

# Sugárzások kölcsönhatása az anyaggal

Dr. Vincze Árpád

[vincze@oah.hu](mailto:vincze@oah.hu)

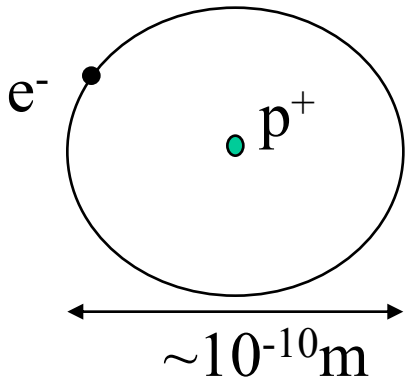
# Mitől függ a kölcsönhatás?

## VÁLASZ:

- Az anyag felépítése
- A sugárzások típusai, forrásai és főbb tulajdonságai
- A sugárzások és az anyag lehetséges fizikai kölcsönhatásai – fizikai tulajdonságok változása
- Kémiai hatások

## Atomok és molekulák

H-atom:



1897 – *Thomson*:

$$m_e = 9.109 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \equiv 0.511 \text{ MeV}$$

$$1 \text{ eV} = 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$E = mc^2; c \approx 3 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1}$$

$$m_{\text{proton}} = 1.6724 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \equiv 938.2 \text{ MeV}$$

1906- Rutherford: az atommag sugara

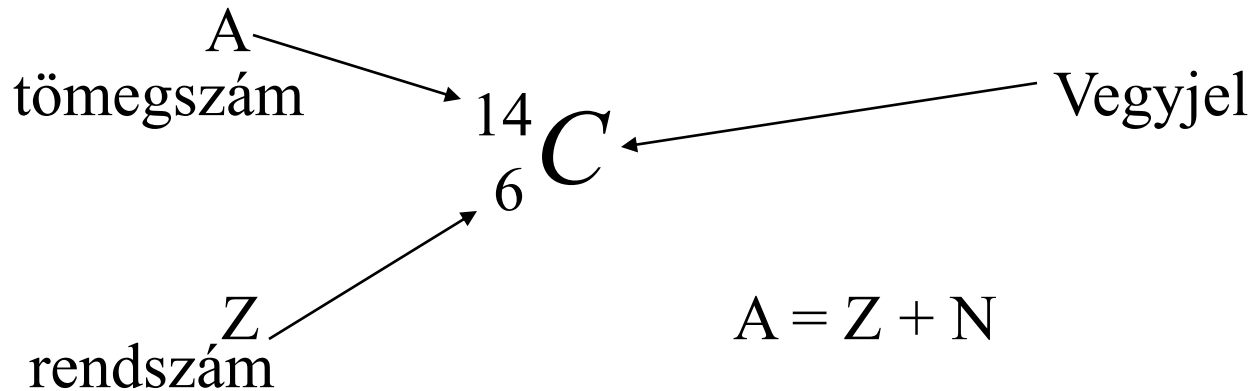
$$R \approx R_0 \cdot A^{1/3}$$

ahol  $R_0 = 1.3 \cdot 10^{-15} \text{ m}$  és  $A = \text{atomtömeg}$

## 1932 - Chadwick felfedezte a neutront:

Z db elektron a héjakon,

Z db proton és A-Z db neutron a magban



Azonos A  $\implies$  IZOBÁROK

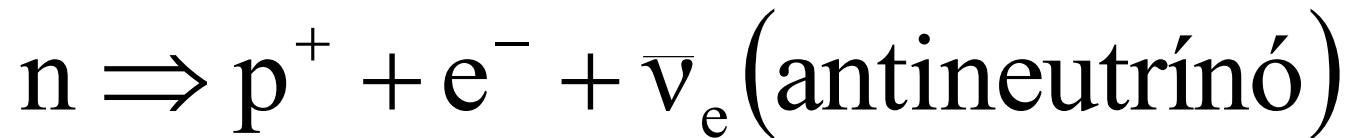
Azonos Z  $\implies$  IZOTÓPOK

Azonos N  $\implies$  IZOTÓNOK

# A proton és a neutron finomszerkezete

$$m_{\text{neutron}} = 1.6749 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \equiv 939.5 \text{ MeV}$$

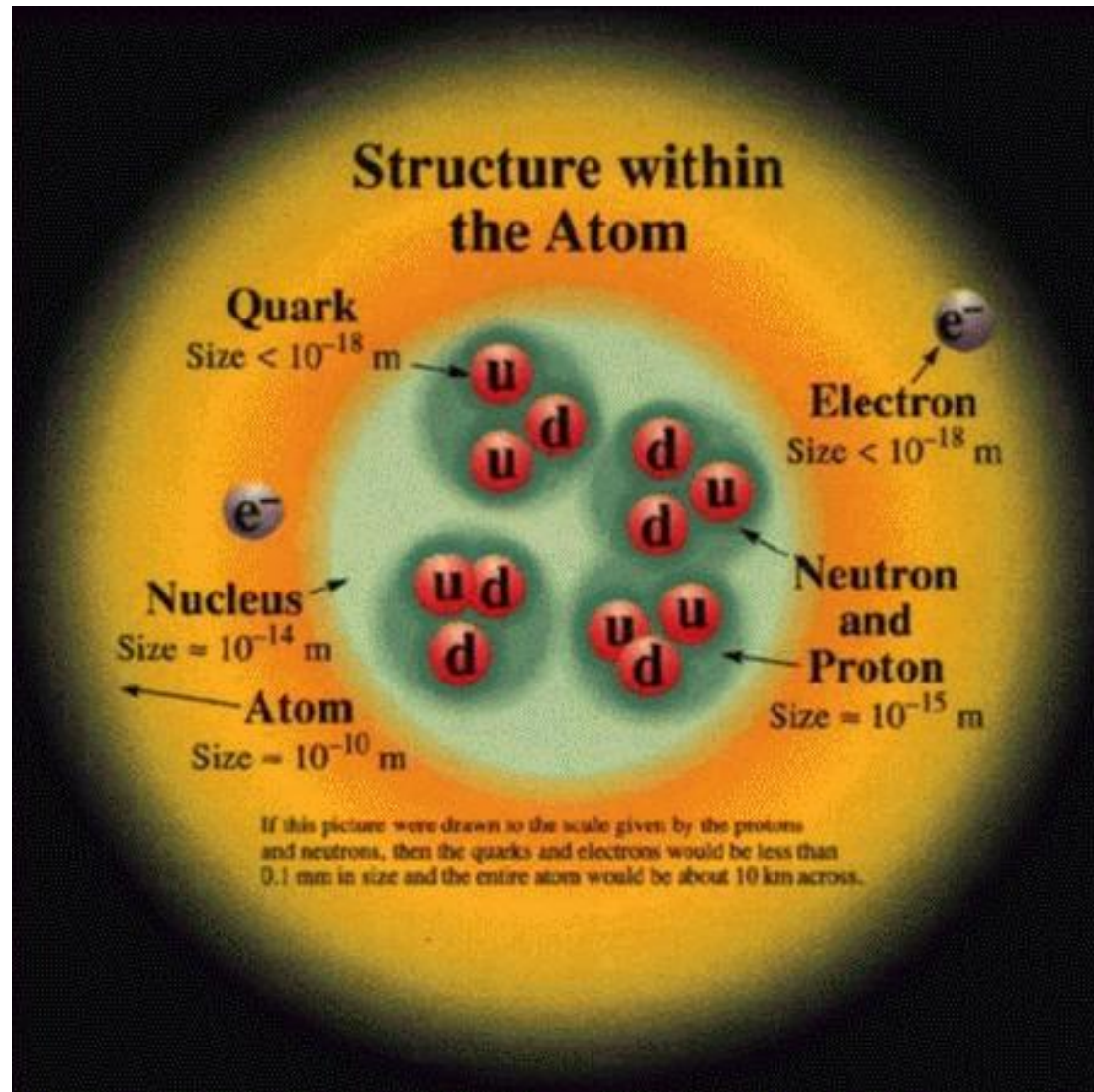
A neutron nem stabilis, átlagos élettartalma 16.9 perc:



A neutron és a proton is tovább osztható!

