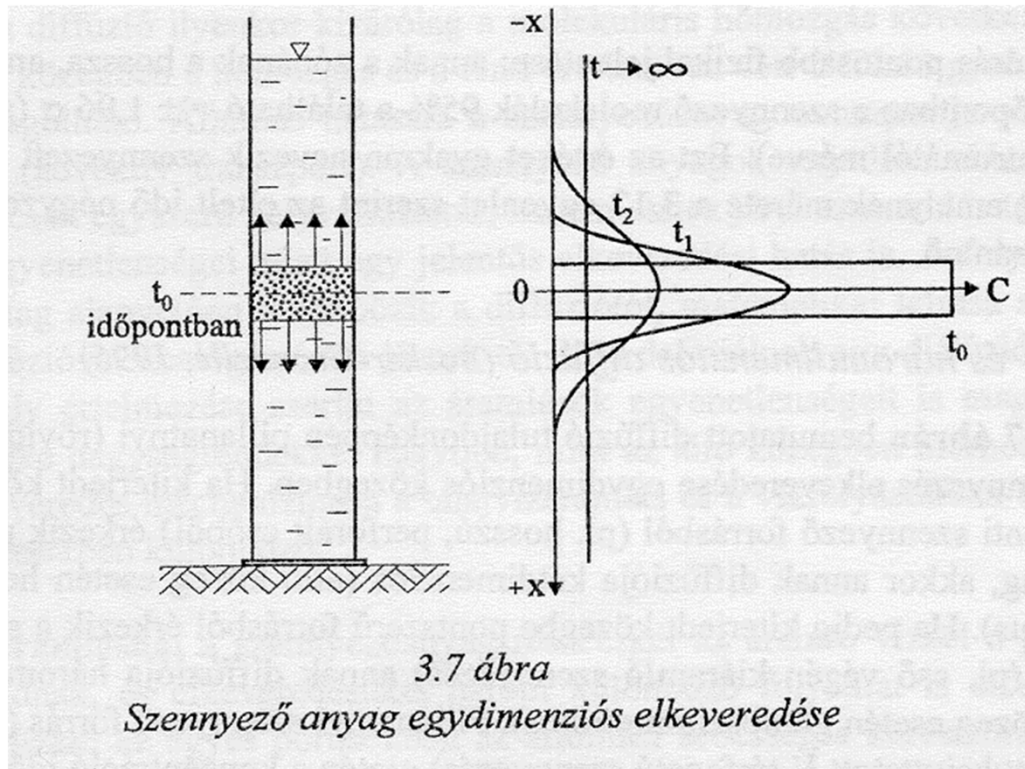


# Környezetfizika

# Egydimenziós diffúzió általános eset

(pillanatnyi szennyezés elkeveredése egydimenziós közegben)



$$\frac{\partial c}{\partial t} = -D \cdot A \cdot \frac{\partial^2 c}{\partial x^2}$$

$$c = c_0 \cdot \frac{V}{A \cdot \sqrt{4 \cdot \pi \cdot D \cdot t}} \cdot e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}$$

$\sigma$  a szórás,  $\sigma = (2 \cdot D \cdot t)^{0.5}$

$\sigma$  Annak a zónának a hossza melyen belül a  $t$  időpontban a szennyező molekulák 95 %-a megtalálható =  $\pm 1.96 \cdot \sigma$  a centrumtól mérve

# Kétdimenziós diffúzió általános eset

Kiterjedt közegbe vonalmenti szennyező forrásból (pl. hosszú perforált csőből) érkezik a szennyező anyag. Ekkor a diffúzió nyugvó közeg esetén hengerszimmetrikus.

$$c = c_0 \cdot \frac{V}{2 \cdot \pi \cdot l \cdot \sigma^2} \cdot e^{-\frac{r^2}{2 \cdot \sigma^2}}$$

- $l$  a szennyező forrás hossza
- $r = (x^2 + y^2)^{0,5}$ ,  $x$ ,  $y$  az  $l$ -re merőleges.

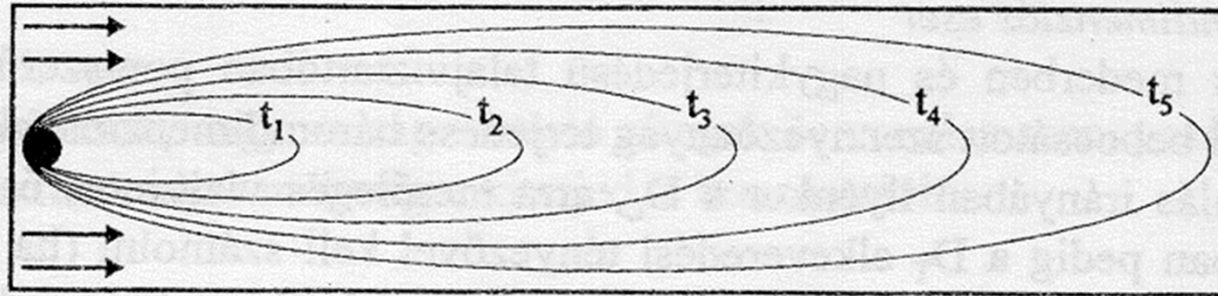
# Háromdimenziós diffúzió általános eset

Kiterjedt közegbe pontszerű forrásból érkezik a szennyezőanyag (pl. cső végén kiáramló szennyezés), ennek diffúziója háromdimenziós (álló közeg esetén gömbszimmetrikus)

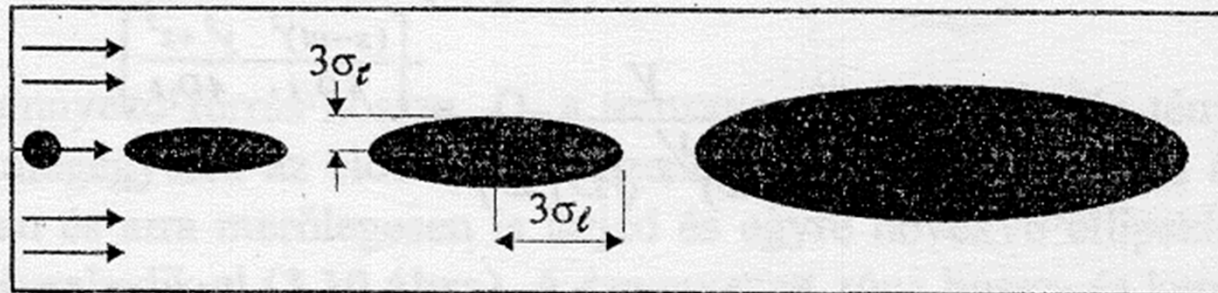
$$C = C_0 \cdot \frac{V}{(2 \cdot \pi)^{3/2} \cdot \sigma^3} \cdot e^{-\frac{r^2}{2 \cdot \sigma^2}}$$

