

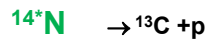
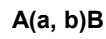
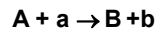
**Az elnyelődés mértéke/az áthatolóképesség mitől függ?
Radioaktív lesz-e egy anyag, ha nukleáris sugárzás éri?
Előállíthatók-e mesterséges radioaktív magok?**

1

2. Magreakciók

2

A magreakciók leírása

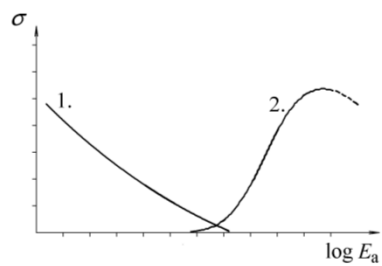


Átmeneti mag

! Megmaradási szabályok !

3

A magreakciók hatáskeresztmetszetének energiafüggése



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

4

A magreakciók időtörvénye

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

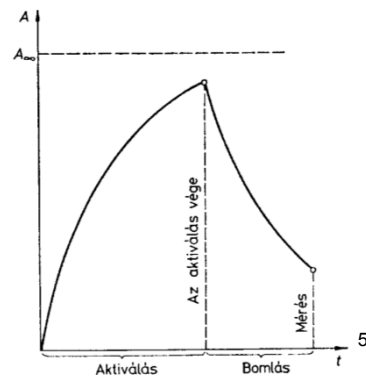
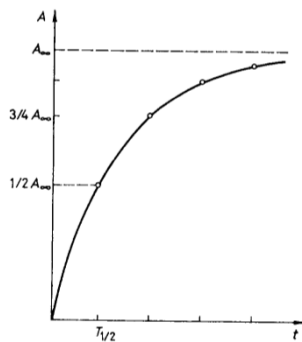
$$N^* = N_{\infty}^* [1 - \exp(-\lambda t)]$$

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

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

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

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



^{65}Ni előállítására céljából 1 g Ni-t $\Phi = 10^{12} \text{ 1/cm}^2\text{s}$ fluxusú termikus neutronokkal bombázunk. A $^{64}\text{Ni}(n, \gamma)^{65}\text{Ni}$ magreakció hatáskeresztmetszete $\sigma = 1,55 \cdot 10^{-28} \text{ m}^2$. A célizotópban a ^{64}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}Ni felezési ideje 2,52 h.

A neutronok kölcsönhatásai az anyaggal

Nyugalmi tömeg: $1,6749 \times 10^{-24} \text{g}$ 939,55 MeV

Töltés: nincsen

- rugalmas ütközés

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

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

- rugalmatlan ütközés

gerjesztett mag, $h\nu$

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

7

Neutronok osztályozása

1. Lassú neutronok

a) hideg neutronok

$$E < 0,025 \text{ eV}$$

b) **termikus neutronok**

$$0,025 \text{ eV}$$

$$< E < 0,44 \text{ eV}$$

c) rezonancia neutronok

$$0,44 \text{ eV}$$

$$< E < 1000 \text{ eV}$$

2. Közepes energiájú neutronok

$$1 \text{ keV}$$

$$< E < 500 \text{ keV}$$

3. Gyors neutronok

$$0,5 \text{ MeV}$$

$$< E < 10 \text{ MeV}$$

4. Nagy energiájú neutronok

$$10 \text{ MeV}$$

$$< E < 50 \text{ MeV}$$

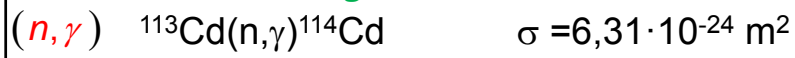
5. Szupergyors neutronok

$$50 \text{ MeV}$$

$$< E$$

8

Példák neutron magreakciókra

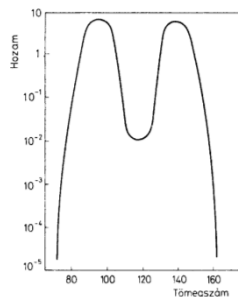
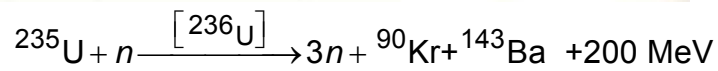
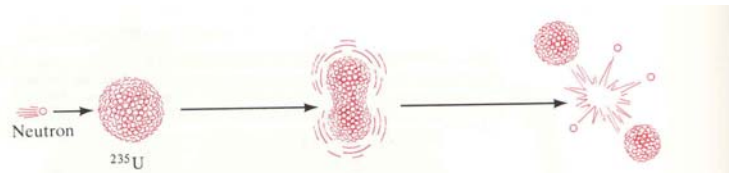


