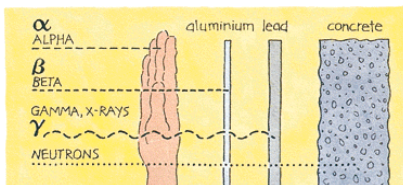


## A sugárzás kölcsönhatása az anyaggal



**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?**

32

## A sugárzások osztályozása

Részecskék (m, töltés)

	I.	II.	III.
a	b		
p	e <sup>+</sup>	n	γ
α	e <sup>-</sup>		X
ion			

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

33

## A sugárzások és az anyag fizikai kölcsönhatásai

### A kölcsönhatásban résztvevő partner

### Mechanizmus

1.	Atommag	a.,	Elyelődés (abszorpció) s: $\Delta I, \Delta E$ ; a: $E_{kin} + E^*$
2.	Az atommag erőtere	b.,	Koherens szórás (nincs energia átadás) s: $\Delta I$
3.	Elektron (szabad, kötött)	c.,	Inkoherens szórás s: $\Delta I, \Delta E$ (van energiaátadás) --> rugalmas, a: $E_{kin}$ (nincs gerjesztés) --> rugalmatlan a: $E_{kin} + E^*$ (gerjesztés is van)
4.	Elektromos erőtér		
5.	Molekulák		
6.	Makroszkopikus rendszerek		

**1,2 abc: magreakciók**

**3,4 abc: ionizáló sugárzások khatásai**

**5,6 abc: nem ionizáló sugárzások khatásai**

## 1. Ionizáló sugárzások

35

## Az ionizációs kölcsönhatások első lépése az anyag oldaláról

### 1. Semleges gerjesztés



### 2. Külső ionizáció



### 3. Belső ionizáció



### 4. Fékezési röntgensugárzás

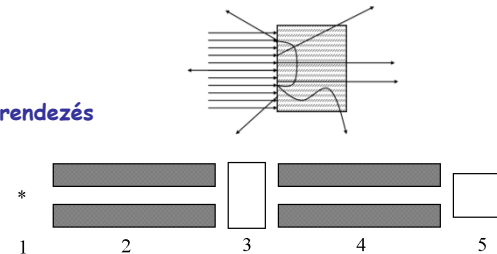


**DETEKTÁLHATÓSÁG ALAPJA**

36

## Gamma-sugárzás elnyelődése

A méréselrendezés



- 1 Pontszerű sugárforrás (a tér minden irányába lép ki a sugárzás)
- 2,4 Kollimátor (a sugárzás párhuzamosítására)
- 3 Az ANYAG  
vastagsága  $x$   
rendszáma  $Z$   
atomi sűrűsége  $\rho_A$ : az atomok száma egységnyi térfogatban
- 5 Detektálás

37

Az anyagba  $t$  idő alatt bejutó részecskék száma  $n$   
 Az  $x$  úton  $\rho_A$ -nak megfelelő számú részecskével léphetnek kölcsönhatásba  
 Nem minden „találkozás” eredményes:  
 a valószínűséget a  $\sigma$  HATÁSKERESZTMETSZET veszi figyelembe  
 $\sim 10^{-28} \text{ m}^2$  nagyságrendű  
 függ a részecske (sugárzás) energiájától

Így a tényleges kölcsönhatások száma  $v = \sigma(E)n x \rho_A$

A  $dx$  úthosszon elnyelődő részecskék száma  $-dn = \sigma(E)n \rho_A dx$

Ha  $x=0$ , minden részecske eljut a detektorig:  $n = n_0 e^{-\sigma(E)\rho_A x}$

$$I = I_0 e^{-\mu' x}$$

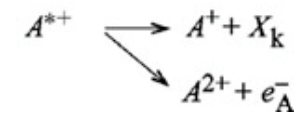
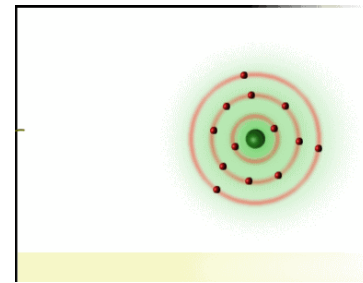
$\mu' = \sigma(E)\rho_A$  lineáris gyengülési együttható, pl. 1/cm