$$r = (x^2 + y^2 + z^2)^{0,5}$$

# Diffúzió áramló közegben



(a)  
folyamatos szennyezés

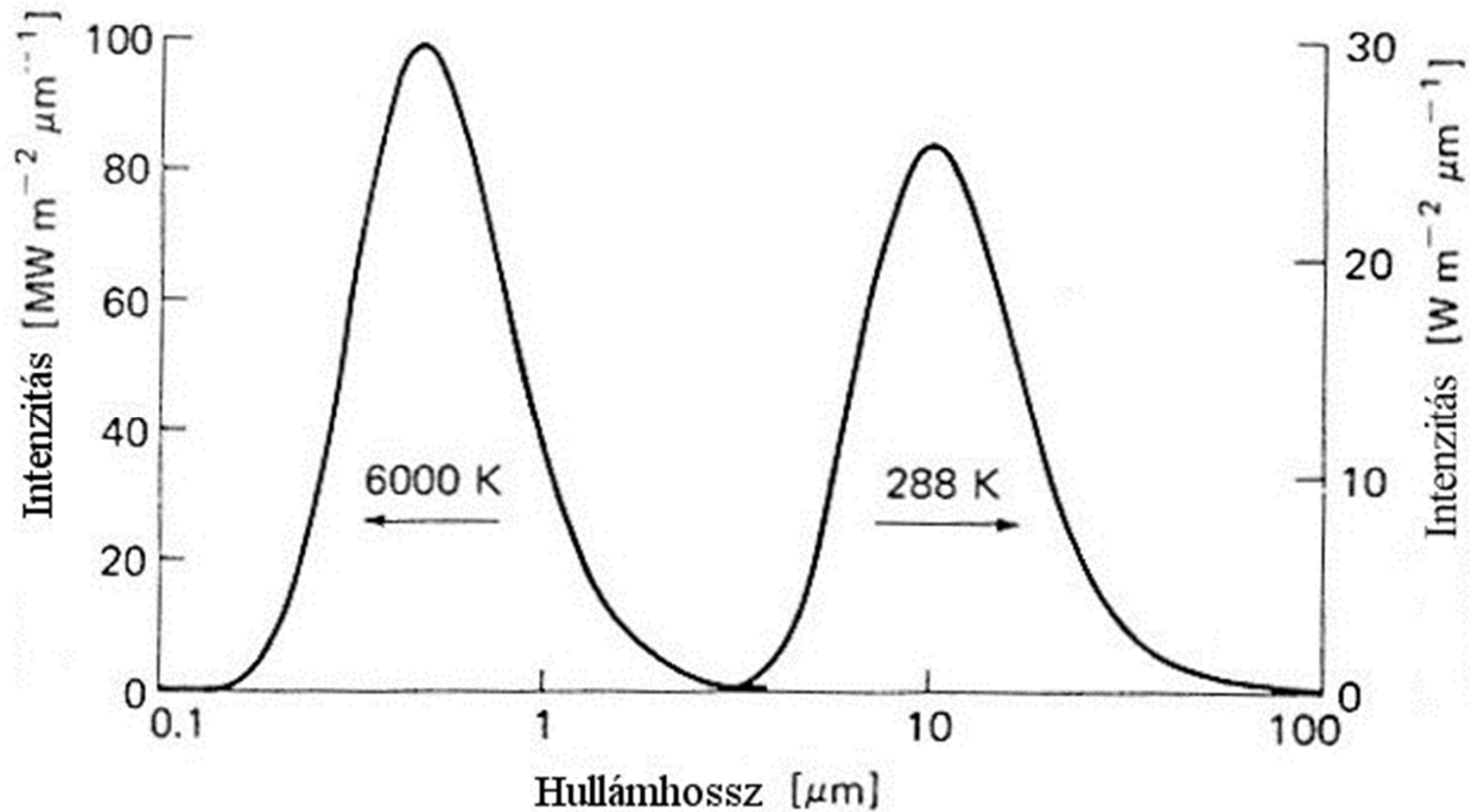


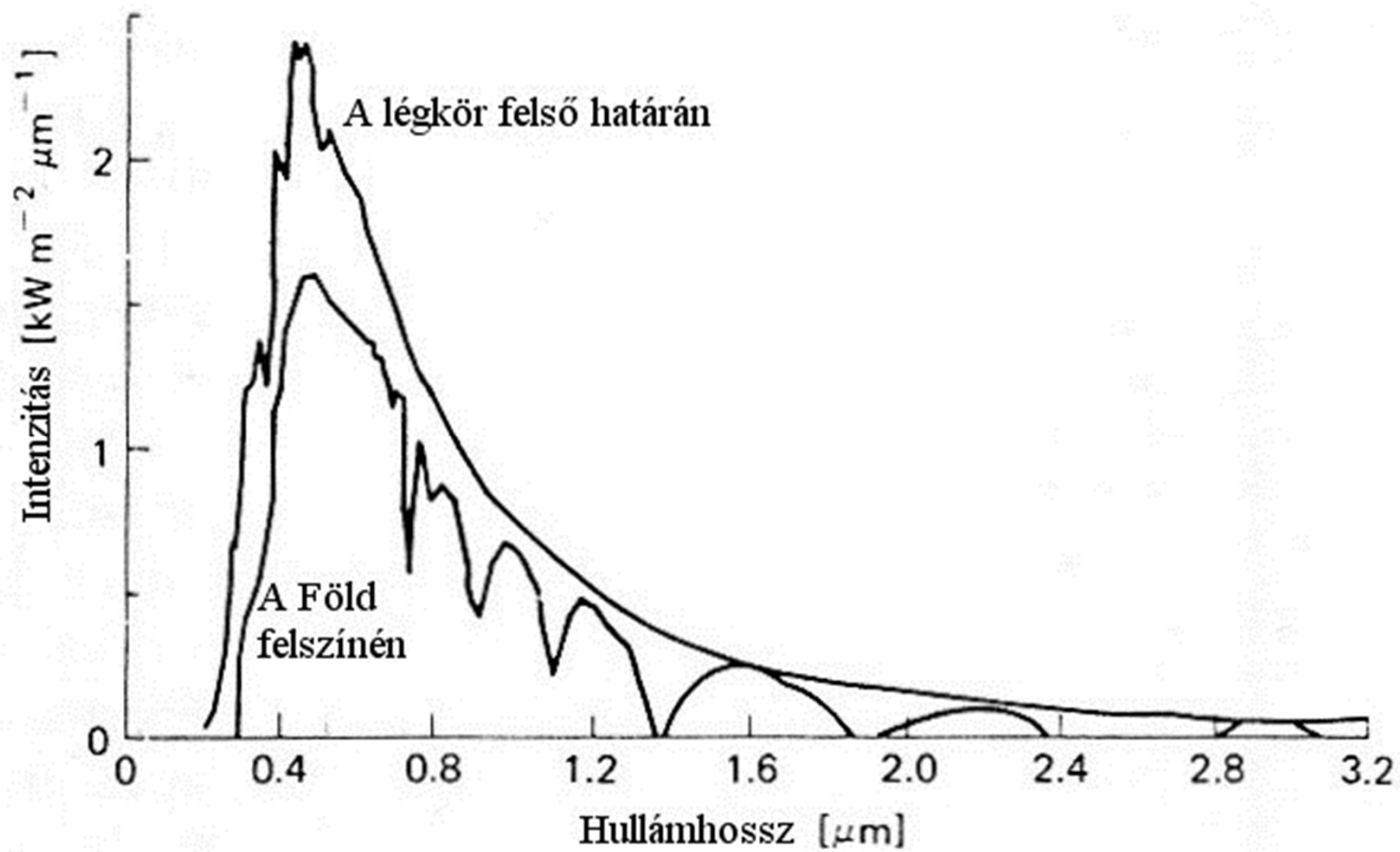
(b)  
pillanatszerű szennyezés

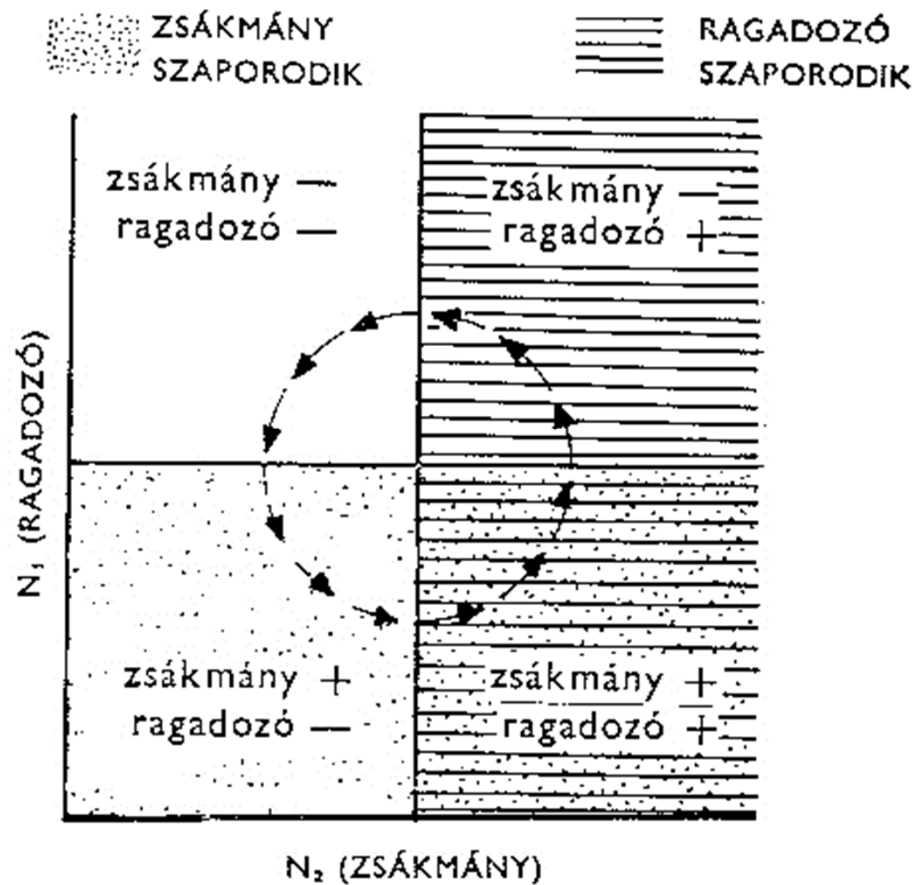
3.12 ábra

*A folytonos és a pillanatnyi szennyező forrás összehasonlítása*

# Hőmérsékleti sugárzás

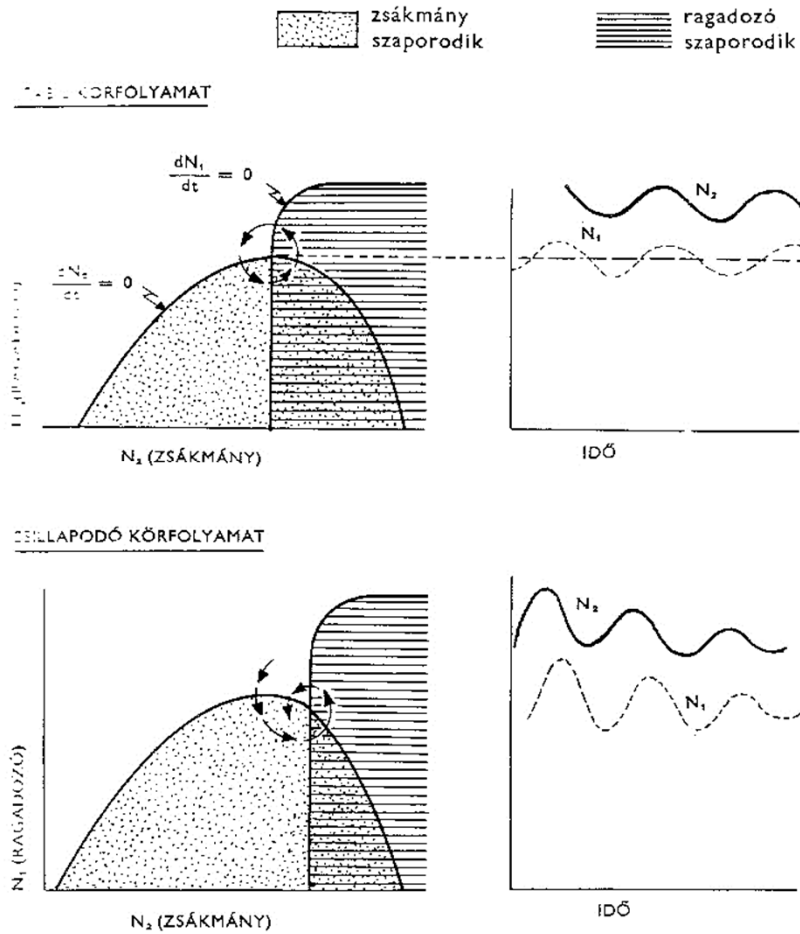






- A  $\Delta N_1/\Delta t=0$ -ból  $N_2=D_1/B_1$  a ragadozó nulla növekedési görbéje
- A  $\Delta N_2/\Delta t=0$ -ból  $N_1=B_2/D_2$  a zsákmány nulla növekedési görbéje