(n, f) maghasadás

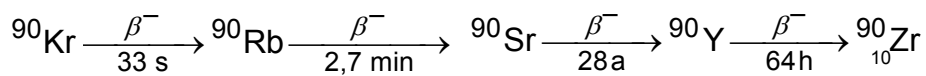
Izotóp	Kiindulási anyag	Hatásos neutron
^{235}U	természetes urán	termikus
^{233}U	tórium, neutronbesugárzás	termikus
^{239}Pu	^{238}U , neutronbesugárzás	termikus
^{241}Pu	^{238}U , neutronbesugárzás	termikus
^{238}U	természetes urán	gyors
^{232}Th	természetes tórium	gyors

9

A maghasadás (n, f)

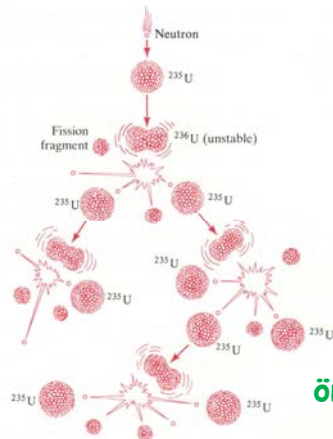


50 út, 35 elem 300 izotópja



A 200 MeV megoszlása

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



önfenntartó lánreakció: szabályozás

Építsünk reaktort!

1. üzemanyag

	Izotóp	Kiindulási anyag	Hatásos neutron
238U: 99,2% 235U: 0,71%.	235U	természetes urán	termikus
	233U	tórium, neutronbesugárzás	termikus
	239Pu	238U, neutronbesugárzás	termikus
	241Pu	238U, neutronbesugárzás	termikus
	238U	természetes urán	gyors
	232Th	természetes tórium	gyors

2. neutronok lassítása: moderátor

Különböző moderátoranyagok lassítási jósága

	μ_a, m^{-1}	μ_s, m^{-1}	Lassítási jóság
H ₂ O	2200·10 ⁻³	370	67
D ₂ O	3·10 ⁻³	48	48
C	36·10 ⁻³	39	170
Be	111·10 ⁻³	85	160

3. energiaelvitel: hűtőközeg

nagy hőkapacitás
nagy tisztaság
finomszabályozás

13

4. szabályozás

$^{113}\text{Cd}(n,\gamma)^{114}\text{Cd}$	$\sigma = 6,31 \cdot 10^{-24} \text{ m}^2$
természetes Cd	$\sigma = 8 \cdot 10^{-25} \text{ m}^2$
$^{10}\text{B}(n,\alpha)^7\text{Li}$	$\sigma = 3 \cdot 10^{-25} \text{ m}^2$

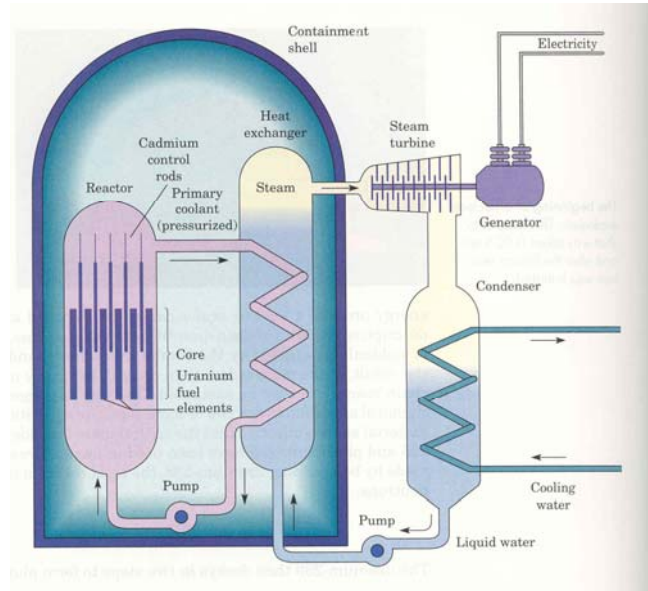
5. neutrongazdálkodás A neutronok lehetséges sorsa:

- Hasítás:
- Befogás hasítás nélkül:
 - a fűtőanyagban (pl. ²³⁵U és ²³⁸U magokban),
 - a moderátorban,
 - szerkezeti anyagokban,
 - a hasadási termékekben*
 - a szabályozó rudakban (pl. kadmium)
- Kidiffundálás a környezetbe.

* $^{135}\text{Xe}(n,\gamma)^{136}\text{Xe}$	$(\sigma = 2,7 \cdot 10^{-22} \text{ m}^2)$
$^{149}\text{Sm}(n,\gamma)^{150}\text{Sm}$	$(\sigma = 6,6 \cdot 10^{-24} \text{ m}^2)$
$^{157}\text{Gd}(n,\gamma)^{158}\text{Gd}$	$(\sigma = 4,6 \cdot 10^{-23} \text{ m}^2)$

14
reaktorméreg

A reaktor



15

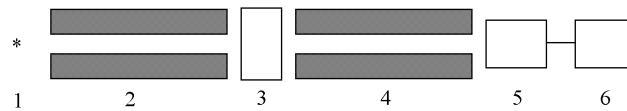
A nukleáris sugárzások detektálása

Nukleáris detektorok

16

Mit tudunk mérni?