$$x_{1/2} = \ln 2 / \mu' \quad \text{Felezési rétegvastagság}$$

38

## $\gamma$ -sugárzás

### 1. Fotoeffektus

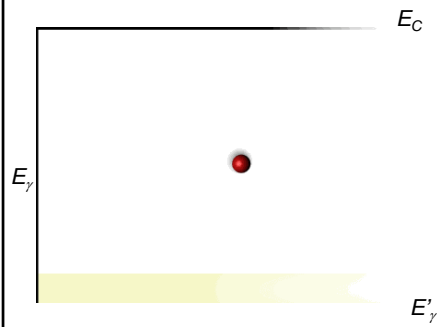


$$\sigma_f \approx \text{konst.} \frac{Z^2}{(\hbar \nu)^3}$$

$n(E)=4-5$

39

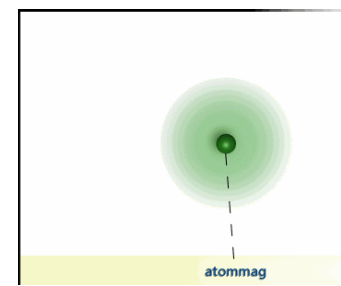
## 2. Compton-szórás



40

Az egyenletekben szereplő  $\vartheta$  a foton eltérülésének szöge (az ábrán  $\nu$  jelöli).

## 3. Párképzés



$$\sigma_p = K(E_\gamma - 1,02)^{2,2} Z^2$$

41

$$\sigma_C = \sigma_s + \sigma_a$$

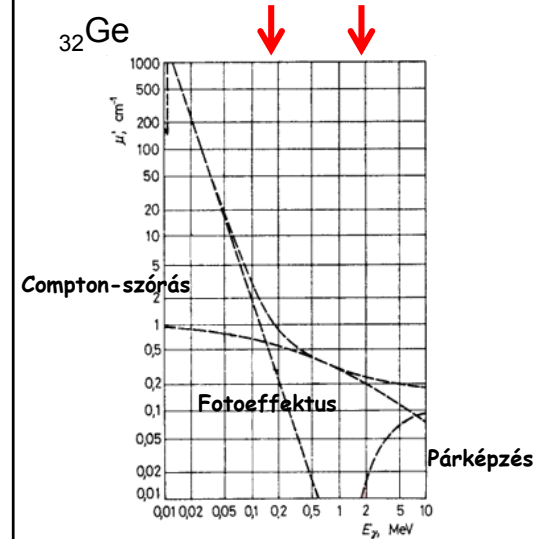
$$\sigma_s = \frac{8\pi r^2}{3} (1 - 3a + 9,4a^2 - 28a^3) \quad a = \frac{E_\gamma}{0,51}$$

$$\sigma_a = \frac{8\pi}{3} r^2 (a + 4,2a^2 + 14,7a^3)$$

$$\mu_c = \frac{\mu'_c}{\rho} = \sigma_c \frac{\rho_k}{\rho} = \sigma_c \frac{N_k Z}{A}$$

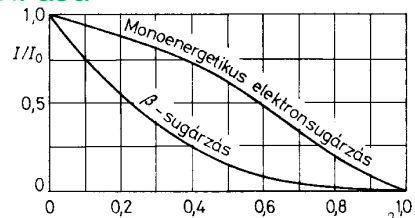
42

$$I = I_0 e^{-\mu d} = I_0 e^{-(\mu_c + \mu_f + \mu_p) d}$$



43

## A béta sugárzás intenzitásgyengülésének kvantitatív leírása



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

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

tömeggyengülési együttható, pl.  $\text{cm}^2/\text{g}$   
felületi sűrűség

$$x_{1/2} = \ln 2 / \mu' \quad \text{Felezési rétegvastagság} \quad d_{1/2} = \ln 2 / \mu$$