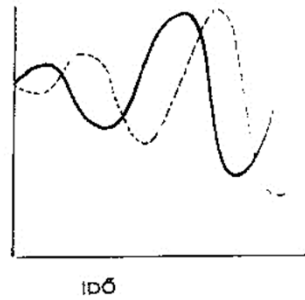
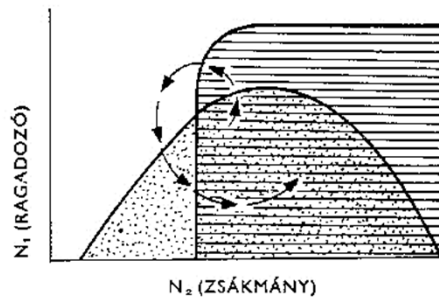


- Stabil ciklus
- Csillapított ciklus

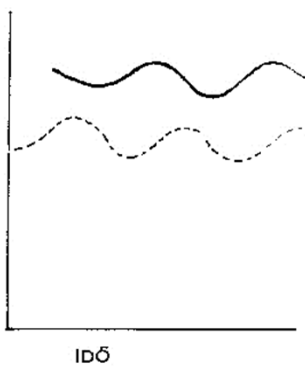
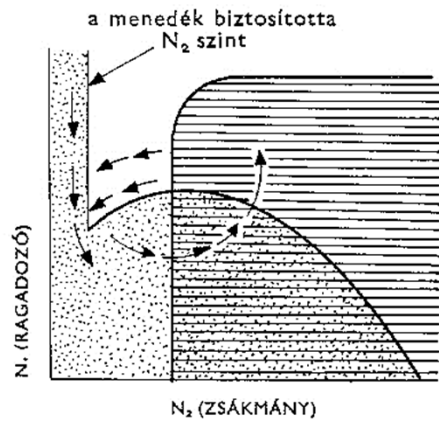
zsákmány szaporodik

ragadozó szaporodik

INSTABIL (ROBBANÓ) KÖRFOLYAMAT



STABIL CIKLUS MENEDÉKKEL



- Instabil ciklus
- Stabil ciklus menedékkal

# Evolúció és szaporodási törvények

- A genetikai kód univerzalitása
- A genetikai kód kihasználatlansága
  - A Nap ultraibolya sugárzása szénvegyületeket hozott létre, amelyek az óceánba mosódtak
  - Ezek aminosavak is voltak, sőt ezek összekapcsolódásából fehérjék is kialakulhattak
  - Ezek között olyanok is voltak, amelyek alkalmasnak bizonyultak a DNS szintézis katalizálására

1	ALA	Alanin	GCA, GCC, GCG, GCT	4
2	ARG	Arginin	AGA, AGG, CGA, CGC, CGG, CGT	6
3	ASN	Aszparagin	AAC, AAT	2
4	ASP	Aszparaginsav	GAC, GAT	2
5	CYS	Cisztein	TGC, TGT	2
6	GLN	Glutamin	CAA, CAG	2
7	GLU	Glutaminsav	GAA, GAG	2
8	GLY	Glicin	GGA, GGC, GGG, GGT	4
9	HIS	Hisztidin	CAC, CAT	2
10	ILE	Izoleucin	ATA, ATC, ATT	3
11	LEU	Leucin	CTA, CTC, CTG, CTT, TTA, TTG	6
12	LYS	Lizin	AAA, AAG	2
13	MET	Metionin	ATG	1
14	PHE	Fenilalanin	TTC, TTT	2
15	PRO	Prolin	CCA, CCC, CCG, CCT	4
16	SER	Szerin	AGC, AGT, TCA, TCC, TCG, TCT	6
17	THR	Treomin	ACA, ACC, ACG, ACT	4
18	TRP	Triptofán	TGG	1
19	TYR	Tirozin	TAC, TAT	2
20	VAL	Valin	GTA, GTC, GTG, GTT	4

- Lineáris:  $\Delta N = k \cdot \Delta t$ ;  $N = N_0 + k \cdot t$
- Exponenciális:  $\Delta N = k \cdot N \cdot \Delta t$ ;  $N = N_0 \cdot e^{k \cdot t}$
- Hiperbolikus:  $\Delta N = k \cdot N^2 \cdot \Delta t$ ;  $N = N_0 / (1 - N_0 \cdot k \cdot t)$
- Lineáris versengés:  $n_1/n_2 = k_1/k_2$
- Exponenciális versengés:  $k_1 > k_2$  esetén az 1. faj győz
- Hiperbolikus versengés: az a faj győz melyre  $k_1 \cdot N_1$  nagyobb

- 1. A fiatal Föld légköre: CH<sub>4</sub>, NH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>O, UV sugárzás és elektromos kisülések hatására cukrok, aminosavak és adenin típusú gyűrűk keletkeztek, ezekből pedig kisebb fehérjék és nukleinsavak. A fehérjék közt lehettek a DNS szaporodást katalizáló fehérjék. Ekkor a szaporodás lineáris.
- 2. Szelekciós előnyhöz jut az a nukleinsav, amely elősegíti a replikáz enzimek keletkezését.

$$\frac{\Delta N_F}{\Delta t} = S \cdot N_N - H \cdot N_F \qquad N_F = \frac{S}{H} \cdot N_N$$

- A nukleinsav reprodukcióhoz nukleinsav minta és fehérje szükséges, vagyis

$$\frac{\Delta N_N}{\Delta t} = k \cdot N_N \cdot N_F = k \cdot N_N \cdot \frac{S}{H} \cdot N_N = K \cdot N_N^2$$

- A fehérjeszintézist felfedező DNS molekulák hiperbolikus szaporodásra váltanak, fejlődésre csak nagyon rövid idő áll rendelkezésre.
- 3. A kölcsönös segítségnyújtásnál is hatékonyabb stratégia, ha egy nukleinsav a környezetében hártját fejleszt, maga körül tudja tartani a legyártott fehérjéket, kialakul a sejt, a szaporodás exponenciálisra vált, megindulhat egy újfajta evolúció, de ez már nem érintheti a genetikai kódot.

- Spiegelmann kísérlet a Q $\beta$  vírus ts-1 törzsével
  - Genetikai információja 3600 betű
  - A sejtben a vírus kb. 30 percenként szaporodik
- Negyed cm<sup>3</sup> tápoldat:
  - Cukor
  - Nukleotid építőelemek
  - Replikáz enzim
- Ebbe a tápoldatba 0,2  $\mu$ g vírust oltott, majd 20 percenként kivett 0,02 cm<sup>3</sup>-t és negyed cm<sup>3</sup> friss tápoldatra oltotta. Ezt megismételte 15-ször. A tenyészet már a negyedik átoltás után elvesztette sejtfertőző képességét.



- Az előzőekben leírt szakasz után következett a szelekció nyomás növelése
  - 15 átoltás 15 percenként
  - 15 átoltás 10 percenként
  - 15 átoltás 7 percenként
  - 15 átoltás 5 percenként
- Eredményképpen a 3600 betűből álló nukleinsav 550 betűre zsugorodott, reprodukciós sebessége 2,5-szeresére nőtt. A reprodukciós sebességet radioaktív  $^{32}\text{P}$  izotóp beépítésével mérték.

- Később a nukleinsav hosszát 180 betűre sikerült csökkenteni. Ez a molekula már az enzimtermelő képességét is elvesztette.
- Ennek a molekulának a szaporodási görbéje exponenciális, majd lineárisra vált.

## Állandó testhőmérsékletű állatok energia háztartása

- $\dot{j}_{\text{rad,a}} + \dot{j}_{\text{M}} = \dot{j}_{\text{rad,e}} + L_{\text{f}} \cdot (\dot{j}_{\text{g,r}} + \dot{j}_{\text{g,f}}) + \dot{j}_{\text{Q}}$
- $\dot{j}_{\text{rad,a}}$  : a sugárzásból elnyelt energia
  - rövid és hosszúhullámú komponensek együtt
- $\dot{j}_{\text{M}}$  : a metabolikus hő
- $\dot{j}_{\text{rad,e}}$  : a kisugárzott hő
- $L_{\text{f}} \cdot (\dot{j}_{\text{g,r}} + \dot{j}_{\text{g,f}})$  : hőveszteség párologtatással
  - $L_{\text{f}}$  : a víz forráshője
  - $\dot{j}_{\text{g,r}}$  : a vízgőz áramsűrűsége a kilégzett levegőben
  - $\dot{j}_{\text{g,p}}$  : a testfelületről távozó vízgőz áramsűrűsége
- $\dot{j}_{\text{Q}}$  : hőleadás hőcserével

