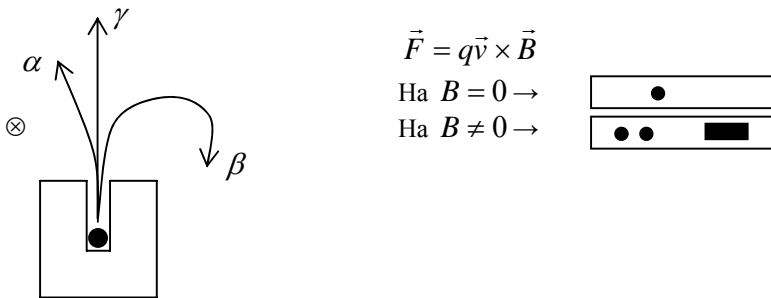


## Radioaktivitás, $\alpha$ -, $\beta$ - és $\gamma$ -bomlás, radioaktív bomlástörvény, bomlási sorok. A röntgen sugárzás (fékezési és karakterisztikus), a Moseley-törvény, az Auger folyamat

Radioaktivitás: 1896 Becquerel  $\rightarrow$  uránérc a fotopapírt megfeketíti (előhívás után persze), még ha az vastag papírba is van csomagolva.

Később az urán sugárzását (vákuumban és mágneses térben) sikerült összetevőkre bontani (Rutherford, Villard).

A sugárzások a rajz síkjára merőleges mágneses térben haladnak át



Tapasztalat: Lesznek olyan sugárzások, amik nem veszik figyelembe a mágneses mezőt, felfelé tartanak ( $\gamma$ ), lesz, ami kicsit vagy nagyon eltérül ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  nevet kaptak aszerint, hogy hogyan térülnek el.

$\alpha$ -sugárzás:  $+2e$  töltésű nehéz részecskékből áll, kicsi áthatoló képesség (még egy papírlap is megfogja). Később kiderítették, hogy az  $\alpha$  sugárzás nem más, mint He atommag.

Ha az  $\alpha$  sugárzást elnyeletik, akkor ott He keletkezik. Úgy gondolják, a Földön megtalálható He jelentős részben az  $\alpha$  sugárzásból származik.

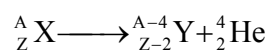
$\beta$ -sugárzás:  $-e$  töltése, könnyű részecskékből áll. Közepes az áthatoló képessége (üveglap megfogja). A  $\beta$ -sugárzás tehát nagy sebességű elektronokból áll.

$\gamma$ -sugárzás: ez az elektromágneses sugárzás. Nagy áthatoló képessége van (fémlapon is áthatol, csak vastag ólomlap fogja fel, de az sem teljesen). Nagy frekvenciájú.

Az  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  a leggyakoribb sugárzások, de másfajta (itt nem részletezett) sugárzások is léteznek a természetben.

**A sugárzások kibocsátása bomlási folyamatban történik (ma már tudjuk, hogy a bomlás az atommagon belül történik):**

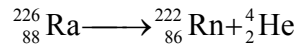
**$\alpha$  - bomlás:**



X: vegyjel, A: tömegszám, Z: rendszám

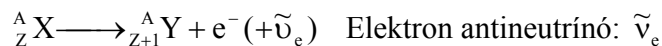
## Az $\alpha$ -bomlás során kémiai átalakulás történik.

Példa: Egy fémből két nemesgáz keletkezik

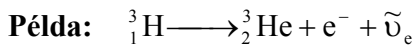


Megjegyzés: Tehát a kémiai elemek mégis egymásba alakíthatók (kémiai Nobel-díj egy fizikusnak, Rutherfordnak 1911-ben). Akár aranyat is lehetne így csinálni, de a bányászata sokkal olcsóbb.