===== > STANDARD MODELL

# Az atom finomszerkezete



# Elemi részecskék - 1996

<b>FERMIONS</b>			matter constituents spin = 1/2, 3/2, 5/2,...		
<b>Leptons spin = 1/2</b>			<b>Quarks spin = 1/2</b>		
Flavor	Mass GeV/c <sup>2</sup>	Electric charge	Flavor	Approx. Mass GeV/c <sup>2</sup>	Electric charge
$\nu_e$ electron neutrino	$< 7 \times 10^{-9}$	0	<b>u</b> up	<b>0.005</b>	2/3
<b>e</b> electron	0.000511	-1	<b>d</b> down	<b>0.01</b>	-1/3
$\nu_\mu$ muon neutrino	$< 0.0003$	0	<b>c</b> charm	1.5	2/3
<b><math>\mu</math></b> muon	0.106	-1	<b>s</b> strange	<b>0.2</b>	-1/3
$\nu_\tau$ tau neutrino	$< 0.03$	0	<b>t</b> top (initial evidence)	<b>170</b>	2/3
<b><math>\tau</math></b> tau	1.7771	-1	<b>b</b> bottom	4.7	-1/3

## Alapvető kölcsönhatások

Kölcsönhatás típusa	Erőhordozó	Relatív erősség	Időtartam
erős	gluon	1	$10^{-23}$
elektromágneses	foton	$10^{-2}$	$10^{-20}$ - $10^{-11}$
gyenge	bozon	$10^{-5}$	$10^{-10}$ - $10^{-6}$
gravitációs	graviton	$10^{-40}$	-



# Az egyes sugárzások típusai és forrásai

Kérdés: Mit nevezünk sugárzásnak?

Válasz: Térben és időben terjedő energia

Hogyan jellemezhetjük?

Az energiát hordozó részecskék

a., típusa

b., energia szerinti (spektrális) eloszlása

c., intenzitása (fluxusa)

alapján

## Forrásaik alapján:

- a., atommag eredetű (nukleáris)
  - alfa, béta, gamma, neutron, proton
- b., elektron-héj eredetű
  - röntgen, Auger, UV
- c., atomok, molekulák gerjesztéséből származó
  - UV, VIS, IR
- d., elektromágneses térrel kapcsolatos
  - mikro-, rádió-hullámok
- e., töltött részecskék gyorsítása
  - gyorsítók, lézeres részecske gyorsítás

## Hatásuk alapján:

- a., Közvetlenül ionizáló (alfa, béta, gamma, röntgen, UV)
- b., Közvetve ionizáló (neutron)
- c., Nem ionizáló (UV, VIS, IR, mikro, rádió és hanghullámok)

# Nukleáris sugárzások

1896 - Becquerell:==> RADIOAKTIVITÁS

-Léteznek nem stabil atomok, amelyek spontán bomlanak

Hogyan jellemezhetjük a stabilitás mértékét?

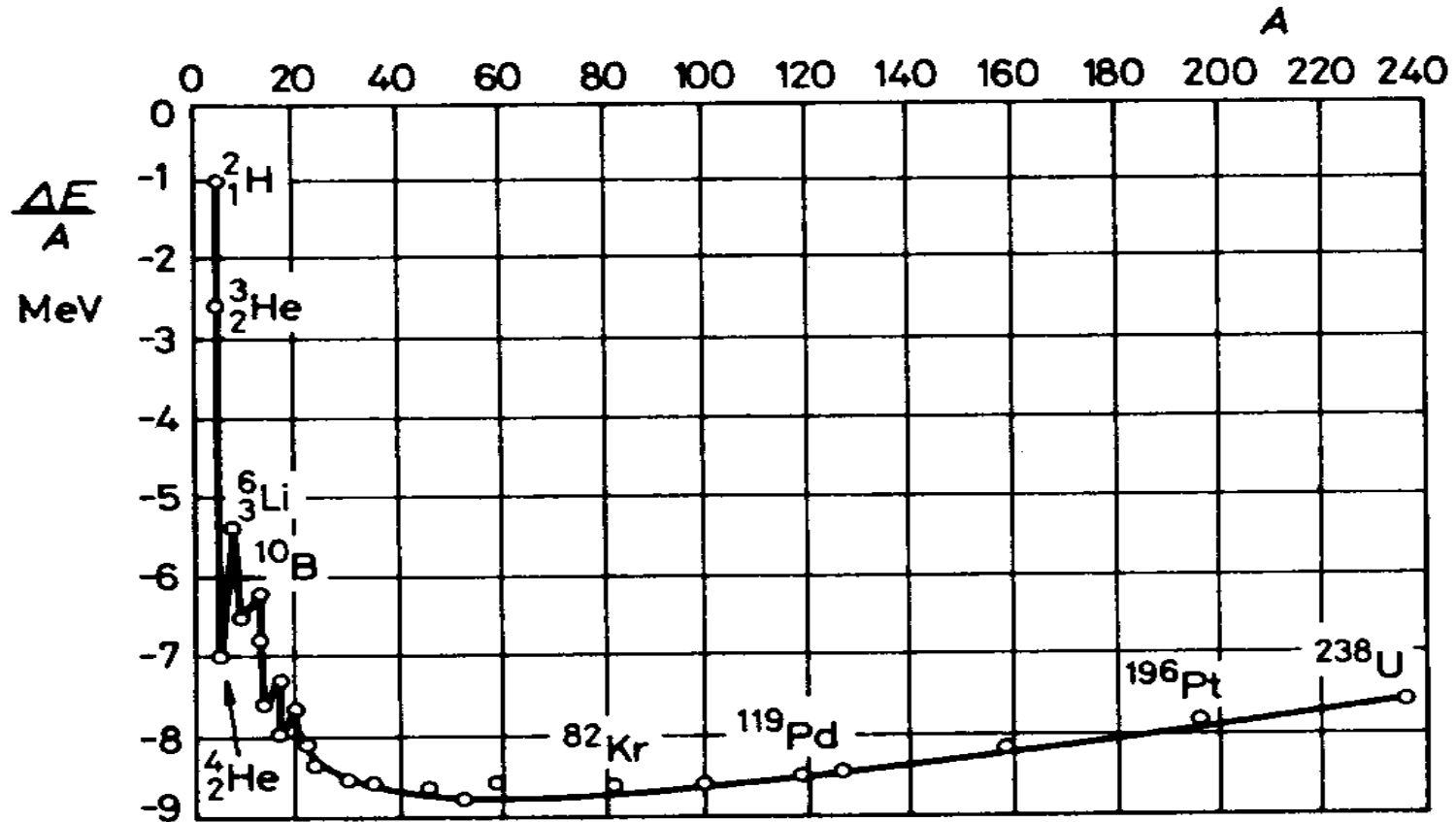
Az atommag kötési energiája:

$$Z \cdot m_p + N \cdot m_n \rangle m_A$$

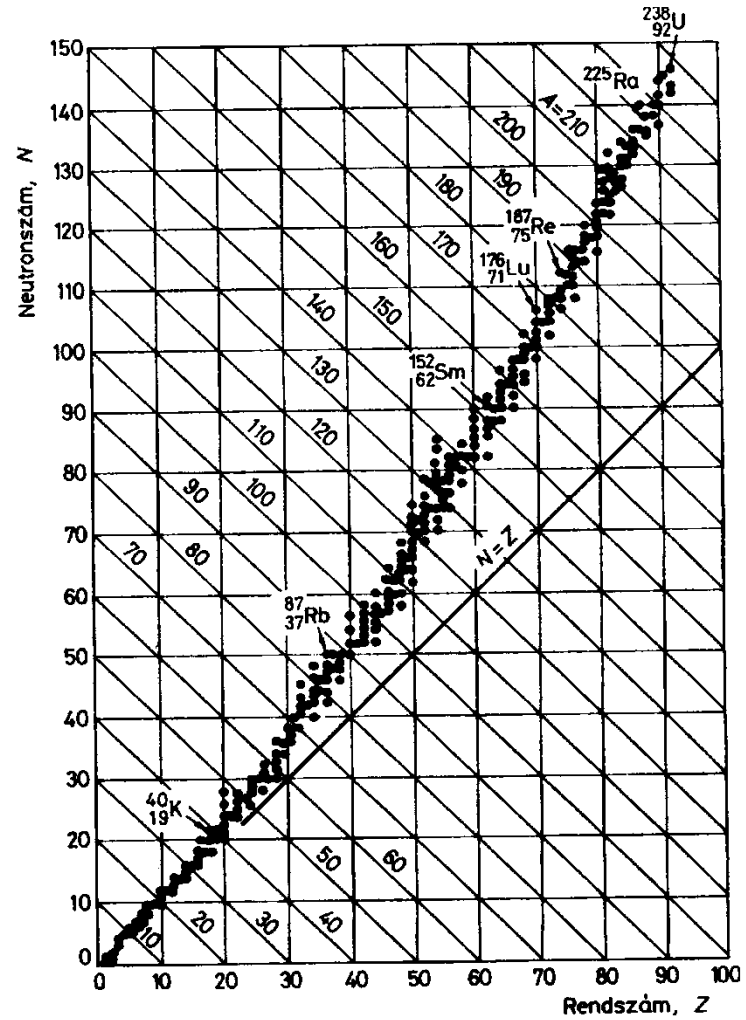
$$\Delta m = m_A - (Z \cdot m_p + N \cdot m_n) - \text{tömegdefektus}$$

$$\Delta E = \Delta m \cdot c^2 - \text{kötési energia}$$

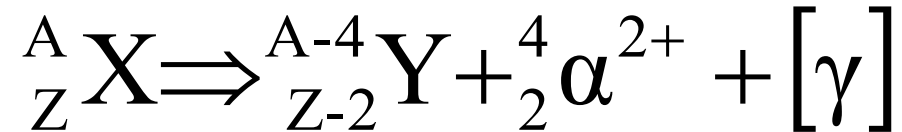
Az egy nukleonra eső átlagos kötési energia  
a tömegszám függvényében