# A hőveszteségek

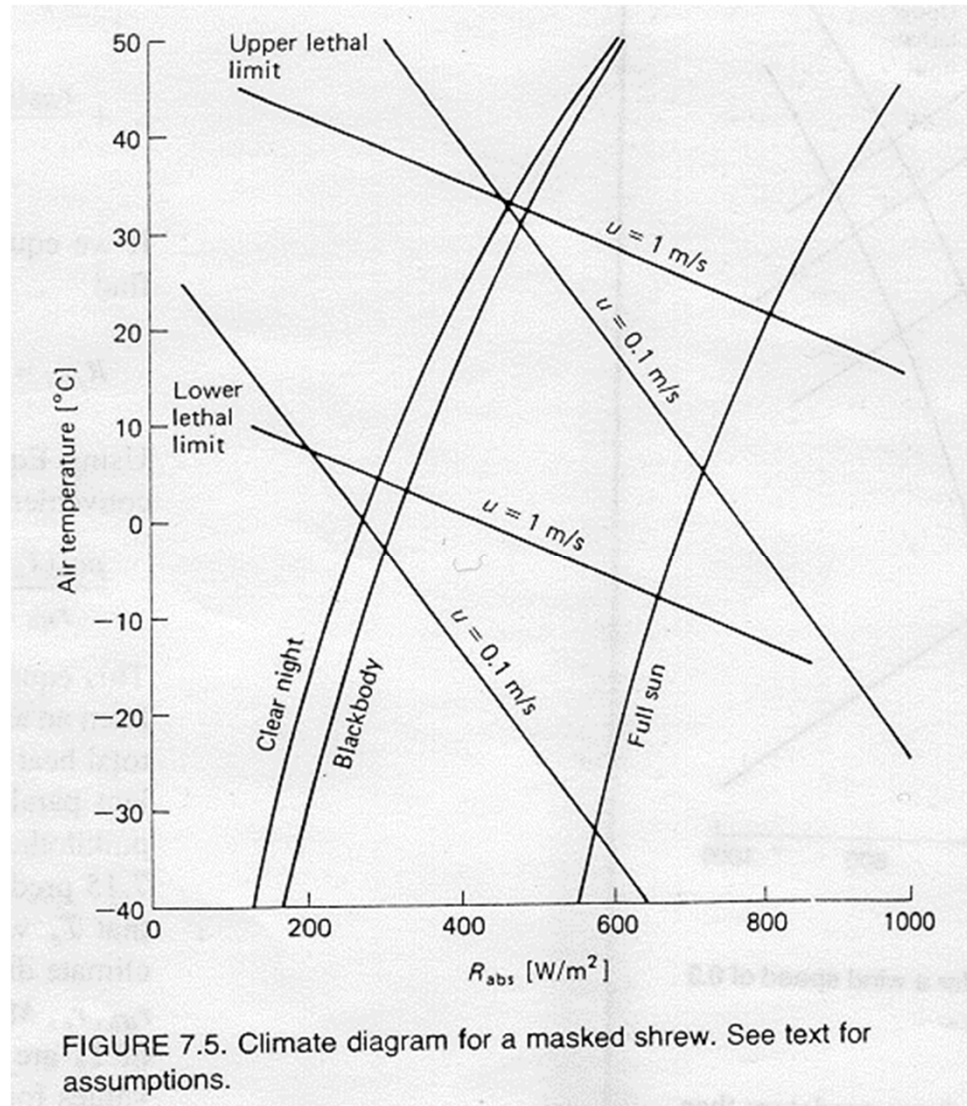
$$\dot{j}_M = \left( \frac{\rho_{o,i} - \rho_{o,e}}{r_o} \right) \cdot \Gamma \quad \Gamma \text{ a tömegegységenként produkált hő: } 15 \text{ MJ/kg}$$

$$\dot{j}_{g,r} = \frac{\rho_{g,e} - \rho_{g,i}}{r_g}$$

$$\dot{j}_{g,f} = \frac{\rho_f - \rho_k}{r_g}$$

$$\dot{j}_Q = \rho \cdot c_p \cdot \frac{T_f - T_k}{r_Q}$$

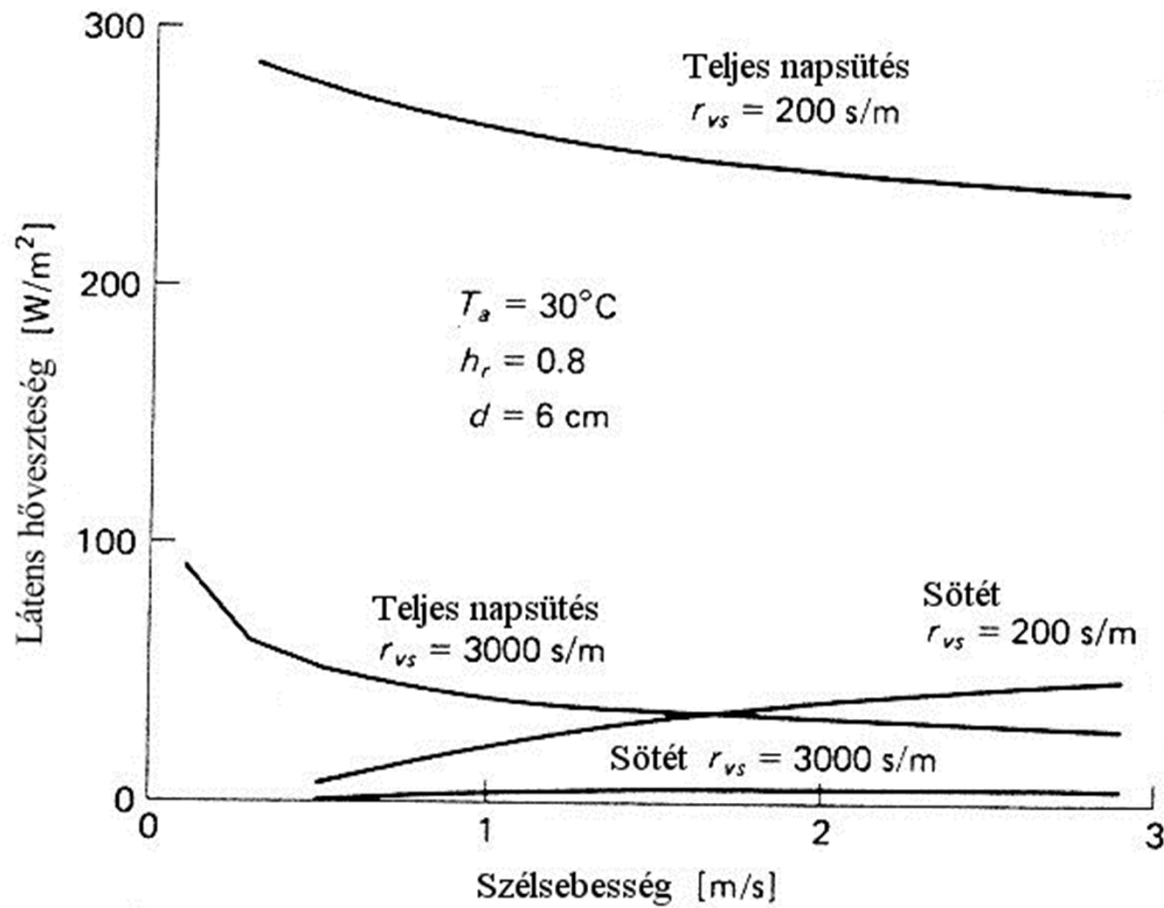
# Klíma tér



# Növények energia háztartása

- $\dot{j}_{\text{rad},a} = \dot{j}_{\text{rad},e} + L_f \cdot \dot{j}_{g,f} + \dot{j}_Q$

# A látens hőveszteség



# Fotoszintézis

$$j_o = \frac{\rho_{c,k} - \rho_{c,c}}{r_{c,k} + r_{c,s} + r_{c,m}}$$

$$[j_o] = \text{mg/cm}^2 \cdot \text{s}$$

$r_{c,k}$ : ellenállás a határrétegben

$r_{c,s}$ : ellenállás a stómákon

$r_{c,m}$ : ellenállás a sejtfalon keresztül

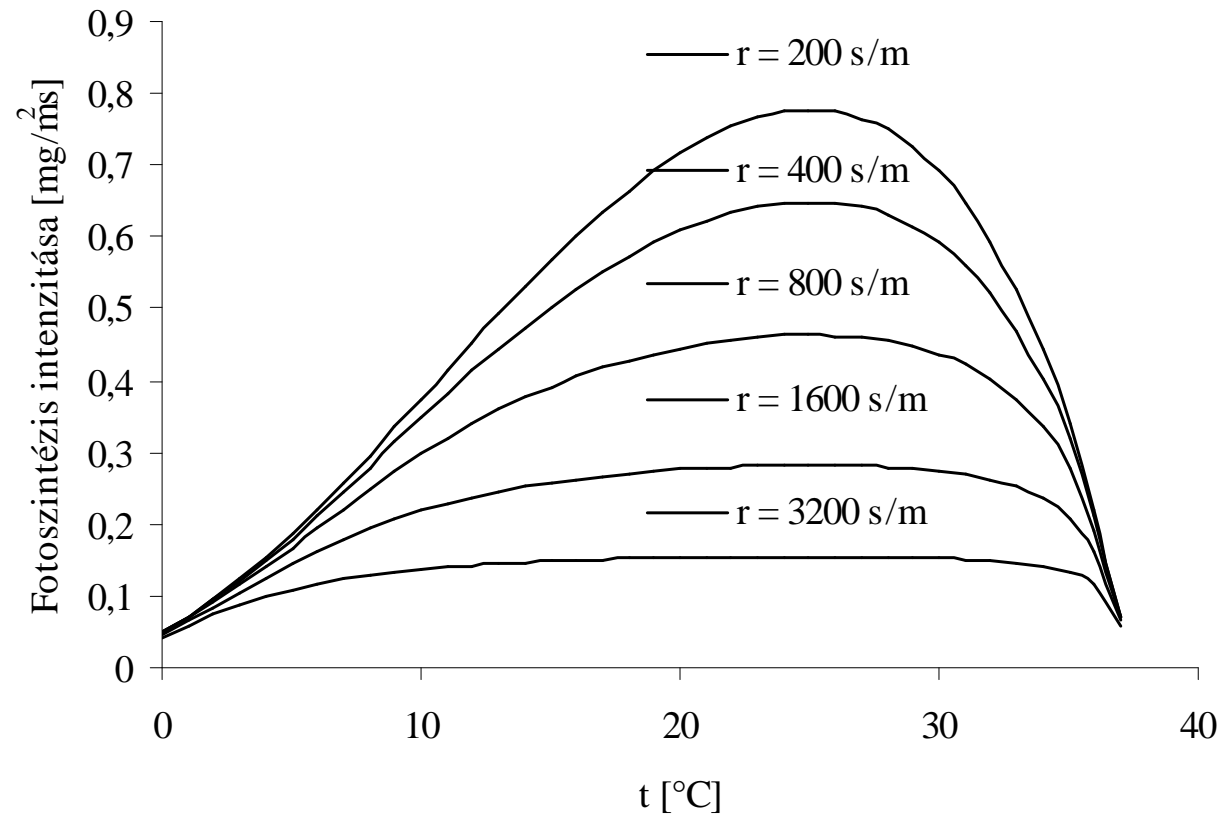
$$j_o = \frac{j_{o,M}}{1 + \frac{K}{\rho_{c,c}}}$$