## $\beta$ - bomlás:

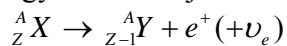


A  $\beta$  - bomlás is kémia átalakulással jár (a rendszám eggyel növekszik). Azt, hogy a béta bomláskor neutrínók is keletkeznek csak egy fél évszázaddal később (1956) sikerült bizonyítani. A neutrínók az anyaggal alig hatnak kölcsön, szinte kölcsönhatás nélkül eltűnnek előlünk, ezért tesszük zárójelbe őket.



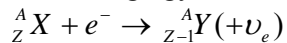
Hidrogénből lesz egy nemesgáz ez  $\beta^-$  bomlás.

(Kezdetben csak ezt a fajta béta bomlást ismerték. Később (a pozitron felfedezése után) kiderült, hogy van másfajta béta bomlás is:

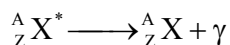


Itt a rendszám eggyel csökken, pozitron (az elektron antirészecskéje) és elektron neutrínó keletkezik. **Ez a pozitív béta bomlás ( $\beta^+$ )** nevet kapta, a fenti pedig értelemszerűen  **$\beta^-$** .

A pozitív béta bomlás alternatívája (tulajdonképpen a 3. féle béta bomlás) az **elektron befogás**. Itt a mag egy atomi belső héjon lévő (a magba szinte belógó) elektront fog be:



## $\gamma$ - bomlás:



Itt nem történik kémiai átalakulás. Legerjesztődéssel jár. Általában követi az  $\alpha$ - vagy  $\beta$ - bomlást.

## Radioaktív bomlástörvény

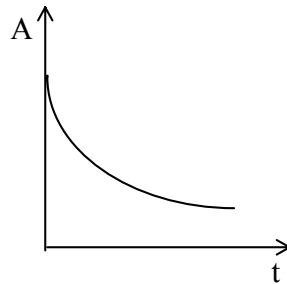
Az **aktivitás** az időegység alatt bekövetkező radioaktív bomlások száma:  $A = \left| \frac{dN}{dt} \right| = - \frac{dN}{dt}$

, ahol N az adott fajta radioaktív atommagok száma

Az **aktivitás** mértékegysége: [A]=Bq (becquerel), 1 Bq=1 bomlás/sec

Korábbi egysége: 1Ci (curie), 1Ci =  $3,7 \cdot 10^{10}$  Bq (= 1g Ra radioaktivitása)

**Kísérleti tapasztalat:** Az aktivitás az idő függvényében  $A=A_0e^{-\lambda t}$  fv. szerint változik.



A radioaktivitása minden anyagnak exponenciálisan csökken.  
Az időegység a  $\mu\text{s}$  és a milliárd év között van.

### Magyarázat:

Az időegység alatt bekövetkező bomlások száma arányos a még meglévők számával:

$$-\frac{dN}{dt} = -\lambda N$$

$\lambda$  : *bomlási állandó*: annak a valószínűsége, hogy az adott atommag a következő másodpercben elbomlik (1/s)

$\lambda$  független attól, hogy a radioaktív anyag mikor keletkezett, továbbá független minden külső körülménytől is.  $\lambda$  tehát csak az anyagi minőségtől függ.

$$\int \frac{dN}{N} = -\lambda \int dt$$

$$\ln N = -\lambda t + C$$

$$N = e^{-\lambda t + C} = N_0 e^{-\lambda t}$$

(kezdőfeltétel:  $N(t=0) = N_0$ )

Aktivitás:

$$A = -\frac{dN}{dt} = N_0 \lambda e^{-\lambda t} = A_0 e^{-\lambda t}$$

Kezdőfeltétel az aktivitásra:  $A(t=0) = A_0$

$$A_0 = \lambda N_0$$

$$A = \lambda N$$

### Felezési idő: $T_{1/2}$

Az az idő, ami alatt a radioaktív anyag fele elbomlik.