44

## $\beta^-$ -sugárzás kölcsönhatási mechanizmusai

### Elektronnal inkoherens szórás

ionizáció (külső és **belső**) és gerjesztés  
energia- és irányváltozás

### A mag erőterével inkoherens szórás

**! folytonos röntgensugárzás !**

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

$$\left( \frac{dE}{dx} \right)_{\text{ion}}$$

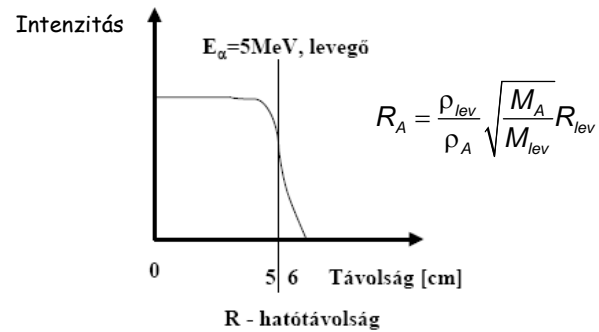
45

## $\alpha$ -sugárzás

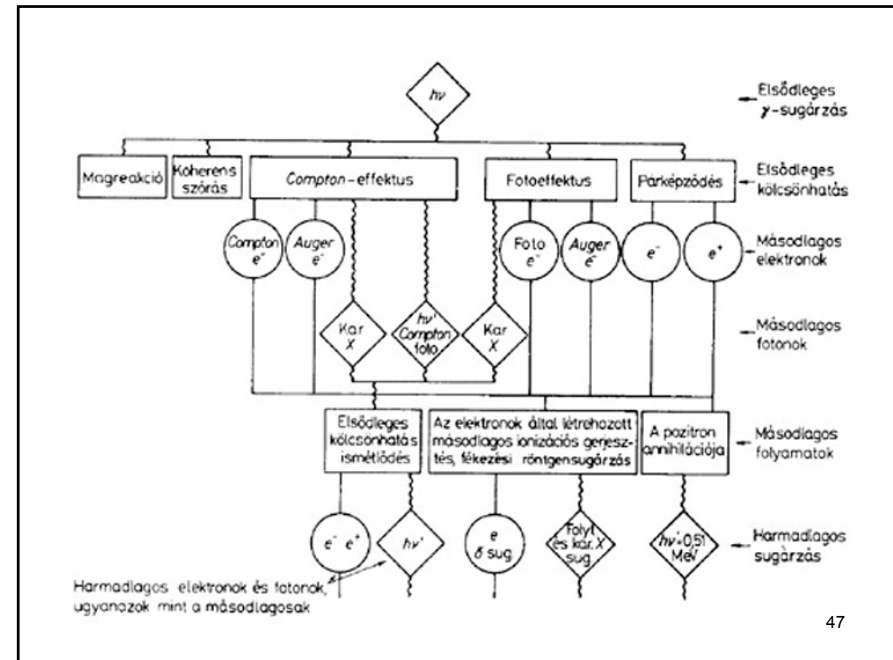
**Elektronnal inkoherens szórás**  
ionizáció és gerjesztés (50-50 %)  
energia- és irányváltozás