$j_{o,M}$ : a fotoszintézis intenzitása  $\text{CO}_2$  telítésnél

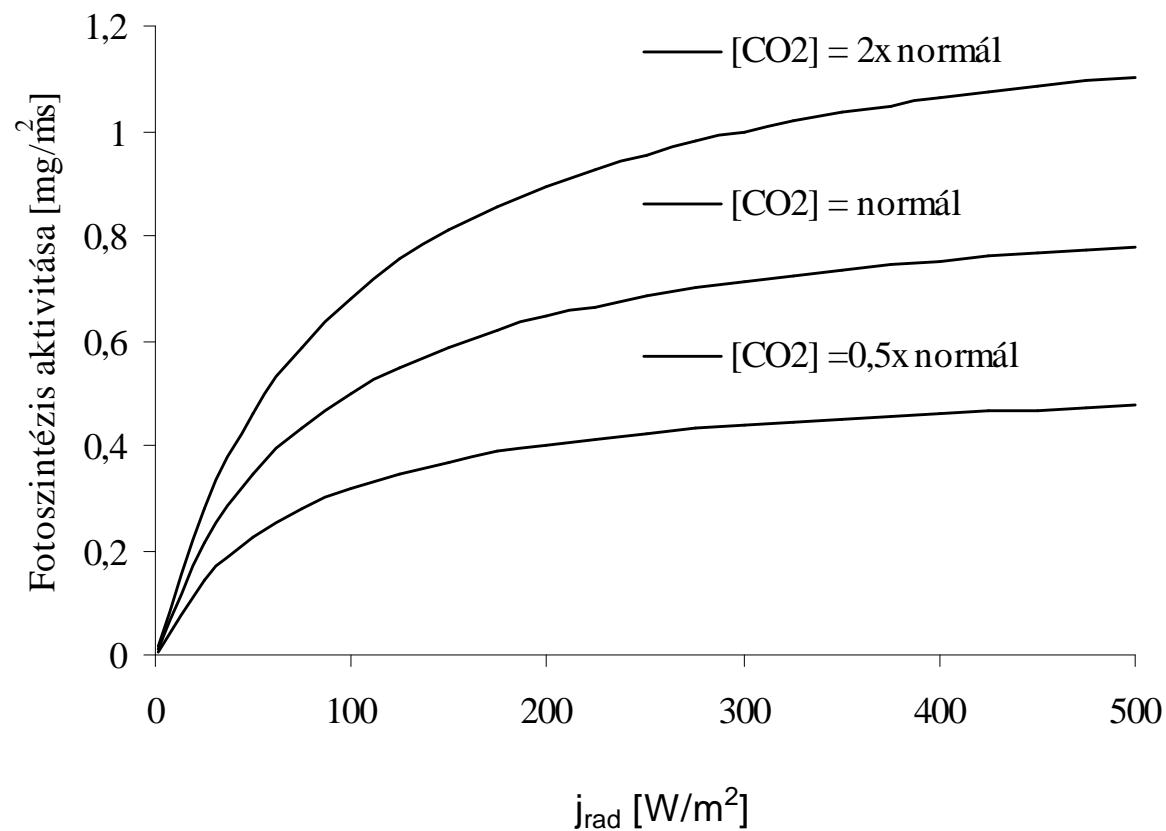
$K$ : állandó, a kloroplaszt  $\text{CO}_2$  koncentrációjával egyenlő, ha  $j_o = j_{o,M}/2$



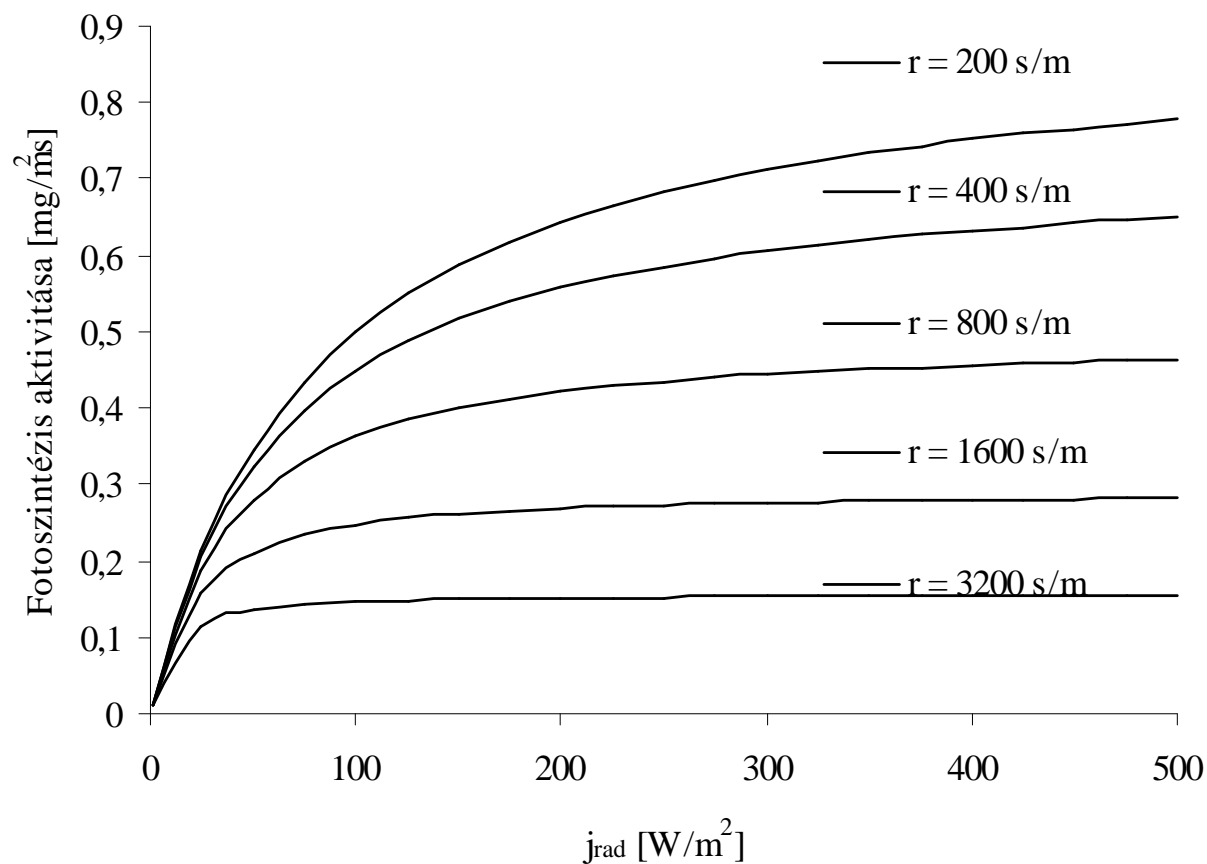
# A fotoszintézis intenzitása a környezeti hőmérséklet függvényében különböző ellenállásoknál