$$A = A_0 e^{-\lambda t} ; N = N_0 e^{-\lambda t} \quad \text{Radioaktív bomlástörvény}$$

$$N_0/2 = N_0 e^{-\lambda T_{1/2}}$$

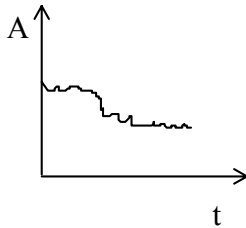
$$-\ln 2 = -\lambda T_{1/2}$$

$$\lambda = \ln 2 / T_{1/2}$$

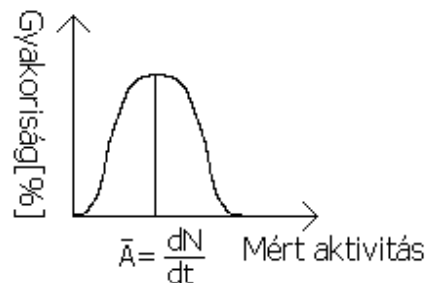
### A radioaktív bomlás statisztikus jellege

A fentiek csak nagy aktivitású anyagra igazak. Kis aktivitásoknál kidomborodik a bomlás statisztikus jellege, amiről ez a tárgyalás nem ad számot. A fenti módon számított aktivitás valójában a mérés várható értékét jelenti, amitől a konkrét mérési eredmények eltérhetnek. Nagy elemszámnál (nagy aktivitásnál) a konkrét mérési eredmény és annak várható értéke gyakorlatilag egyezik, de kis aktivitásnál jelentős eltérések adódhatnak.

A mért kis aktivitás az idő függvényében tehát ingadozik.



A bomlások egymástól független események, ezért használható a POISSON-eloszlás.



### **Bomlási sorok**

$\alpha$  - bomlás:  $A' = A - 4$   
 $\beta$  - bomlás:  $A' = A$   
 $\gamma$  - bomlás:  $A' = A$

elvbén 4db bomlási sor lehet (a 4-gyel való osztás maradékosztályainak megfelelően)

A radioaktív anyagok tehát 4 osztályba sorolhatók (radioaktív bomlással nem lehet egyik osztályból a másikba átlépni).

$A = 4n$  tórium sor

$A = 4n+1$  (a természetben már nem létezik)

$A = 4n+2$  Urán rádium sor

$A = 4n+3$  Aktínium sor, ebből is kevés van, de az  ${}^{235}_{92}\text{U}$  bomlása miatt fontos

### **1, Tórium-sor**

$A = 4n$ , anyaelem:  ${}^{232}_{90}\text{Th}$ , gyakori a természetben,  $T_{1/2} = 1,4 \cdot 10^{10}$  év

### **2, Neptúnium-sor**

$A = 4n + 1$ , anyaelem:  ${}^{237}_{93}\text{Np}$ , a természetben már nem létezik, mert az anyaelem felezési ideje nem elég hosszú ( $T_{1/2} = 2,1 \cdot 10^6$  év)

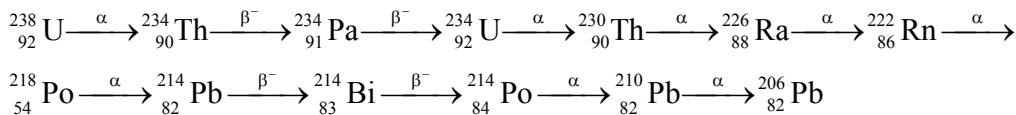
### 3, Urán-rádium-sor

$A = 4n + 2$ , anyaelem:  ${}^{238}_{92}\text{U}$ ,  $T_{1/2} = 4,5 \cdot 10^9$  év

### 4, Aktínium-sor

$A = 4n + 3$ , anyaelem:  ${}^{235}_{92}\text{U}$ ,  $T_{1/2} = 7,1 \cdot 10^8$  év, a végállapot minden esetben egy-egy ólom izotóp