**Maggal magátalakítás, Rutherford-féle szórás**

**! folytonos röntgensugárzás !**



46

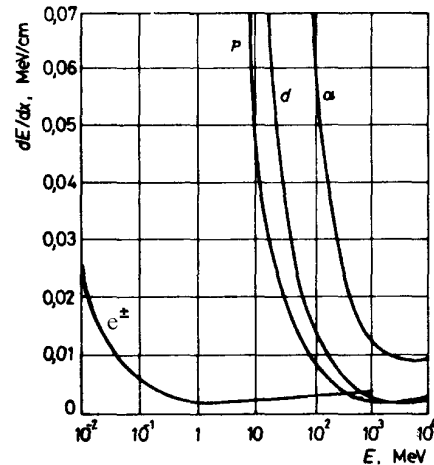


47



## Lineáris energiaátadás (LET)

levegő



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

48

Mekkora 1 kg KCl só aktivitása, ha a kálium atomok 0,012 %-a a radioaktív <sup>40</sup>K. A <sup>40</sup>K felezési ideje 1,13·10<sup>9</sup> év. Mekkora a mért intenzitása a só 500 mg-jának, ha a detektor a kibocsátott részecskék 8 %-át érzékeli ?

Egy, a tisztán β<sup>-</sup>-sugárzó <sup>35</sup>S ként tartalmazó fehérjét vizsgálva 2014. január 26-án 12 órakor 7000 beütés/sec intenzitást mértek. A detektálási határfok 22%. Mekkora volt ennek a készítménynek az aktivitása 2014. január 10-én déli 12 órakor? A <sup>35</sup>S felezési ideje 88 nap.

A 660 keV energiájú fotonok lineáris gyengülési együtthatója alumíniumban 3,4 cm<sup>-1</sup>. Mekkora a felezési rétegvastagság? Milyen mértékben csökkenti ennek a sugárzásnak az intenzitását egy 10 cm vastagságú alumínium-fal?

49

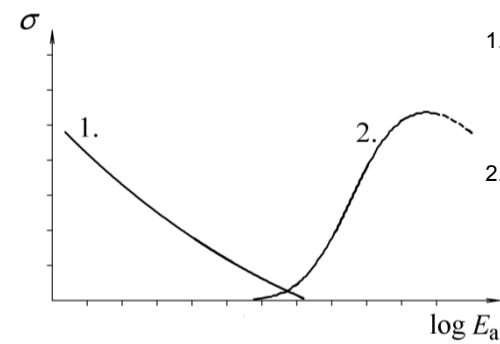
## 2. Magreakciók

50

### Végbemeneteli valószínűség



Átmeneti mag



1. (n,γ)  
(n,f)  ${}^{233}\text{U}$ ,  ${}^{235}\text{U}$ ,  ${}^{239}\text{Pu}$ ,  ${}^{241}\text{Pu}$   
 ${}^{10}\text{B}(n,\alpha)$   
 ${}^6\text{Li}(n,\alpha)$

2. (γ,n)  
(n,2n)  
(n,α)  
(p, )  
(d, )

alagúteffektus

51

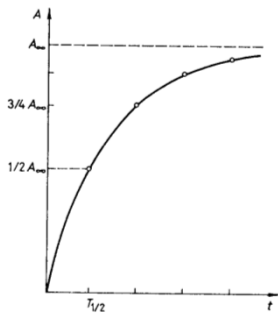
### A magreakciók időtörvénye

$$\frac{dN^*}{dt} = \sigma_a N \phi - \lambda N^*$$

$$N^* = N_{\infty}^* [1 - \exp(-\lambda t)]$$

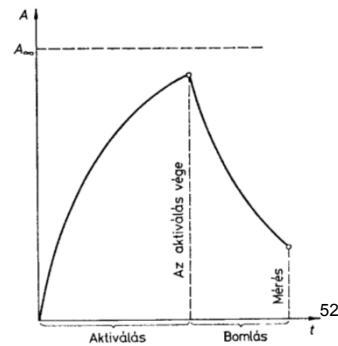
$$A = A_{\infty} [1 - \exp(-\lambda t)]$$

$$A_{\infty} = \lambda N_{\infty}^* = \phi \sigma_a N$$



$$A' = \lambda N^* =$$

$$= A_{\infty} [1 - \exp(-\lambda t)] \exp(-\lambda t_h)$$



### A neutronok kölcsönhatásai az anyaggal

- rugalmas ütközés

Könnyű elemek neutronlassítása  
( $E_0 = 2 \text{ MeV}$ ,  $E = kT$ )

Elem	$\Delta \bar{E}$ , keV	$n$
$^1\text{H}$	1000	18
$^2\text{D}$	888	24
$^4\text{He}$	640	41
Be	360	50
C	284	111
Al	137	240

- rugalmatlan ütközés

gerjesztett mag,  $h\nu$

- neutronbefogás (abszorpció): magreakció (n,?)

