi sík)monokromátorok segítségével, (nagyon drága jószágok)