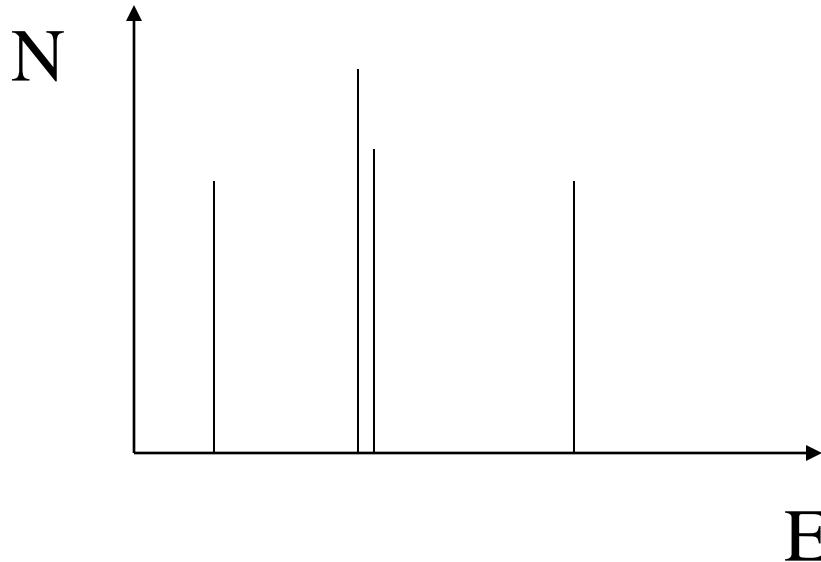
# N/Z változása a rendszám függvényében



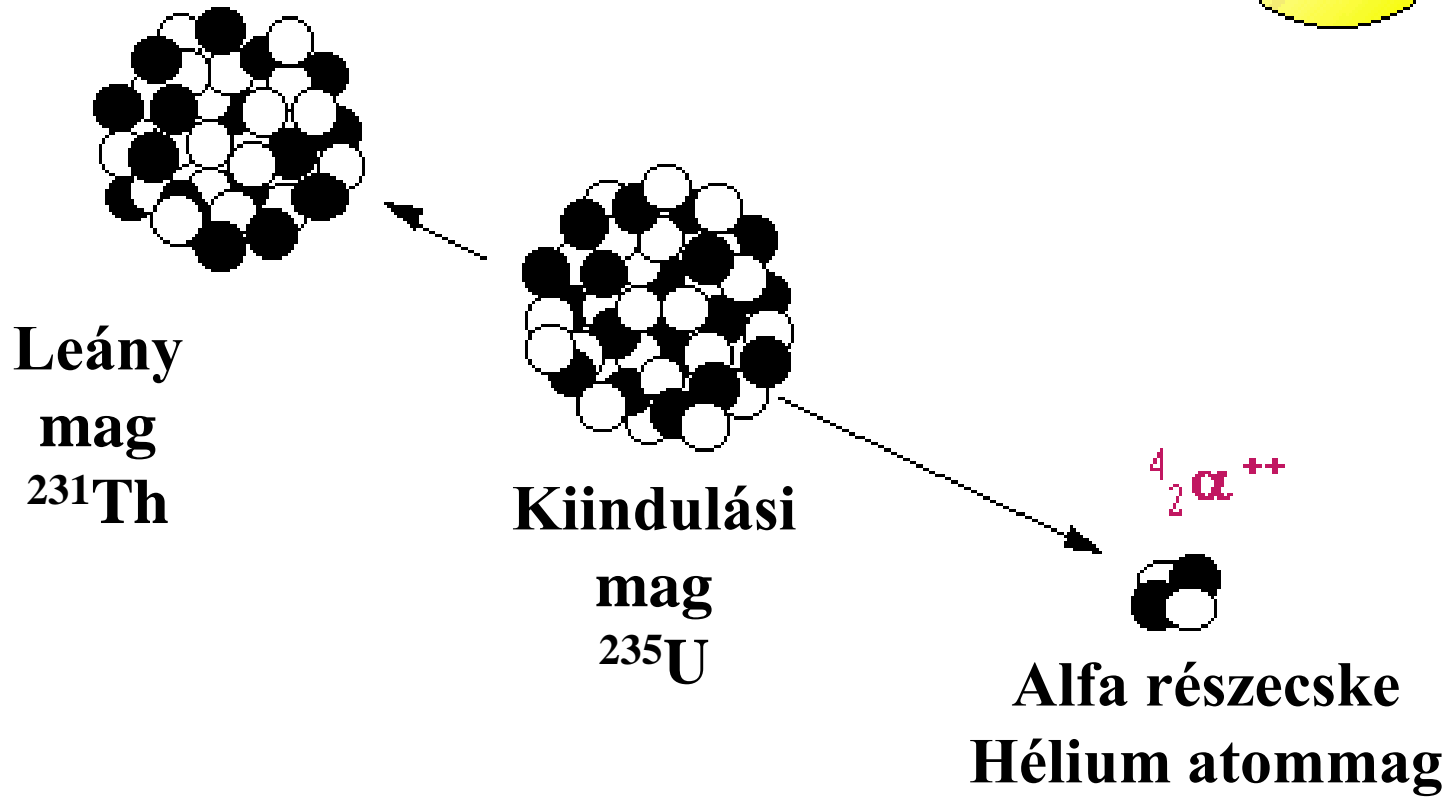
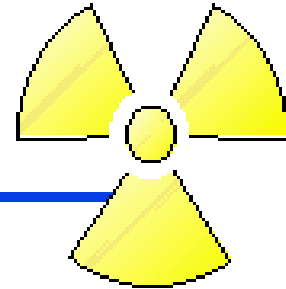
# $\alpha$ -bomlás