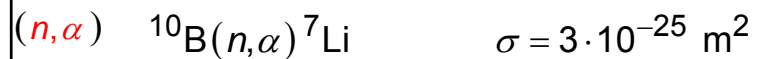
53

## Neutronok osztályozása

1. Lassú neutronok			
a) hideg neutronok		$E <$	0,025 eV
b) <b>termikus neutronok</b>	0,025 eV	$< E <$	0,44 eV
c) rezonancia neutronok	0,44 eV	$< E <$	1000 eV
2. Közepes energiájú neutronok	1 keV	$< E <$	500 keV
3. Gyors neutronok	0,5 MeV	$< E <$	10 MeV
4. Nagy energiájú neutronok	10 MeV	$< E <$	50 MeV
5. Szupergyors neutronok	50 MeV	$< E$	

54

## Példák neutron magreakciókra

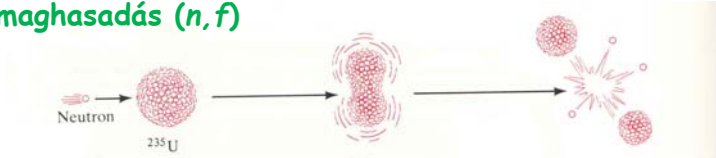


### $(n, f)$ maghasadás

Izotóp	Kiindulási anyag	Hatásos neutron
235U	természetes urán	termikus
233U	tórium, neutronbesugárzás	termikus
239Pu	238U, neutronbesugárzás	termikus
241Pu	238U, neutronbesugárzás	termikus
238U	természetes urán	gyors
232Th	természetes tórium	gyors

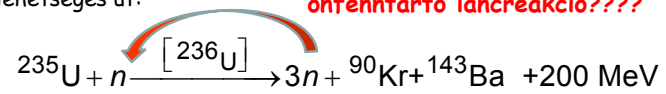
55

## A maghasadás (n, f)

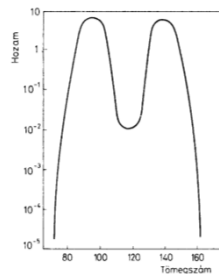


Pl. egy lehetséges út:

**önfenntartó lánreakció????**



50 út, 35 elem 300 izotópja



### A 200 MeV megoszlása

a hasadványok kinetikus energiája:	≈ 160 MeV
a neutronok kinetikus energiája:	≈ 5 MeV
a $\gamma$ -sugárzás energiája:	≈ 5 MeV
a szekunder radioaktív bomlás energiája:	≈ 20 MeV
a neutronok befogásakor felszabaduló energia:	≈ 10 MeV

56

${}^{65}\text{Ni}$  előállítás céljából 1 g Ni-t  $\Phi=10^{12}$  1/cm<sup>2</sup>s fluxusú termikus neutronokkal bombázunk. A  ${}^{64}\text{Ni}(n, \gamma){}^{65}\text{Ni}$  magreakció hatáskeresztmetszete  $\sigma = 1,55 \cdot 10^{-28}$  m<sup>2</sup>. A célizotópban a  ${}^{64}\text{Ni}$  aránya 91 %. Mennyi ideig kell végeznünk a besugárzást, hogy a telítési aktivitás 80 %-át érjük el? Mekkora lesz a  ${}^{64}\text{Ni}/{}^{65}\text{Ni}$  izotópok aránya, ha ezután a mintát ugyanennyi ideig „hűtjük”? A keletkezett radioaktív  ${}^{65}\text{Ni}$  felezési ideje 2,52 h.

57