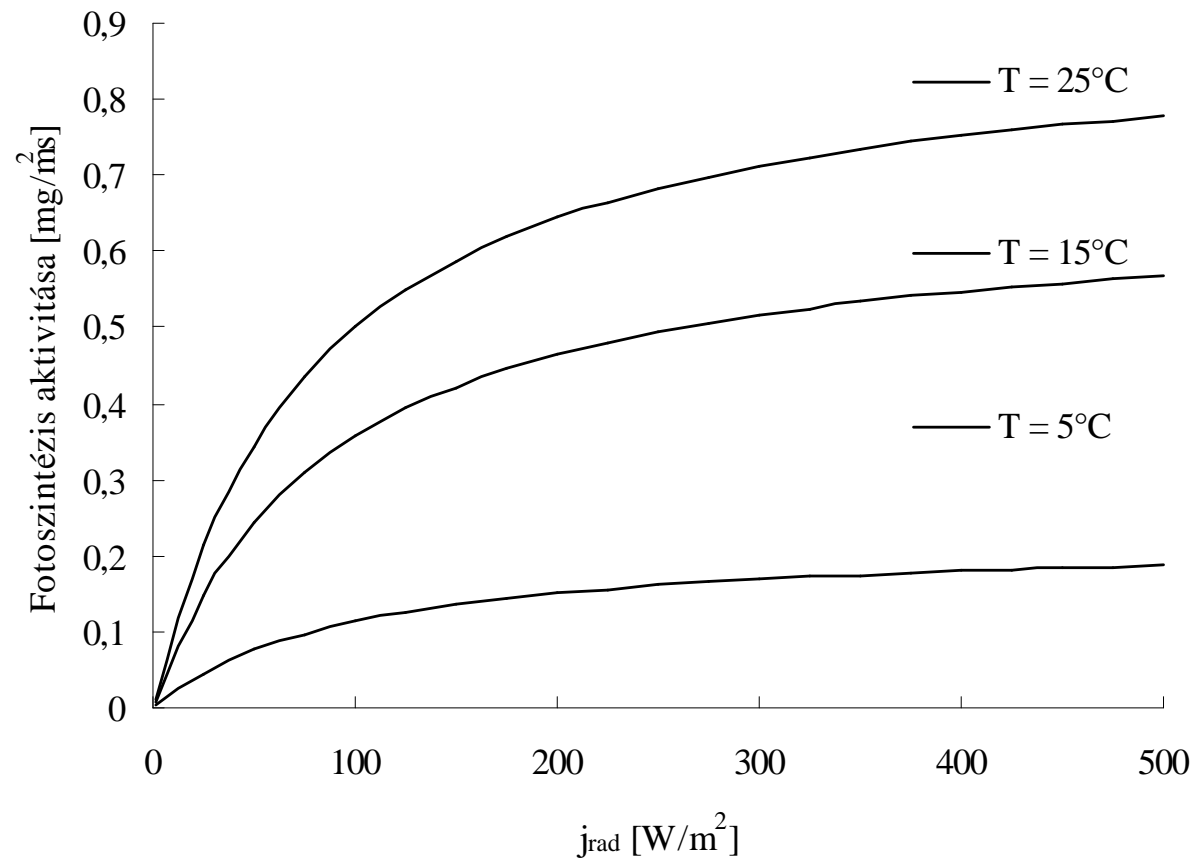
# A fotoszintézis intenzitása a sugárzás intenzitásának függvényében különböző CO<sub>2</sub> koncentrációknál



# A fotoszintézis intenzitása a sugárzás intenzitásának függvényében különböző ellenállásoknál



# A fotoszintézis intenzitása a sugárzás intenzitásának függvényében különböző környezeti hőmérsékleteknél



# Az egy főre jutó energia fogyasztás

Kor	Energiafogyasztás [kJ/fő/nap]
Ősember	8000
Vadász/gyűjtögető	20000
Korai földművelő	48000
Középkor	104000
Ipari forradalom után	280000
Jelenleg	920000

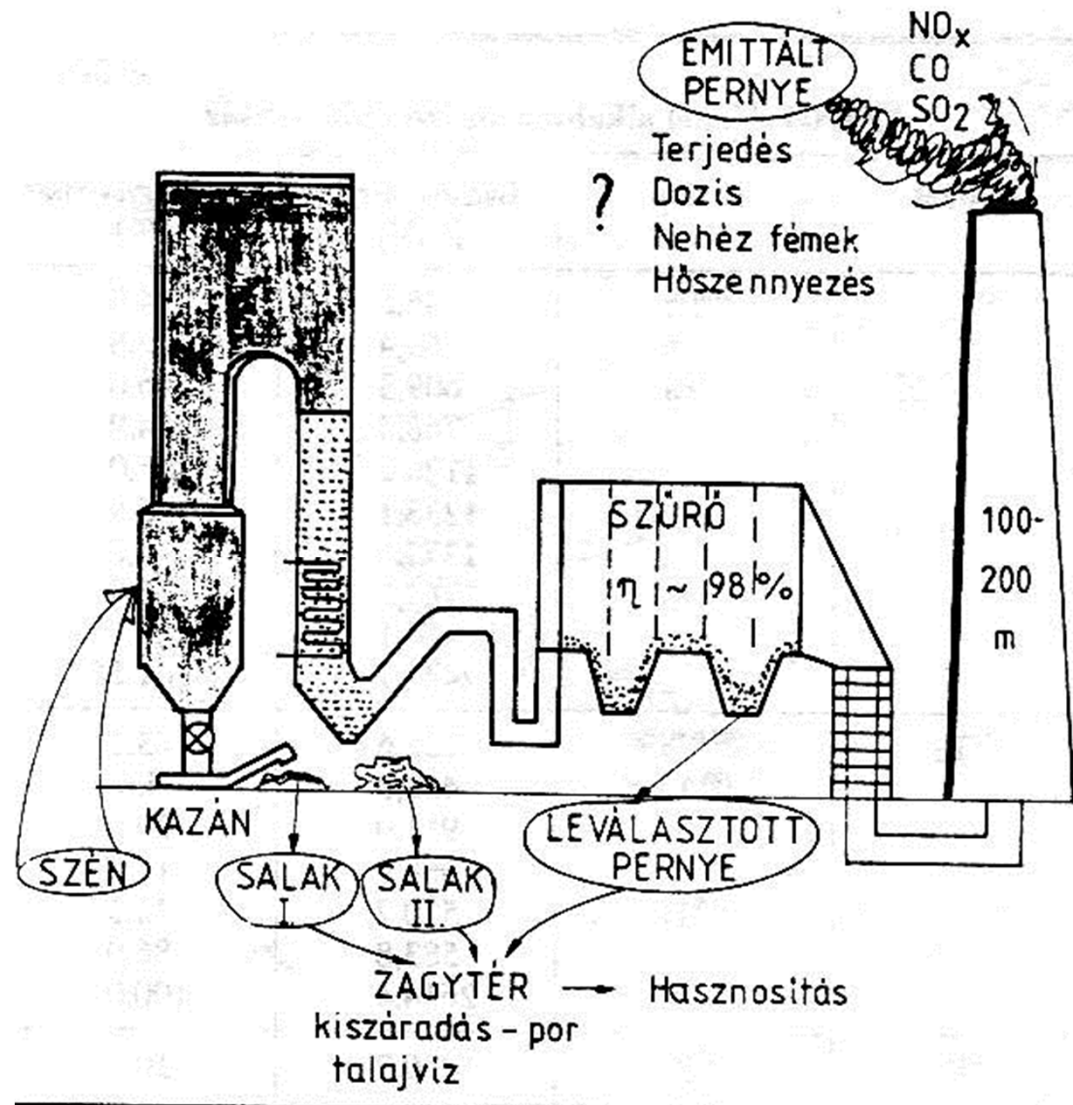
# A kukoricatermesztés energia igénye [10<sup>5</sup>kJ/ha]

év	1700	1920	1945	1983
$E_{\text{term}}$	301	301	341	1040
$E_{\text{bef}}$	29	52	100	441
$E_t/E_b$	10,5	5,8	3,4	2,4

# A fosszilis energiahordozók helyzete: szén

- A készletek becsült élettartama 200-500 év
- A környezeti hatások jelentősek
  - $O_2$  fogyasztás és  $CO_2$  termelés
  - S tartalomból származó  $SO_2$   $\Rightarrow$  savas eső
  - Nitrogén oxidok  $\Rightarrow$  savas eső
  - A bányászat kockázatos tevékenység
  - A kiszivattyúzott bányavíz sokszor vegyileg aktív
  - A víztelenítés talajvízszint csökkenést eredményez
  - A külszíni fejtés környezetromboló
  - A szén U és Th tartalma miatt jelentős a radioaktív szennyezés