- Nagy energiájú részecskék (3-9MeV)
- Spektrális eloszlásuk vonalas

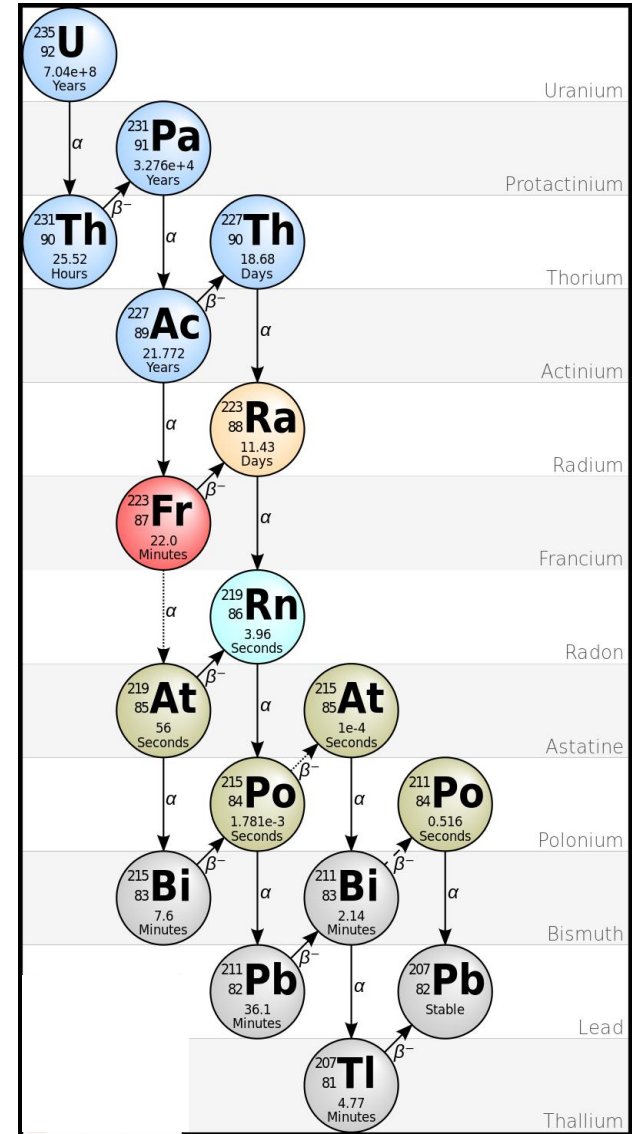
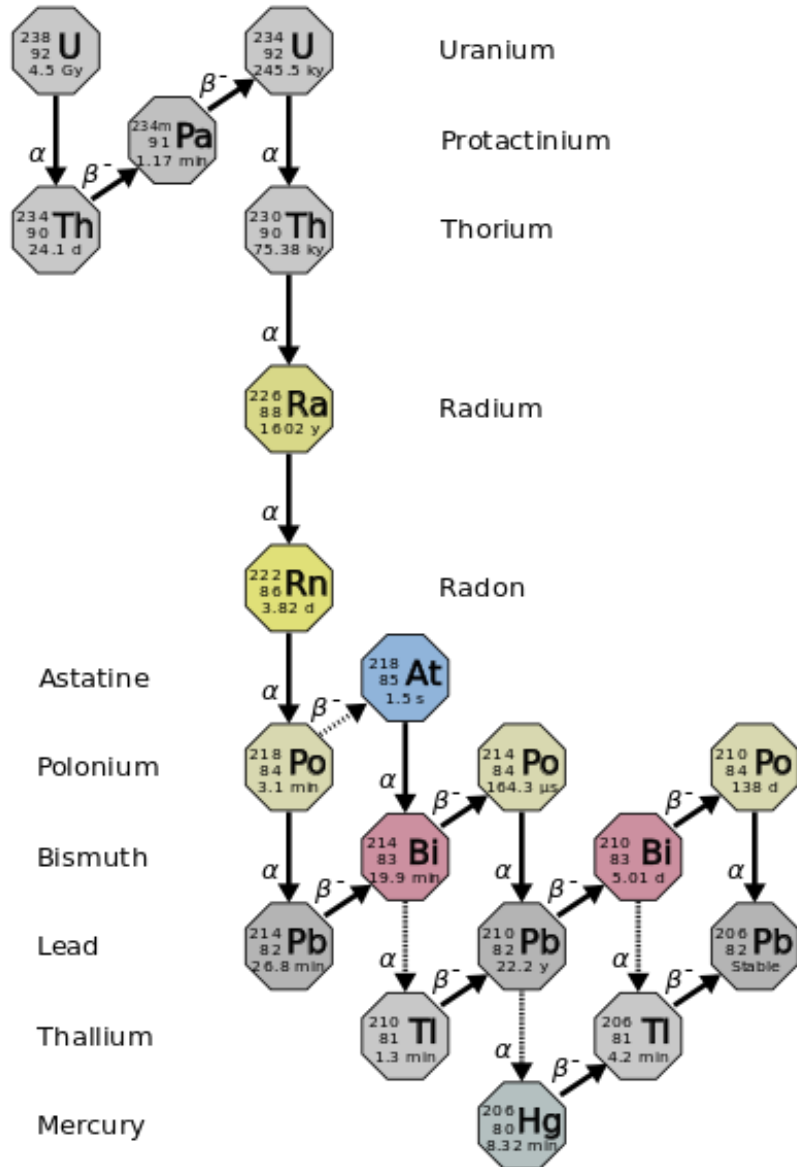


# Alfa Sugárzás

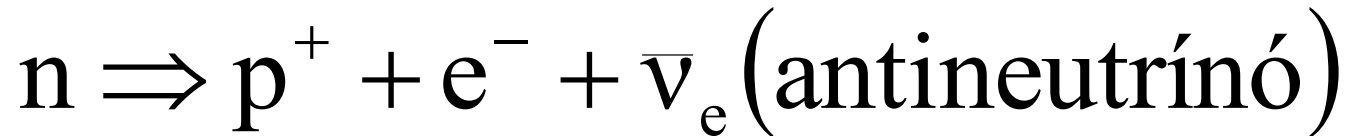
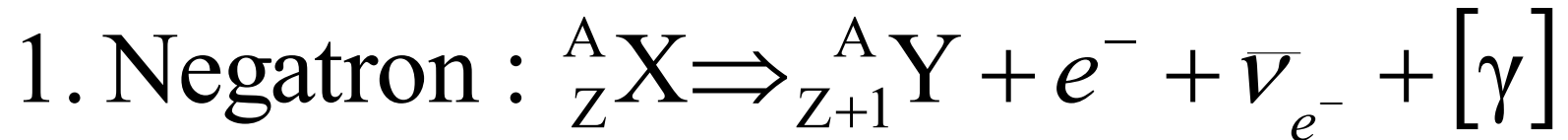




# $^{238}\text{U}$ és $^{235}\text{U}$ bomlása

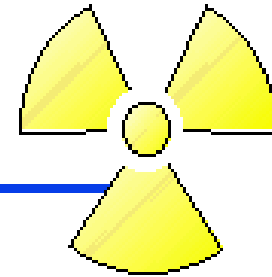


# $\beta$ -bomlások

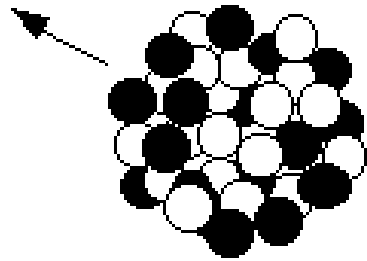


- Nagy energiájú elektronok (0.01-3MeV)
- Folytonos energiaspektrum ( $E_{\max}$ ).