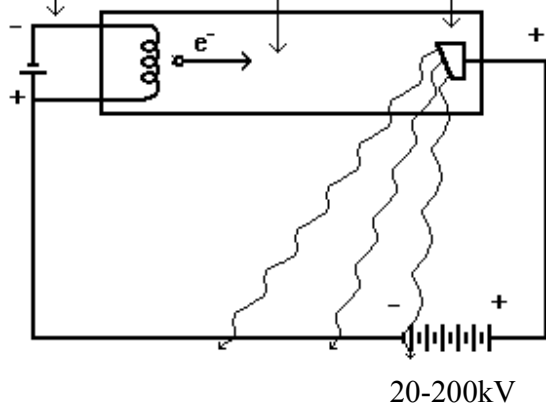
Példaként nézzük az urán-rádium sort (8 db  $\alpha$ -bomlás ( $238-206=32=8 \cdot 4$ ) és 6 db  $\beta$ -bomlás ( $92-82=10=8 \cdot 2-6$ )).



### A röntgensugárzás (1895, C. Röntgen) :

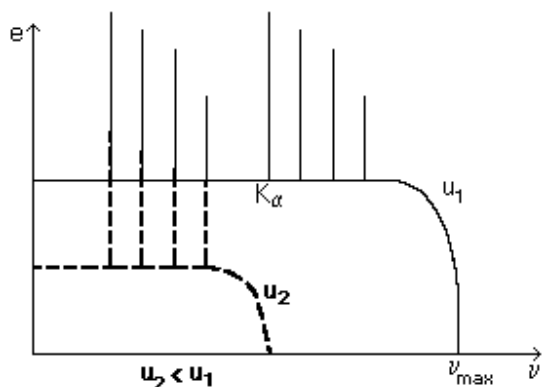
A világon sok helyen X-sugárzásnak is nevezik.

Előállítása: izzó katód      vákuum      anód



- 1.) A katódból kilépő elektronok az anód felé gyorsulnak.
- 2.) Az anódba becsapódó elektronok váltják ki az anódból a röntgensugárzást.
- 3.) Az elektronok energiájának csak  $\approx 1\%$ -a lesz a röntgensugárzás energiája, a többi az anódban nyelődik el. Emiatt szükséges, hogy az anód nagy darab, nehezen olvadó fém (pl.: wolfram) legyen, lehetőleg vízzel hűtött vagy forgatott.
- 4.) A röntgensugárzás nagyenergiájú elektromágneses sugárzás (hasonlóan a  $\gamma$ -sugárzáshoz).

### A röntgensugárzás spektrális eloszlása:



a.) folytonos rész: fékezési röntgensugárzás.

Az elektron lefékeződik az anód anyagában, és fékezés során bocsát ki 1 vagy több fotont.

$$W = U \cdot e \quad U \text{ a gyorsító feszültség}$$

$$h \cdot \nu_{\max} = U \cdot e \rightarrow \nu_{\max} = \frac{U \cdot e}{h}$$

b.) diszkrét vonalak: karakterisztikus röntgensugárzás (mert jellemző az anód anyagára).

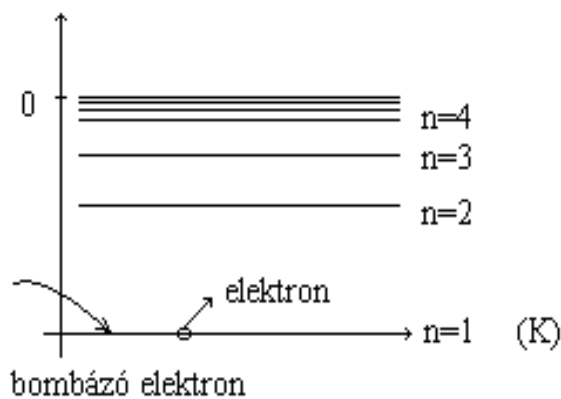
A karakterisztikus vonalak helye független a gyorsító feszültségtől.