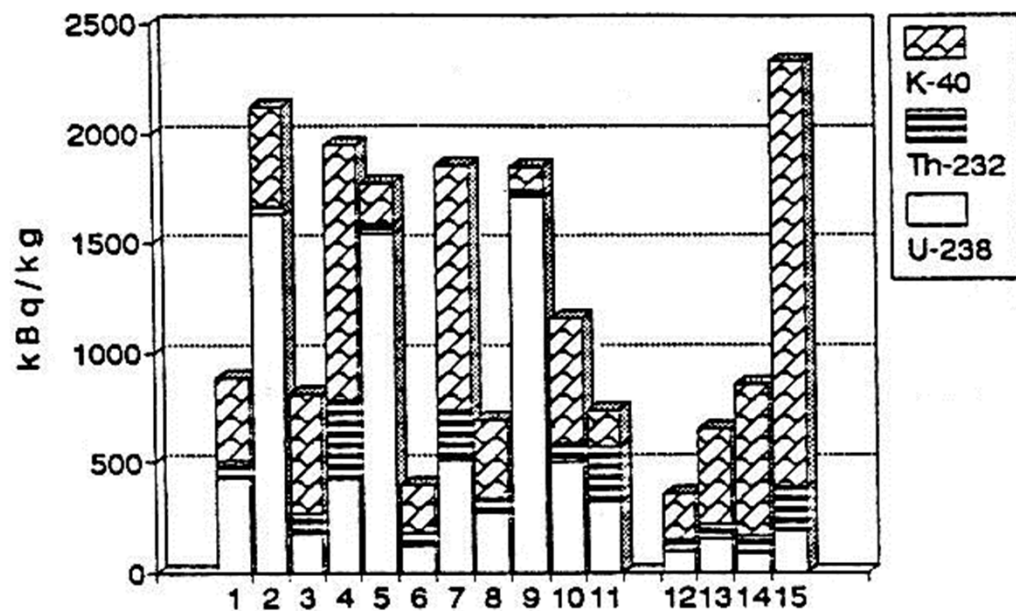
# Széntüzelésű erőmű környezeti hatásai





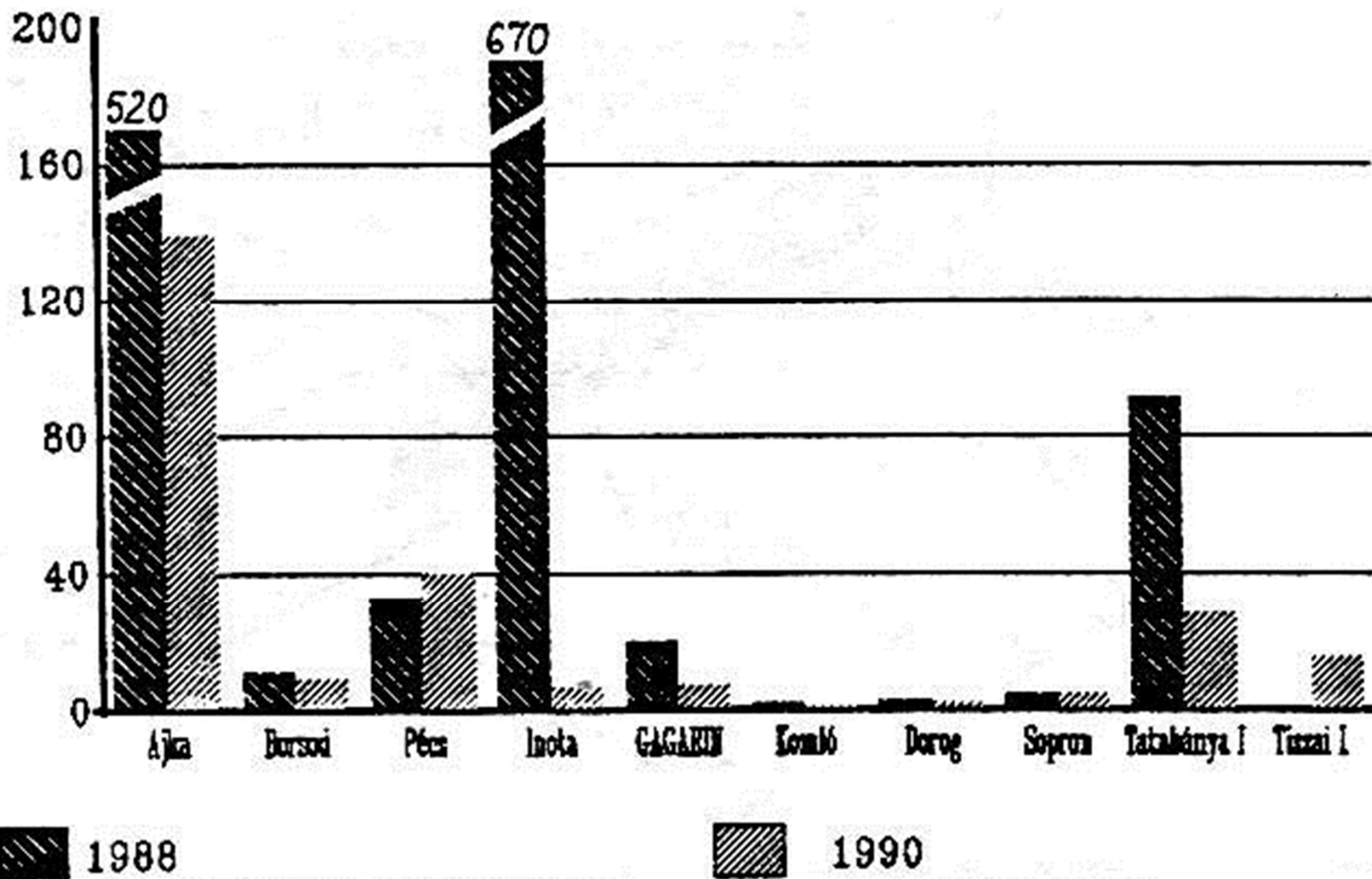
# Környezetbarát technológiák

- Fluidizációs tüzelés: a porrá őrölt szenet mészkőporral keverve égetik. A mészkő a kénnel gipszet alkot.
- A szén gázosítása: A szénport oxigén és vízgőz jelenlétében égetik el. Magas hőmérsékleten a víz felbomlik, a szén a  $H_2$ -vel metánt alkot.
- A szén cseppfolyósítása: bonyolult, több lépéses folyamat, eredményképpen a petróleumhoz hasonló folyadék keletkezik.

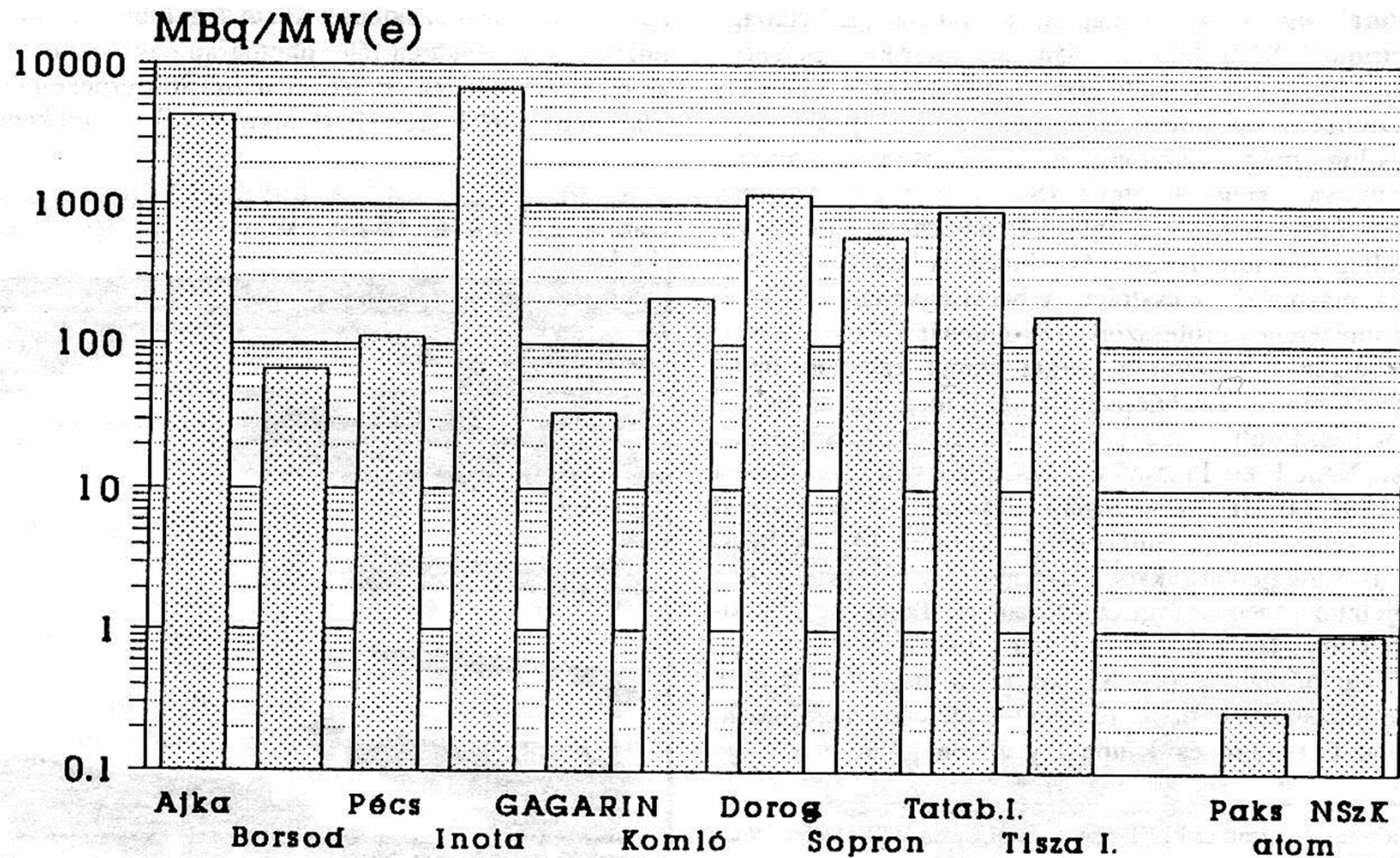


JELÖLÉS	ERÓMÚ	SZÉNFAJTA
1	Ajka	oroszlányi
2	Ajka	ajkai
3	Borsod	borsodi
4	Pécs	pécsi
5	Inota	várpalotai
6	Gagarin	visontai
7	Komló	komlói
8	Dorog	dorogi
9	Sopron	ajkai
10	Tatabánya	tatai
11	Tisza I.	
12	Kanada	
13	NSzK	
14	USA	pennsylvaniai
15	Szovjetunió	doni

# Erőművek radioaktív emissziói [GBq/év]



# Egységnyi elektromos teljesítményre jutó radioaktív emisszió 1988



# Olaj

- A készletek becsült élettartama 35-64 év

Ország	Készlet [Mrd t]
Szaúd-Arábia	36,0
Irak	15,2
Kuvait	13,3
Egyesült Arab Emírségek	13,0
Irán	12,3
Venezuela	11,2
Oroszország	8,2
USA	3,8

- A környezeti hatások hasonlóak a szénnél leírtakhoz
  - Állandó környezeti veszélyforrás az olaj tankerekkel történő szállítása.
  - A sekély tengereken, az ún. kontinentális talapzaton működő fúrótornyok balesetei.