# Béta sugárzás



$^{40}\text{Ca}$



$^{40}\text{K}$

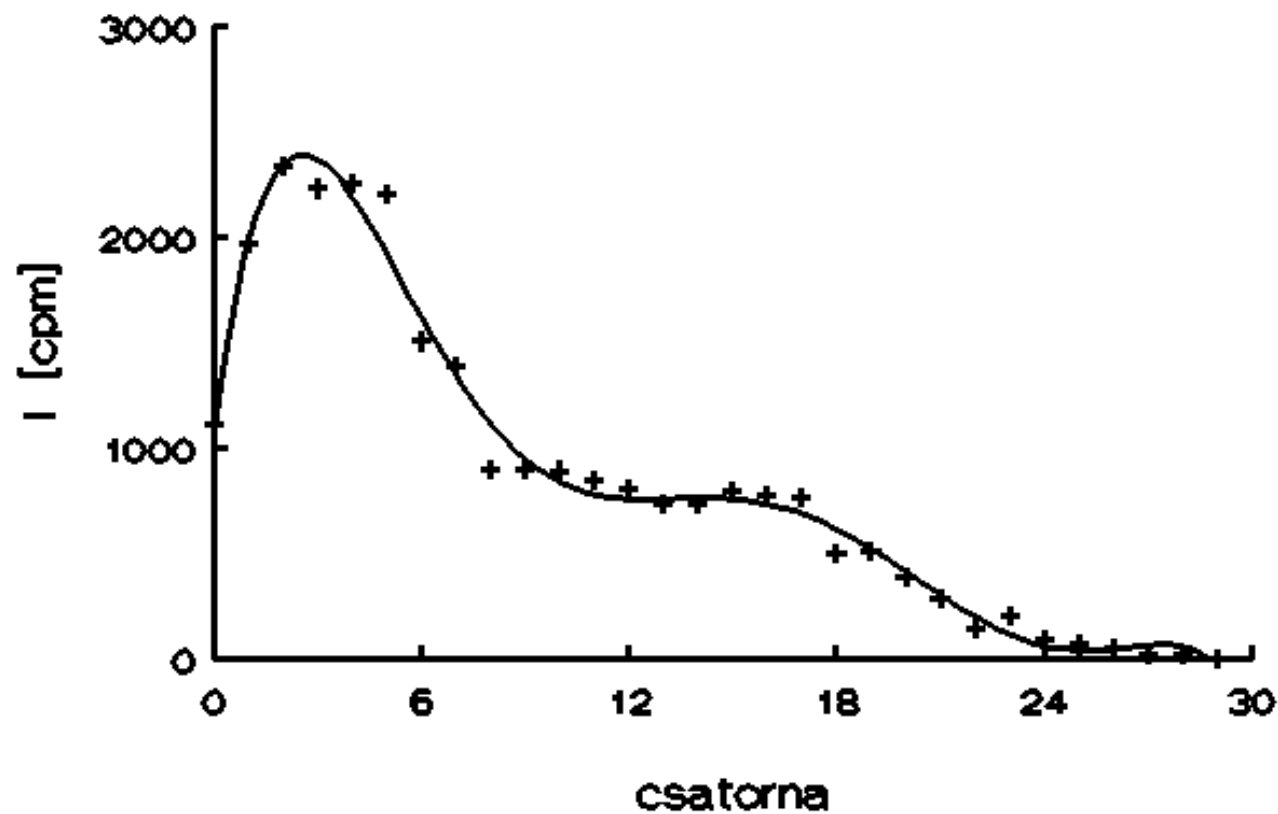
$^0_0\nu$   
+  
Antineutrino

$^0_{-1}\beta^-$

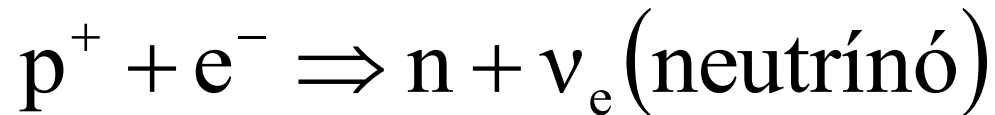
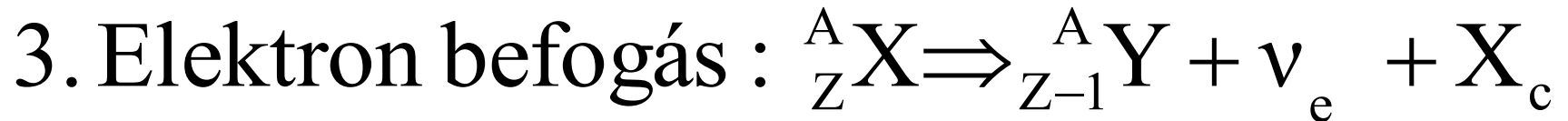
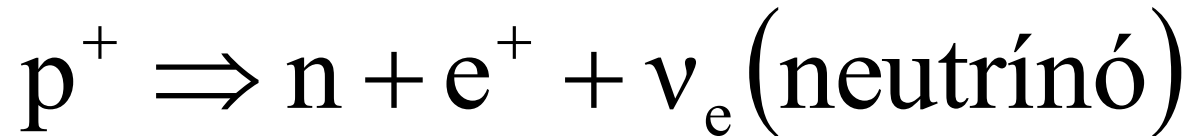
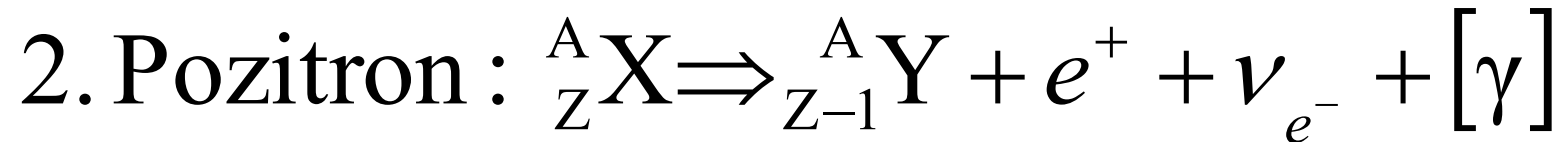
Béta negatív részecske (elektron)

