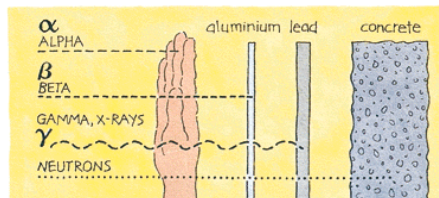


## A sugárzás kölcsönhatása az anyaggal



**Az elnyelődés mértéke/az áthatolóképesség mitől függ?**

**Mi történik, miközben a sugárzás áthalad az anyagon**

**1) az anyaggal; 2) a sugárzással ?**

**Előállíthatók-e mesterséges radioaktív magok?**

**= radioaktív lesz-e egy anyag, ha nukleáris sugárzás éri?**

42

## A sugárzások osztályozása

**Részecskék (m, töltés)**

	<u>I.</u>	<u>II.</u>	<u>III.</u>
<b>a</b>	<b>b</b>		
p	$e^+$	n	$\gamma$
$\alpha$	$e^-$		X
ion			

1. Magaktív töltött részecskék (p, d, t, alfa:  $m_0 > m_e$ )
2. Magidegen töltött részecskék ( $e^+$ ,  $e^-$ )
3. Töltés nélküli (n:  $m_0 > 0$ )
4. Töltés és nyugalmi tömeg nélküli (elektromágneses sugárzások)

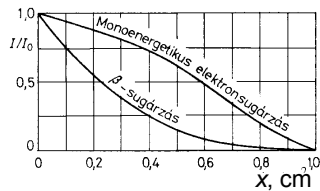
43

## $\beta$ - és elektron/pozitron sugárzás

nyugalmi tömeg 0,51 MeV

-/+ töltés

$\beta$ : folytonos spektrumú



**Elektronnal** (azonos a tömegük)

-inkohérens szórás

ionizáció (külső és **belső**) és gerjesztés  
energia- és irányváltozás  
(pozitron: annihiláció)

**A mag erőterével**

-inkohérens szórás

**Töltött részecske+erőtér: ! folytonos (fékezési) röntgensugárzás !**

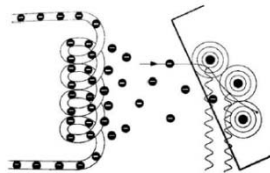
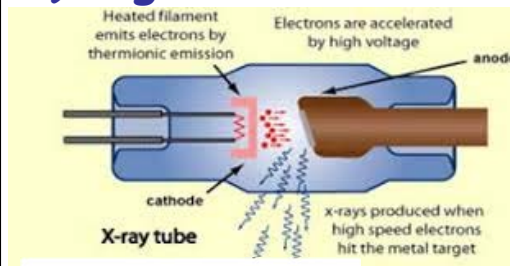
Fékezés (r) és ionizáció (ion) során leadott energia:

$$\frac{\left(\frac{dE}{dx}\right)_r}{\left(\frac{dE}{dx}\right)_{\text{ion}}} = \frac{EZ}{800}$$

44

## A fékezési röntgensugárzás alk.

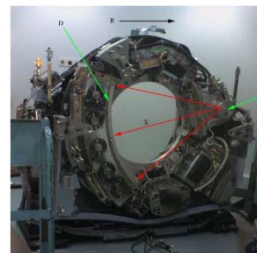
### 1) rtg. készülékek



Fogorvosi rtg.



Computer Tomograph



Vákuumcső  $10^{-5}$ - $10^{-9}$  Hgmm)

Fűtött katódspirál: W szál, 2500 °C

Nagy egyenfeszültség: elektronok lépnek ki,  
az anódba csapódnak: hő és X-sug. ( $E_x < 1$  MeV)

45

## 2) Szinkrotron



ESRF, Grenoble



Synchrotron SOLAIL, Saclay

Relativisztikus sebességű (GeV) könnyű elemi részecskék (elektronok, pozitronok) gyorsulásakor (fékezésekor) keletkezik  
A fluxus  $10^6$ - $10^{12}$  szerese a röntgensövekének

46

### A szinkrotronsugárzás tulajdonságai

- Nagy intenzitás
- Rövid hullámhosszú fotonok melyek behatolnak az anyagba, és kölcsönhatnak az atomokkal
- Széles spektrális tartományban folytonos energiaeloszlás, monoenergetikus nyalábok széles energiatartományban „kialakíthatók”
- 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.

$$I = I_0 e^{-\mu' x} \quad \mu' = \sigma(E) \rho_A \text{ lineáris gyengülési együttható, pl. } 1/\text{cm}$$

$$x_{1/2} = \ln 2 / \mu'$$

$$I = I_0 e^{-(\mu'/\rho) x \cdot \rho} = I_0 e^{-\mu \cdot d}$$

$\mu = \sigma(E) \rho_A / \rho$  tömeggyengülési együttható, pl.  $\text{cm}^2/\text{g}$

~ független a sugárzás energiájától és az agi minőségtől

$d = \rho x$  felületi sűrűség, pl.  $\text{g}/\text{cm}^2$

Felezési rétegvastagság  $d_{1/2} = \ln 2 / \mu$

Több (i) rétegen keresztül haladva:  $I = I_0 e^{-\mu \cdot \sum d_i}$

48

### $\alpha$ -sugárzás

nyugalmi tömeg  $\sim 4.931 \text{ MeV}$

töltés:  $2+$  ! Folytonos (fékezési) röntgensugárzás !