$$\frac{1 \text{ bomlás}}{\text{másodperc}} = 1 \text{ becquerel} = 1 \text{ Bq}$$



$$I = \frac{n}{t} = k\eta A$$

17

Detektálási lehetőségek/igények:

igen/nem

sugárzás fajtája

sugárzás energiája/energiaeloszlása

integráló

azonnali

későbbi kiolvasás

(termo/kemo/foto/

pillanatnyi érték

(számlálási sebesség: ratemeter)

18

DETEKTÁLHATÓSÁG ALAPJA: ionizációs kölcsönhatások

1. Semleges gerjesztés



2. Külső ionizáció



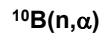
3. Belső ionizáció



4. Fékezési röntgensugárzás



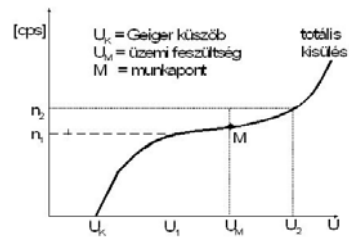
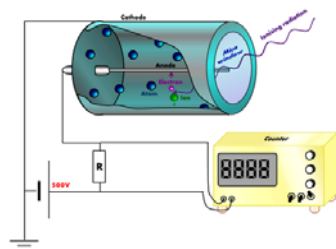
NEUTRON-DETEKTÁLÁS: Közvetett ionizáció



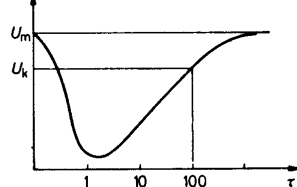
19

Gázionizációs detektorok

Geiger-Müller számláló



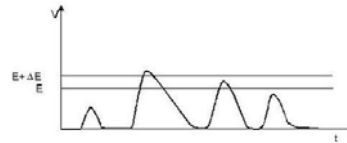
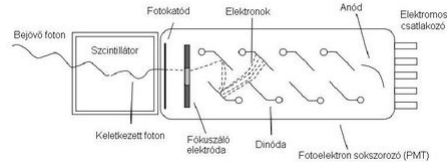
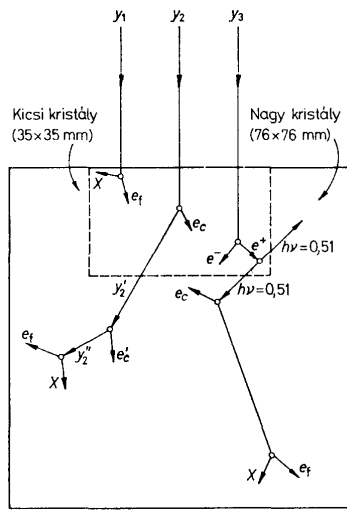
Holtidő



NEM energiaszelektív
nagy holtidő
 $\beta, \gamma, (n)$
egyszerű
pl. dózismérők

20

Szcintillációs detektor



21

Leggyakoribb szcintillátor anyagok

A detektálandó sugárzástól függ

PI.

NaI(Tl) gamma

Műanyag szcintillátor béta

ZnS alfa

A folyadékszscintillációs mérés technika

kis energiájú radioaktív izotópok mérésére (^3H , ^{14}C)
a szcintillátor és a mérendő anyag közös oldatban

22

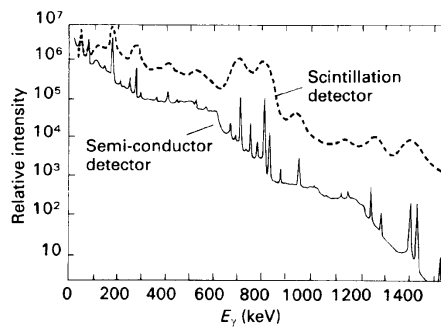
Félvezető detektor

Félvezetők tulajdonságai

	Si	Ge	CdTe
Rendszám, Z	14	32	48 - 52
A tiltott sáv szélessége, eV	1,12	0,74	1,47
Ionizációs energia, eV	3,61	2,98	4,43

Ge(Li)

HPGe, Si(Li)



23

A DETEKTOROK ÖSSZEHASONLÍTÁSA

TULAJDONSÁG	GM CSŐ	SZCINTILLÁCIÓS	FÉLVEZETŐ
Alkalmazási terület	Főleg részecske-sugárzás	bmilyen	bmilyen
Detektálási hatások	Részecskékre (α, β, n) közel 100 %, elmágn. Sugárzásra 1-2%	Ált. jó	Ált. jó, esetenként erős T-függés
Holtidő	< 1 ms	<1 μ s	<0.1 μ s
Ár	Alacsony	Drága kiegészítő egységek	Drága (+üzemeltetés)
Egyéb	Hosszú élettartam	Magas száml. seb.	A driftelt detektorokat használaton kívül is hűteni kell

24

Kötelező olvasmány:

Tankönyv (1997)
Radiokémia és izotóptechnika, 328-331, 334-338