gombforrás béta-spektruma  
90-Sr 90-Y

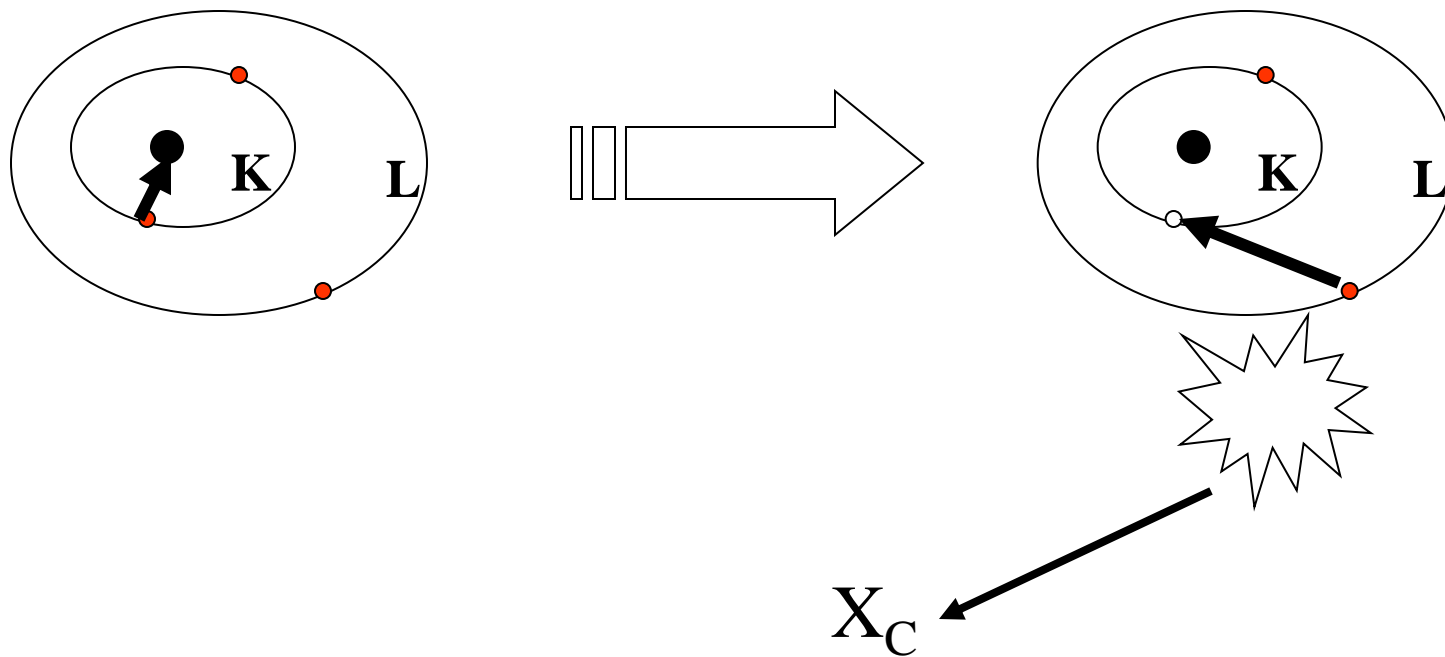
+ gombforrás



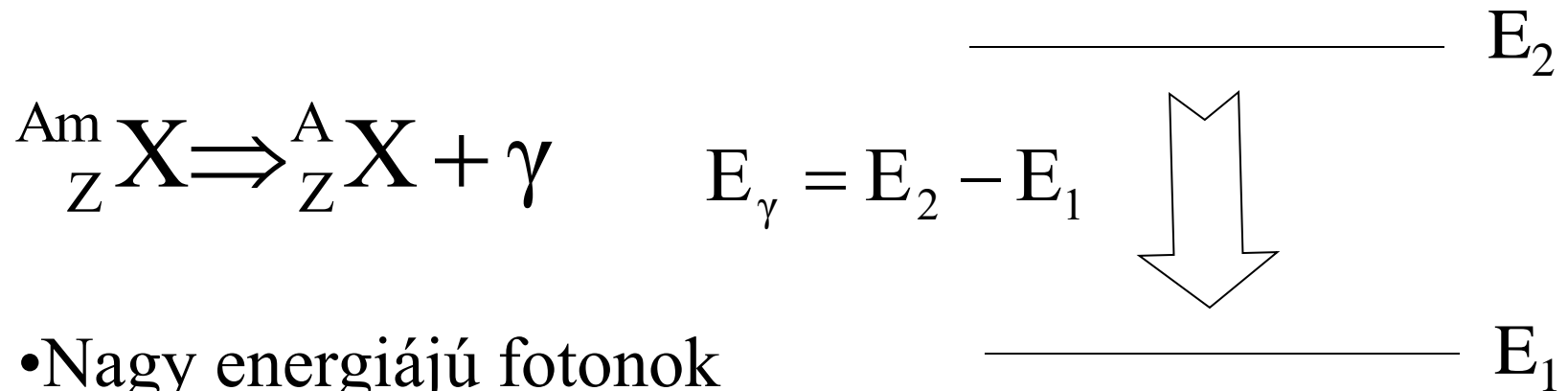
## $\beta$ -bomlások



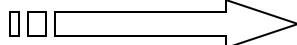
# Elektron befogás

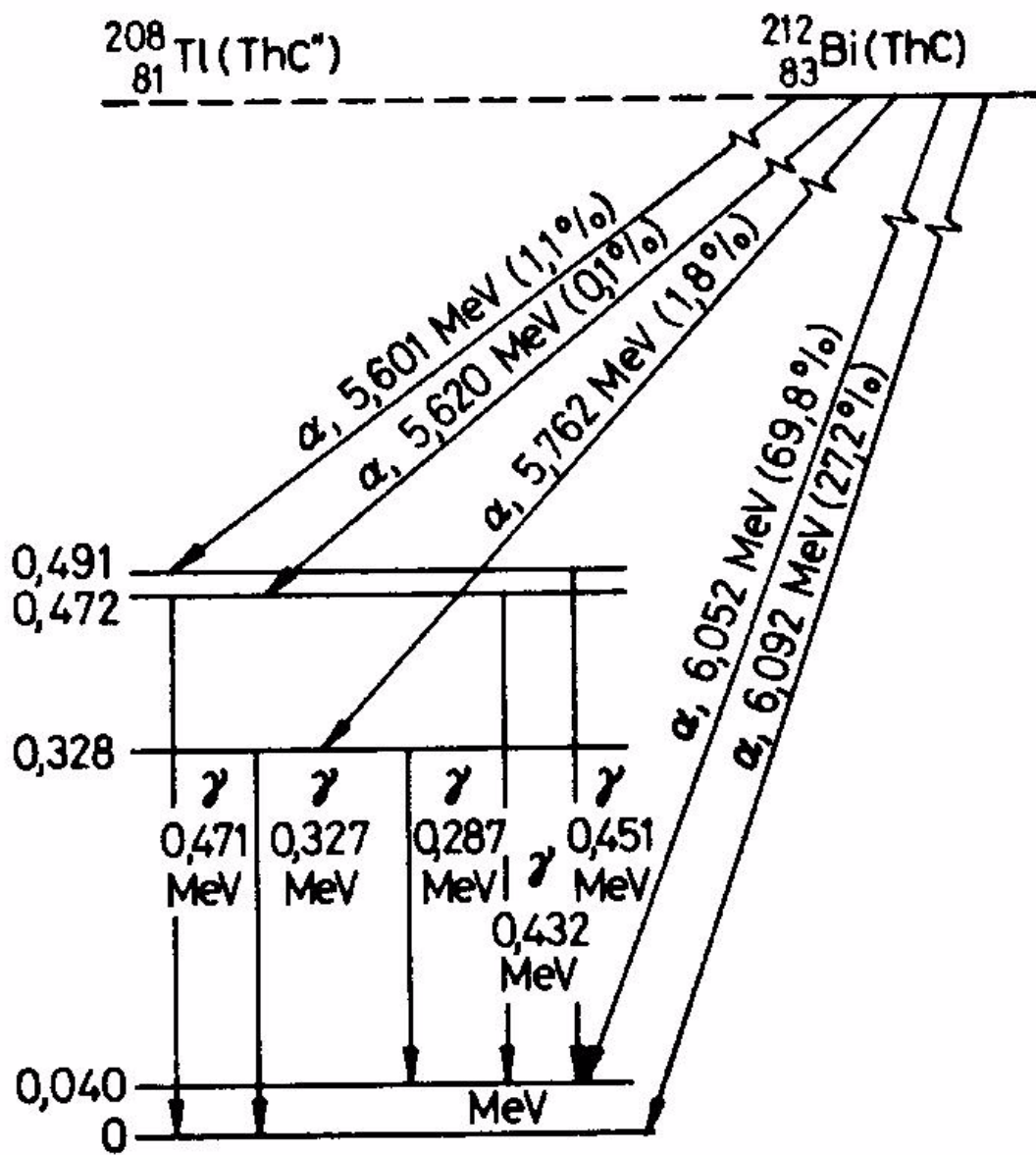


# $\gamma$ -bomlás, izomer átalakulás



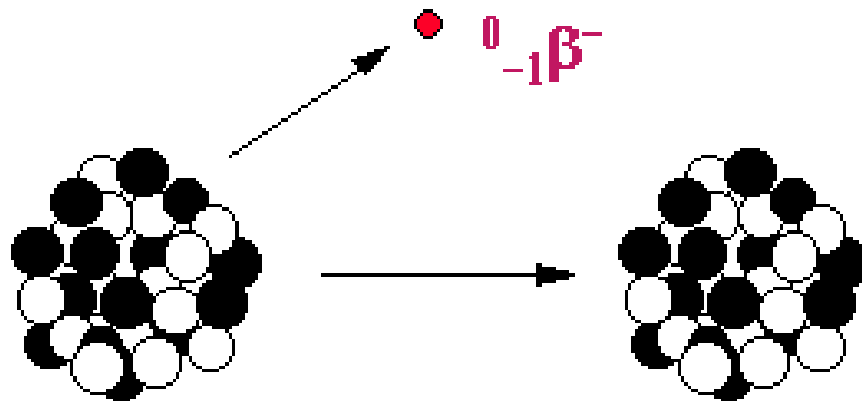
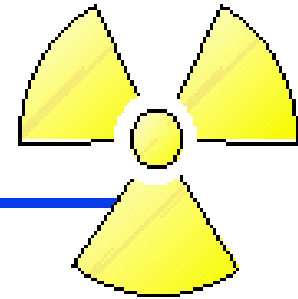
- Nagy energiájú fotonok
- Vonalas spektrum

Belső konverzió  Konverziós elektron sugárzás





# Gamma sugárzás



$^{60}\text{Co}$

$^{60}\text{Ni}$



Gamma sugarak

# Neutron sugárzás

## Forrásai:

- spontán neutronbomlás ( $^{137}\text{Xe}$ )--> reaktormérgek
- maghasadás (spontán, atomreaktorok)
- ( $\alpha$ ,n) magreakciók (hordozható neutronforrások)

# Neutrínó sugárzások

## Forrásai:

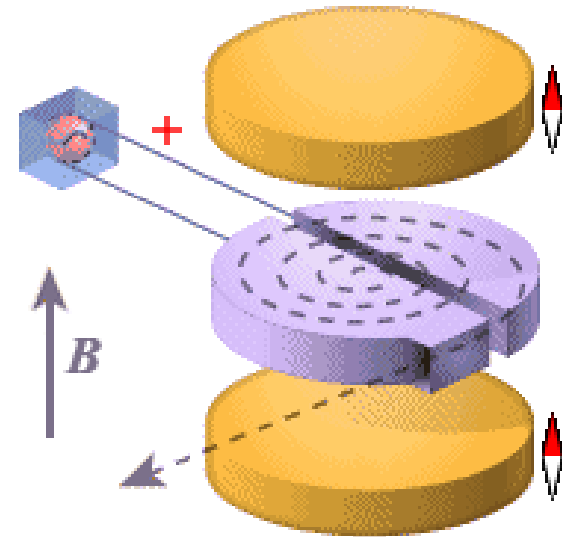
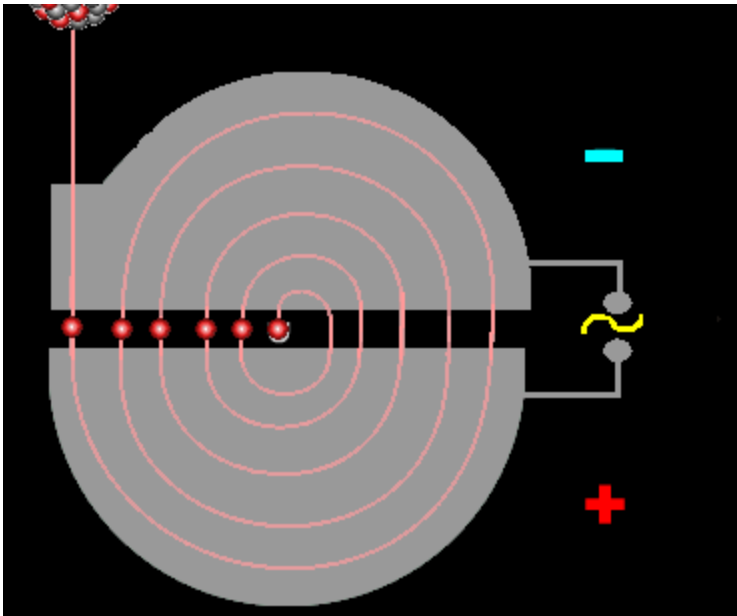
- radioaktív bomlások
- kozmikus (nap)

# Töltött részecske sugárzások

## Lineáris gyorsító



## Ciklotron

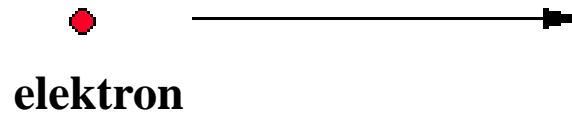


# Röntgensugárzás

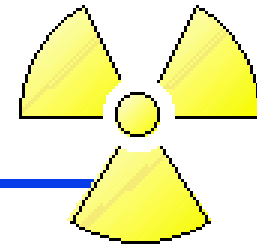
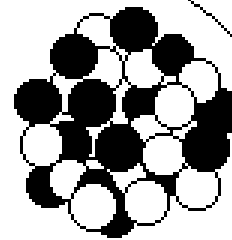
1895 W.C. Röntgen német fizikus:  
légritkított kisülési csövek vizsgálata közben fedezte fel.