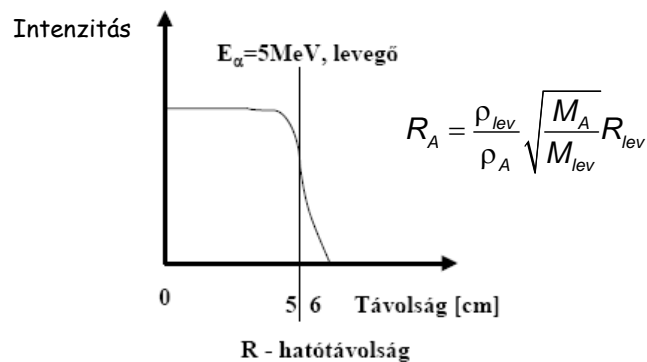
vonalas spektrumú (4-9 MeV)

**Elektronnal** inkoherens szórás

ionizáció és gerjesztés (50-50 %)

energia- és irányváltozás

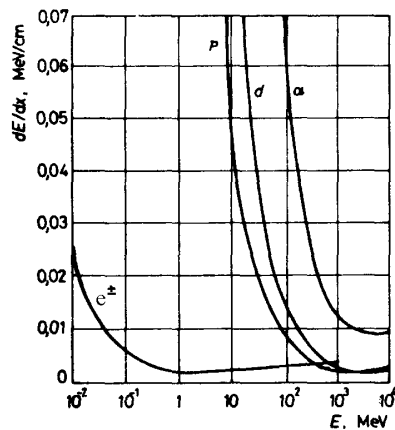
**Maggal** magátalakítás (később), Rutherford-féle szórás



49

Hasonlítsuk össze néhány részecske gyengülését azonos közegben: levegő

Lineáris energiaátadás (LET)

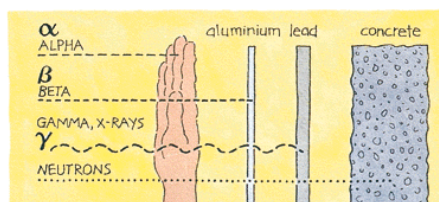


elektron/pozitron  
proton, p ( ${}^1\text{H}^+$ )  
deuteron, d ( ${}^2\text{H}^+$ )  
alfa részecske,  $\alpha$  ( ${}^4\text{He}^{2+}$ )

$$dE/dx \approx 1/v^2$$

50

## A sugárzás kölcsönhatása az anyaggal



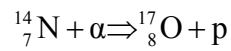
**Az elnyelődés mértéke/az áthatolóképesség mitől függ?  
Mi történik, miközben a sugárzás áthalad az anyagon  
1) az anyaggal; 2) a sugárzással ?**

**Előállíthatók-e mesterséges radioaktív magok?  
= radioaktív lesz-e egy anyag, ha nukleáris  
sugárzás éri?**

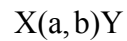
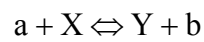
51

# Magreakciók

RUTHERFORD 1919



általában:



## Megmaradási elvek:

- Nukleonok száma
- Elektromos töltés
- Energiamegmaradás
- Impulzusnyomaték
- Impulzus
- Spin
- Paritás

Energiamegmaradás

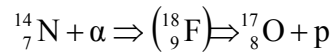
$$E_a + E_X + Q \equiv E_Y + E_b$$

$E = E_{\text{kin}} + mc^2$ , magreakciók során felszabaduló energia: Q

Reakció	Q (MeV)
(n,γ), (p,γ)	8±2
(n,p), (p,n)	0±2
(n,α), (p,α)	4±2
(γ,n), (γ,p)	-8±2
Urán hasadás	200
Termonukleáris reakció: Pl.: ${}^3\text{H}(d,n){}^4\text{He}$	17.6
Kémiai reakció: $\text{H}_2 + 1/2\text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O}$	$3 \cdot 10^{-6}$ / molekula

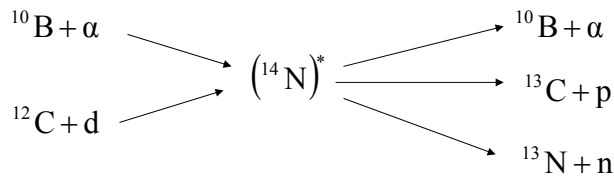
## Magreakciók mechanizmusa

Bohr: az  $\alpha$  részecske beépülésével egy gerjesztett **átmeneti mag** jön létre