Moseley-törvény:(1913)

A  $K_\alpha$ -vonalra vonatkozik (a legnagyobb energiájú sorozat legintenzívebb vonala).

$$\nu_{K_\alpha} = \frac{3}{4} \frac{E^*}{h} (Z-1)^2, \text{ ahol } E^* = 2,18 \text{ aJ}$$

Z: az anód anyagának rendszáma

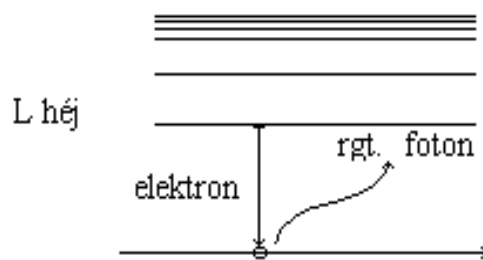


**1. lépés**

$$h\nu_{21} = E_2 - E_1$$

Ismert, hogy az egyelektronos (hidrogén) atom energiája:  $E_n = -\frac{E^*}{n^2}; \quad n = 1, 2, 3, \dots$

$Z^*$  db elektron esetén az energia:  $E_n = -\frac{E^*}{n^2} (Z^*)^2$  ezt behelyettesítve a fenti képletbe

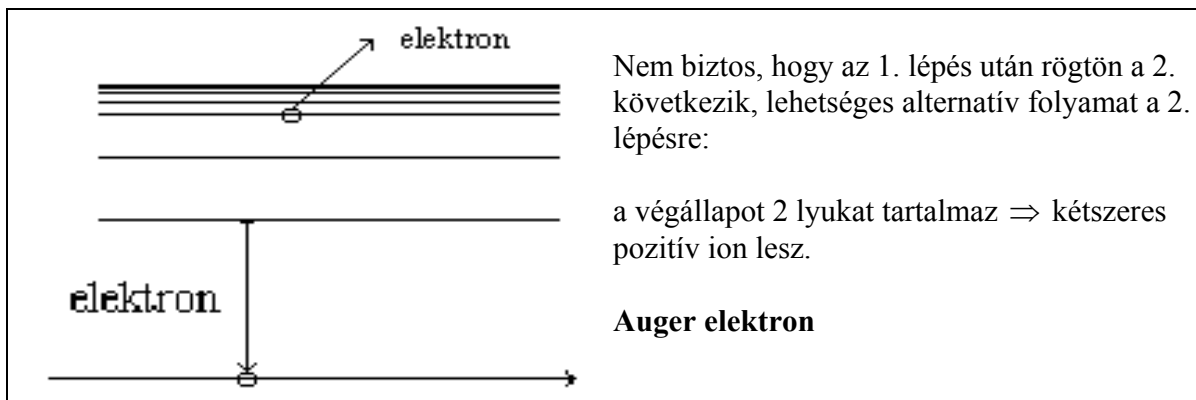


**2. lépés**

$$\nu_{12} = \frac{1}{h} \left[ -\frac{E^*}{2^2} (Z^*)^2 + -\frac{E^*}{1^2} (Z^*)^2 \right]$$

$$\nu_{12} = \frac{E^2}{h^2} (Z^*)^2 \underbrace{\left( \frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2} \right)}_{\frac{3}{4}} = \frac{3}{4} \frac{E^*}{h} (Z^*)^2$$

$Z^* \approx Z - 1$  minden  $Z$ -re, erre az átmenetre.



A rendszámától függ, hogy a röntgen sugárzás vagy az Auger elektron lesz domináns. Ha  $Z$  értéke nagy akkor a röntgen sugár lesz a domináns ha kicsi akkor az Auger elektron.

A karakterisztikus röntgensugárzás kémiai analízisre használható. Egyik legjobb roncsolásmentes vizsgálat.

Elektron bombázás: elektron mikroszkóp.

Röntgen bombázás: RFA - röntgen fluoresszcencia analízis.

Proton bombázás: PIXE - proton induced X-ray emission.