- Karakterisztikus (elem analitika)
- Fékezés (diagnosztika)

# Fékezési Röntgensugárzás keletkezése

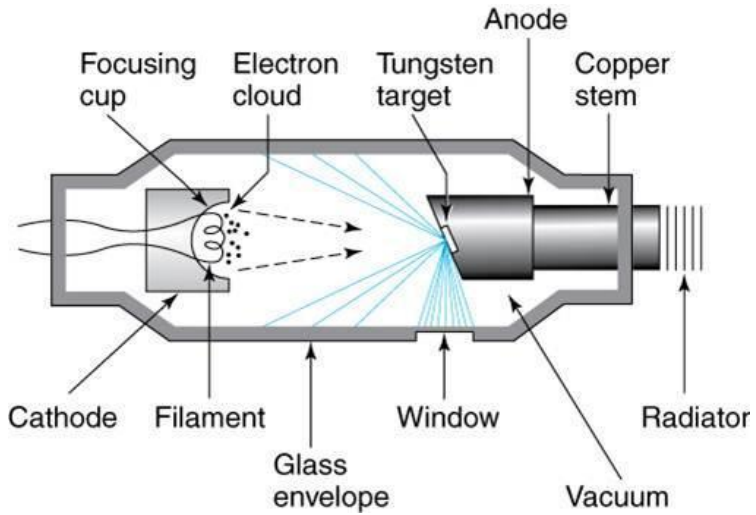


Cél atommag  
W, Cu, Pb

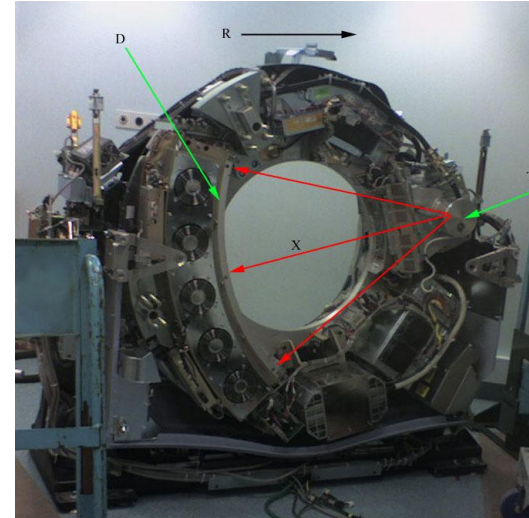


# Röntgen készülékek

## Fogorvosi

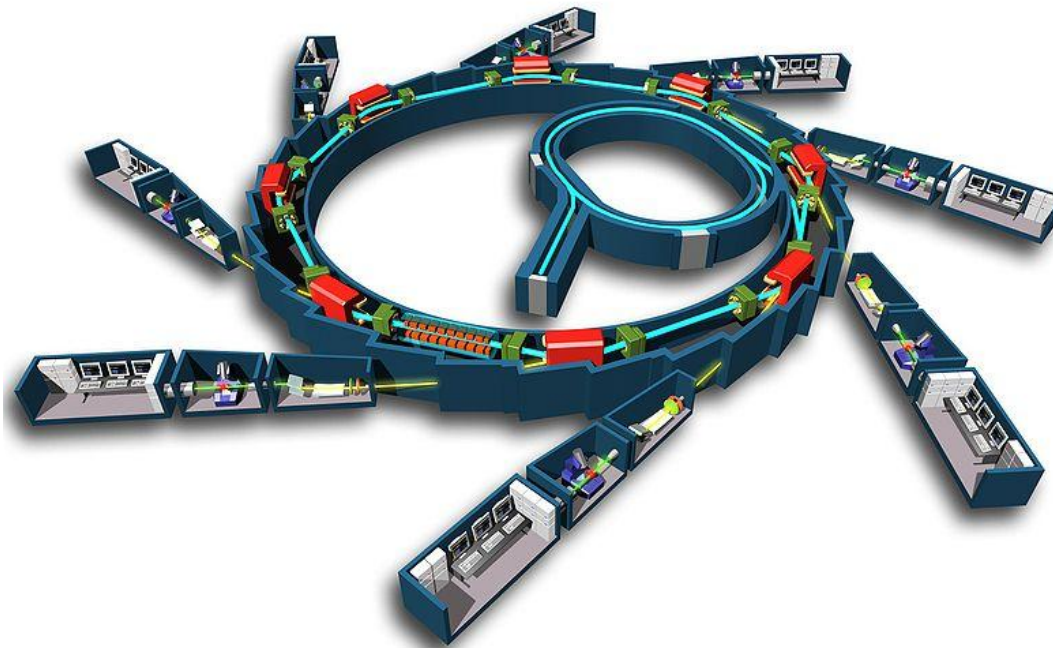


## CT – Computer Tomography



# Szinkrotronsugárzás

- relativisztikus sebességű könnyű elemi részecskék (elektronok, pozitronok) gyorsulásakor (fékezésekor) keletkezik
- Fluxusa  $10^6$ - $10^{12}$  szerese a röntgensövekének  
(spektrális fényesség: megadott energiatartományú fotonok száma /s /vertikális szög /horizontális szög /forrás területe)



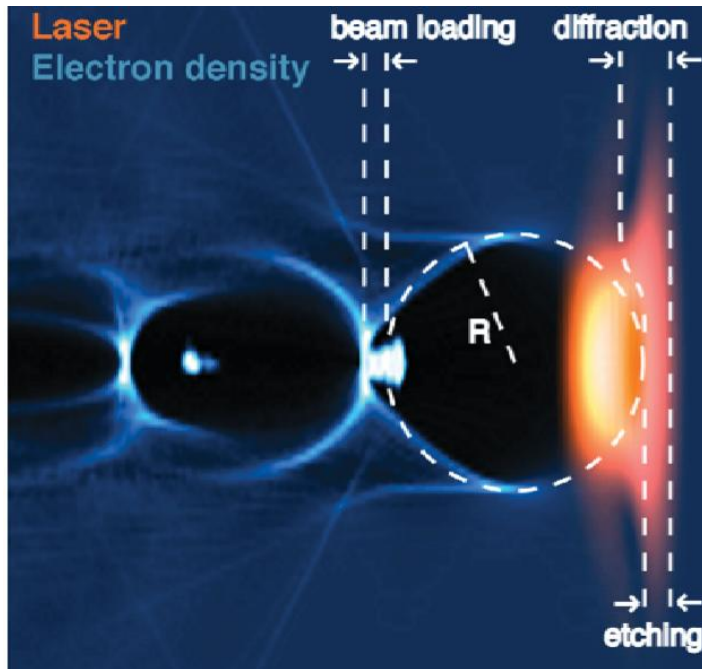
Synchrotron SOLAIL

# Szinkrotronsugárzás tulajdonságai

- Nagy intenzitás
- Rövid hullámhosszú fotonok melyek behatolnak az anyagba, és kölcsönhatnak az atomokkal
- Széles spektrális tartomány folytonos energieloszlással, monoenergetikus nyalábok széles energiatartományban)
- Magas polarizációfok az elektronpálya síkjában, amely nagyon fontos a röntgenfluoreszcenciás kísérleteknél a háttér redukciója miatt
- A röntgensugarak rövid impulzusok formájában emittálódnak, amelyek 1 ns-nál is rövidebbek, és az impulzusok közötti idő 20 ns vagy ennél is több
- Természetes kollimáció, a röntgensugarak a teljes szögtartományban emittálódnak horizontális irányban, de függőleges irányban jól kollimáltak.



# Lézeres elektron gyorsítás



- Lézer impulzus ( $> 10^{18} \text{W/cm}^2$ )–
  - Közel fénysebességű plazma hullám (10-100  $\mu\text{m}$ )
  - Elektronok kiszóródnak a buborékból („foton-nyomás”)
  - Töltés szétválás - elektromos térerő (10-100 GV/m)
  - Elektronok visszaszívódnak – felgyorsulnak
  - A ultra-relativisztikus elektronok nagy energiára gyorsíthatók (GeV)
  - 2-3 nagyságrenddel kisebb gyorsító méret
- ELI: 1 m plazma-csatorna – 15 GeV elektronok

*Forrás: ELI-PP White Book part 1, May 2011*

Extreme Light Infrastructure (ELI) projekt-Szeged  
-a fény és az anyag kölcsönhatásának vizsgálata  
az úgynevezett ultra-relativisztikus  
Tartományban  
- <https://www.eli-alps.hu>



# Elektromágneses sugárzások

Frekvencia [Hz]	Hullámhossz	Sugárzás típusa	Sugárzás forrása	Foton energia
$3 \cdot 10^{20}$	1 pm	↑ gamma	Radioaktív magok	↑ 1.24 MeV
$3 \cdot 10^{17}$	1 nm	röntgen	elektron fékeződés, belső héjak gerjesztése	1.24 keV
	100 nm	ibolyán túli (UV)	külső héj ionizációja	~ 10 eV
<hr style="border-top: 1px dashed black;"/>				
Nem-ionizáló		Látható (VIS) 380-750 nm vörösén inneni (IR) 750 nm - 1 mm	molekula rezgések	
300 GHz	1 mm	↑	molekula rezgések és forgások	↑ 1.24 meV
30 GHz		mikrohullámok		
	1 m	↑		↑ 1.24 $\mu$ eV
10 MHz		rádióhullámok	elektromos rezgőkörök	
300 kHz	1 km	↑		↑ 1.24 neV