A gerjesztési energia( $E^*$ ) két részből tevődik össze:  
 $E^* = E_k + E_a$  ahol  
 $E_k$  a beépült részecske kötési energiája  
 $E_a$  az a részecske kinetikus energiája

A reakció termékei az átmeneti mag összetételétől és energiájától függenek



## HATÁSKERESZTMETSZET

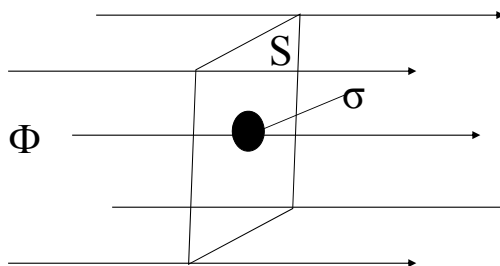
A magreakciók sebessége ( $R$ ):

$R \equiv \sigma \cdot \Phi \cdot N_A$ , ahol

$\sigma$  - hatáskeresztmetszet

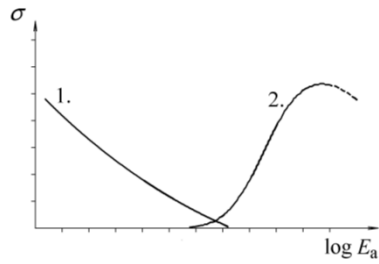
$\Phi$  - beeső részecskefluxus

$N_A$  - a célmagok száma egységnyi felületen



$\sigma$ :  
• effektív felületként képzelhető el, amit ha eltalál a bombázó részecske, a reakció végbemegy  
• egysége: 1 barn =  $10^{-28}$  m<sup>2</sup>

### A hatáskeresztmetszet energiafüggése



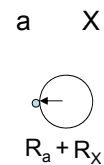
1. (n,γ)  
(n,f) <sup>233</sup>U, <sup>235</sup>U, <sup>239</sup>Pu, <sup>241</sup>Pu  
<sup>10</sup>B(n,α)  
<sup>6</sup>Li(n,α)
2. (γ,n)  
(n,2n)  
(n,α)  
(p, )  
(d, )

56

### Magreakciók töltött részecskesugárral

Coulomb gát:

$$E_C = \frac{Z_a \cdot Z_X \cdot e^2}{R_a + R_X} \cdot 0,624 \cdot 10^6 \text{ (MeV)}$$



$$R = 1,5 \cdot 10^{-13} \cdot A^{1/3} \text{ cm}$$

e: elemi töltés  
R: magsugár

**Protonoknál: 1-12 MeV**

**Alfa: 2-24 MeV**

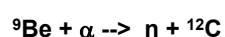
**alagúteffektus**



## Fontosabb alfa magreakciók

### $\alpha$ - magreakciók

( $\alpha$ , n) reakciók:



Laboratóriumi neutron forrás.

Az alfa forrás lehet: Ra, Rn, Po, Am, Pu, stb.



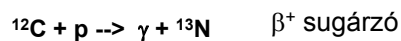
( $\alpha$ , p) reakciók:



Rutherford

## Magreakciók egyéb töltött részecskékkel

### p, d - sugárzás

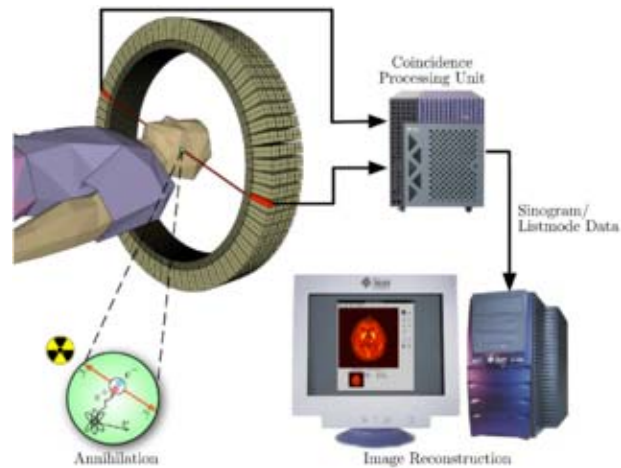


Protondús (neutronhiányos) magok előállítására:

Gyakorlati jelentőség: PET-Debrecen

Izotóp	${}^{15}\text{O}$	${}^{11}\text{C}$	${}^{13}\text{N}$	${}^{18}\text{F}$ (F <sup>-</sup> )	${}^{18}\text{F}$ (F <sub>2</sub> )
T <sub>1/2</sub> (perc)	2.05	20.39	9.96	109.8	109.8
Magreakció	${}^{14}\text{N}(\text{d},\text{n}){}^{15}\text{O}$	${}^{14}\text{N}(\text{p},\alpha){}^{11}\text{C}$	${}^{16}\text{O}(\text{p},\alpha){}^{13}\text{N}$	${}^{18}\text{O}(\text{p},\text{n}){}^{18}\text{F}$	${}^{20}\text{Ne}(\text{d},\alpha){}^{18}\text{F}$
Célszanyag	99 % N <sub>2</sub> 1% O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	( ${}^{16}\text{O}$ ) Víz	( ${}^{18}\text{O}$ )Víz	0.33% F <sub>2</sub> Neon-ban
Termék	${}^{15}\text{O}_2$ (gáz)	${}^{11}\text{CO}_2$ / ${}^{11}\text{CO}$ (gáz)	${}^{13}\text{NH}_3$ (Folyadék)	${}^{18}\text{F}^-$ (Folyadék)	${}^{18}\text{F}_2$ (gáz)
Előállítható Aktivitás	74 GBq (2 Ci)	111GBq (3 Ci)	15 GBq (0,4Ci)	185 GBq (5 Ci)	11GBq (0,3 Ci)

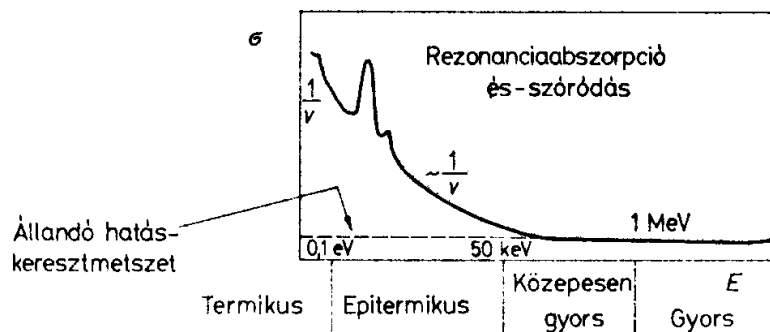
## Pozitron emissziós tomográfia



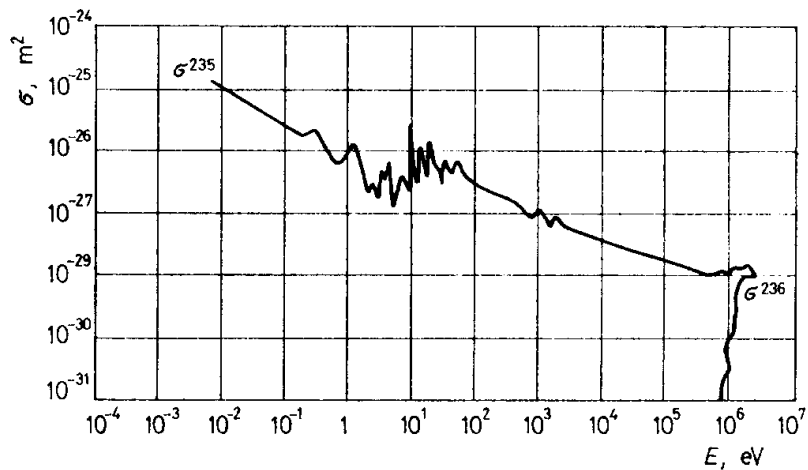
60

## Neutron magreakciók

- A He kivételével minden elem
- Mindig exoterm
- A hatáskeresztmetszet erősen energia függő



$^{235}\text{U}$  neutron befogási hatáskeresztmetszete függése a neutron energiától



**(n,γ) reakciók a leggyakoribbak.**

Példa:

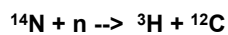
Magreakció	$\sigma$ [barn]
$^{23}\text{Na}(n,\gamma)^{24}\text{Na}$	0.53
$^{109}\text{Ag}(n,\gamma)^{110\text{m}}\text{Ag}$	2.2
$^{59}\text{Co}(n,\gamma)^{60}\text{Co}$	20
$^{35}\text{Cl}(n,\gamma)^{36}\text{Cl}$	40
$^{113}\text{Cd}(n,\gamma)^{114}\text{Cd}$	$6.31 \cdot 10^4$
$^{135}\text{Xe}(n,\gamma)^{136}\text{Xe}$	$2.7 \cdot 10^6$

**(n,p) reakciók:**



Az élő szervezetben a  $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$  arány kb.  $1/8.3 \cdot 10^{11}$ , ami 15 bomlás/perc/g szén

**(n,T) reakciók:**



**(n,α) reakciók:**

Magreakció	$\sigma$ [barn]
$^{10}\text{B}(n,\alpha)^7\text{Li}$	$3 \cdot 10^3$
$^6\text{Li}(n,\alpha)^3\text{T}$	900