# UV sugárzások típusai (100 - 400 nm)

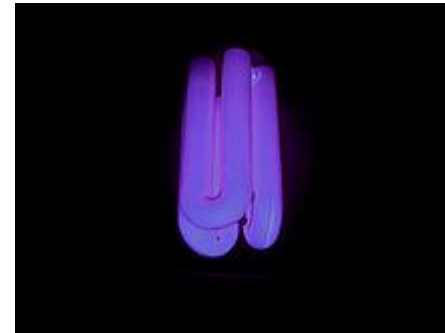
- UV-C: 100 - 280 nm
- UV-B: 280 - 315 nm
- UV-A: 315 - 400 nm

## Forrásai:

1. Nap
2. Gáztöltésű kisülési csövek (higanygőz)
3. Ívlámpák
4. Plazmavágó berendezések
5. UV lézerek

## Higanygőz lámpa:

- A gerjesztett higanygőz többek között UV-t bocsát ki mindhárom tartományban
- Wood üveg (Na-Ba-Szilikát üveg 9% NiO)



# Látható fény

## (400 – 750 nm)

- Izzó tárgyak – Wolfram szál, halogén lámpák
- Elektrolumineszcencia, LED- technológia

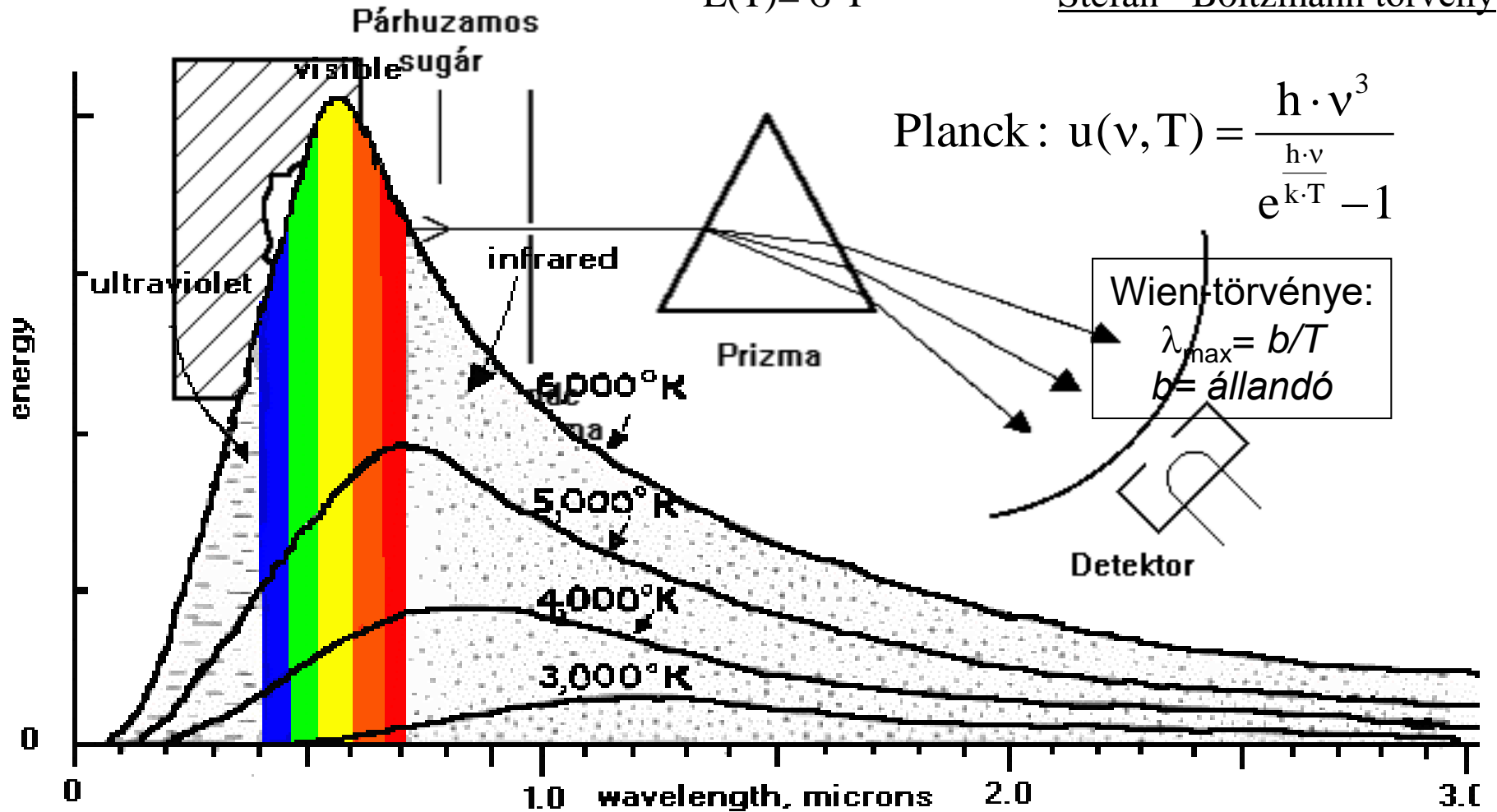
Szín	Hullámhossz(nm)	Összetétel
Kék		$\text{In}_{0.06}\text{Ga}_{0.94}\text{N}$
Zöld	556	$\text{GaP}_{1.00}\text{As}_{0.00}$
Sárga	578	$\text{GaP}_{0.85}\text{As}_{0.15}$
Narancs	635	$\text{GaP}_{0.65}\text{As}_{0.35}$
Vörös	660	$\text{GaP}_{0.40}\text{As}_{0.60}$
Infravörös		GaAs

# Fekete test hőmérsékleti sugárzása

Kirchoff:  $e(\lambda, T)/a(\lambda, T) = \text{anyagfüggetlen}$

$$E(T) = \sigma T^4$$

Stefan - Boltzmann törvény



# IR sugárzások típusai (750 nm - 1 mm)

- Közeli (IR-A): 750 nm - 1,4  $\mu\text{m}$
- Közepes (IR-B): 1,4  $\mu\text{m}$  - 3  $\mu\text{m}$
- Távoli (IR-C): 3  $\mu\text{m}$  - 1 mm

**Globár:**

szilícium-karbid kerámia ~ 1600 °C

## Forrásai:

1. Nap
3. Ívlámpák
4. Villanócsövek
5. Gáztöltésű csövek



# Mikrohullámú és rádiófrekvenciás sugárzások

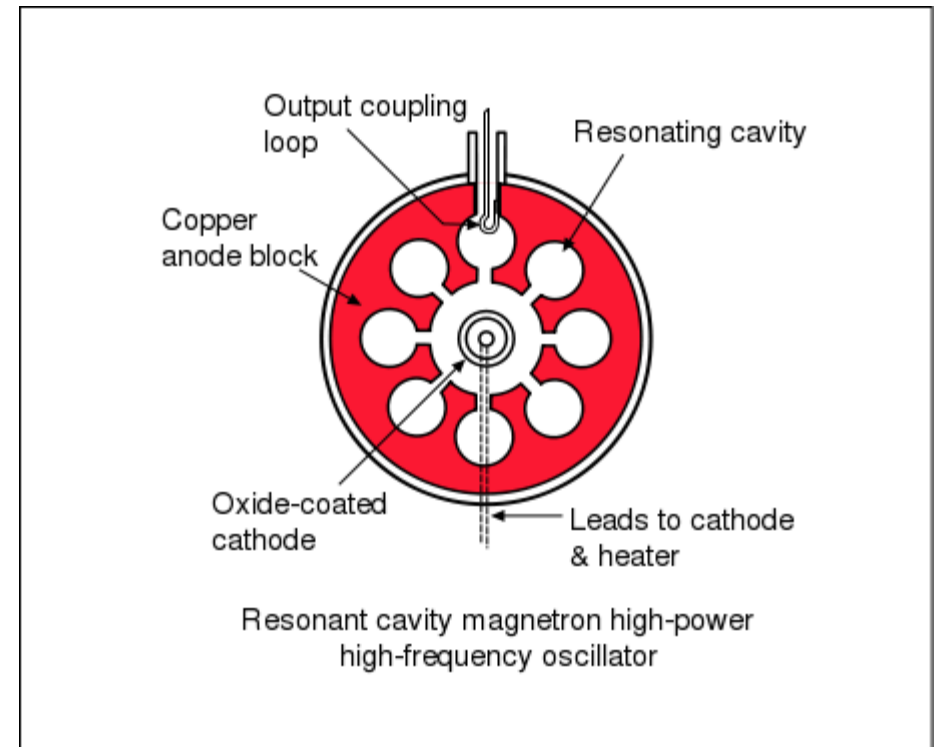
## **Források:**

- **mikrohullámú sütők**
- **mikrohullámú adatátvitel**
- **radar (impulzus modulált)**
- **rádióantennák**

# Mikrohullámú sugárzás keltése

## Magnetron

- Mágneses tér körpályára készíti az elektronokat
- Az üregek előtt elhaladva mikrohullámú sugárzási tér keletkezik





# Radióhullámok keltése adóantennák