# Földgáz

- A készletek becsült élettartama 60-150 év

Ország	Készlet [Tm <sup>3</sup> ]
Oroszország	47,6
Irán	23,0
Szaud-Arábia	6,4
Egyesült Arab Emírségek	6,0
USA	5,2
Algéria	4,5
Venezuela	4,2
Indonézia	2,6

- Túlnyomórészt metánból áll, ezért elégetésekor  $\text{CO}_2$  és víz keletkezik



# Az energia szállítása

- Olaj- és gázvezeték hálózatok
- Elektromos hálózat
  - A veszteségi teljesítmény:  $P_v = I^2 R$
  - Az átviendő teljesítmény:  $P_t = UI$

$$\frac{P_v}{P_t} = \frac{I^2 \cdot R}{I \cdot U} = I \cdot U \frac{R}{U^2} = P_t \cdot \frac{R}{U^2}$$

# A Nap energiájának hasznosítása

- A Nap által kisugárzott energia  $1,2 \cdot 10^{34}$  J
- Ebből a Föld által elnyelt energia  $3,6 \cdot 10^{25}$  J
- A felszínre  $8,7 \cdot 10^{23}$  J energia jut
- Ebből hasznosul  $1,7 \cdot 10^{14}$  J
- A Föld utolsó 300 millió évében felhalmozódott fosszilis energiahordozók energiája  $4,3 \cdot 10^{22}$  J

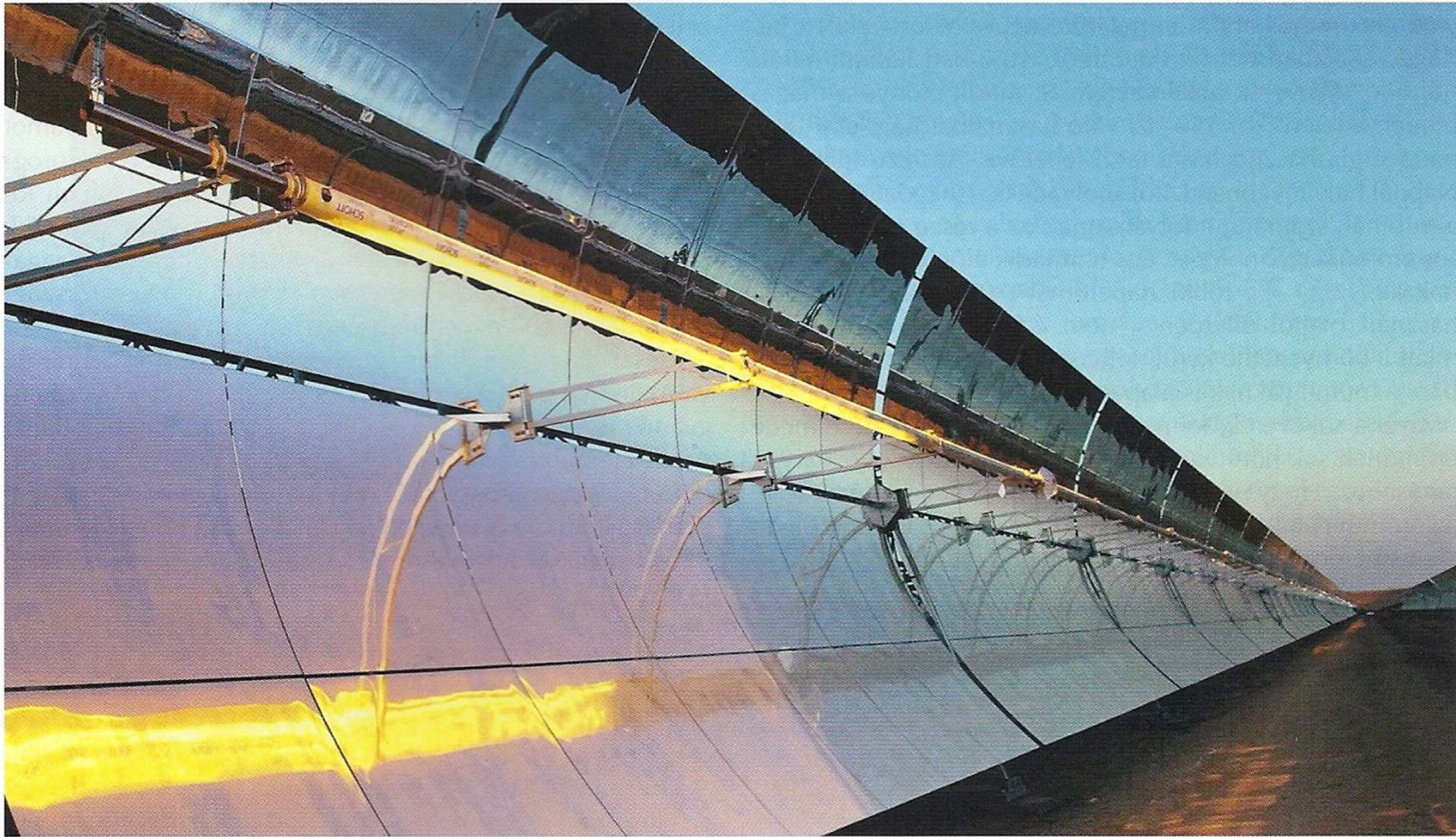
# Kimeríthetetlen és megújuló energiaforrások

- Az ún. kimeríthetetlen energiaforrások:
  - A Nap UV, VIS, IR, elektromágneses sugárzása
    - Hőenergia gyűjtése
      - Közvetlen hasznosítás
      - Elektromos energia termelés
    - Elektromos energia termelés
    - H<sub>2</sub> előállítás
  - Geotermikus energia
  - A föld és az óceánok hőjének hasznosítása hőszivattyúval (energia befektetést igényel)
- A nap által generált megújuló energiaforrások
  - Szélenergia
  - Vízenergia
  - Biomassza
    - A növényekben felhalmozott szén elégetése
    - Biogáz (metán) előállítás
    - Bioetanol előállítás
    - Biodizel előállítás
- Kommunális és ipari szerves hulladékok
  - Biogáz (metán) előállítás

# Napkollektorok

- Egyszerű síkkollektor
  - Passzív napenergia hasznosítás
- Vonalfókusz rendszer
- Heliosztát

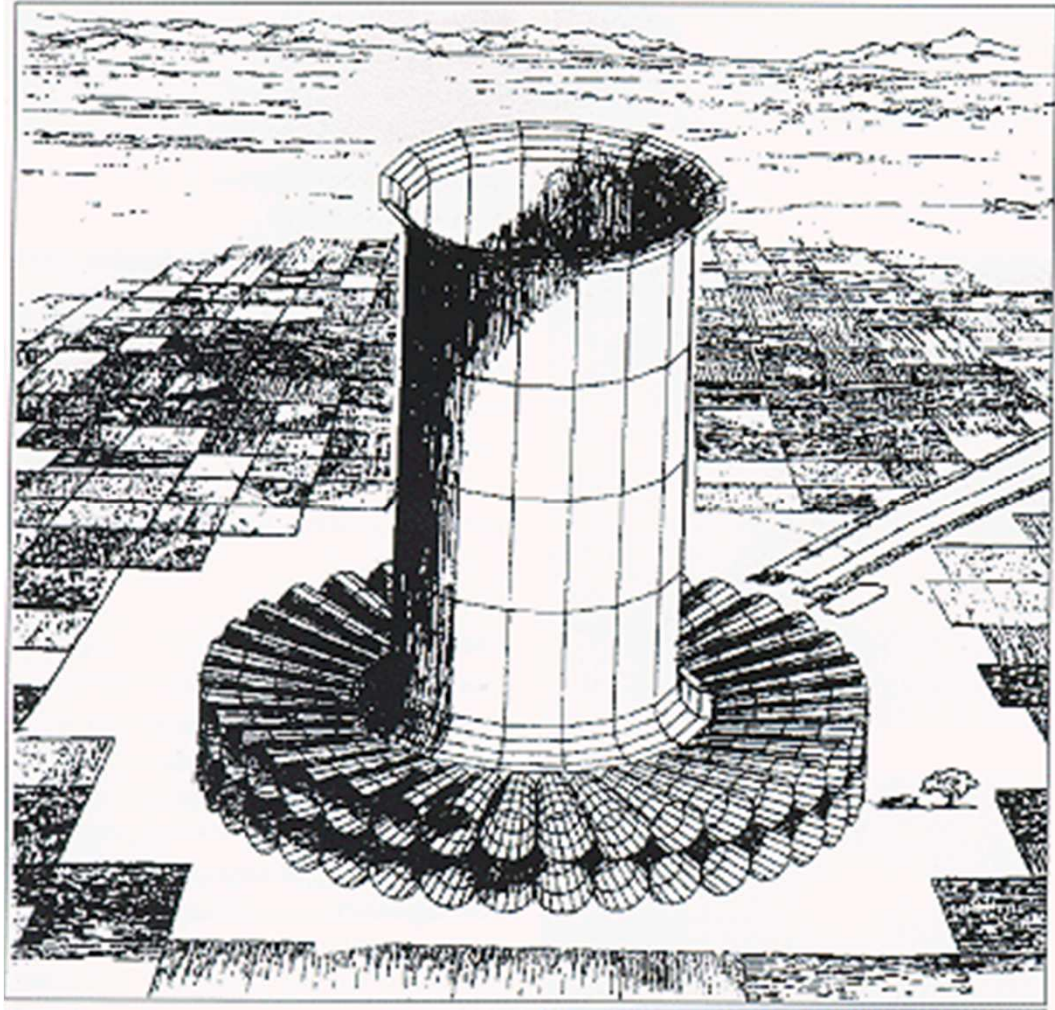
# Vonalfókusz rendszer



# Vonalfókusz rendszer



# Heliosztát



# Közvetlen elektromos energia termelés

- Fényelemek



# Hidrogéntermelő folyamatok hasznosítása

- A víz fotolízise:
- $2\text{H}_2\text{O} + h\nu \rightarrow \text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^-$ ;  $4\text{H}^+ + 4\text{e}^- \rightarrow 2\text{H}_2$
- Ez a folyamat megvalósítható
  - Biokatalitikus kloroplasztisz rendszerekben
  - Mikrobiológiai biomasszában
  - Szerves félvezető anyagokkal
  - Hidrogéntermelő algákkal

# Biokatalitikus kloroplasztisz rendszer

- Alkotórészek:
  - Kloroplasztisz membrán
  - Sejtekből izolált hidrogenáz enzim
- A fotoszintézisben is részt vevő A anyag jelenlétében
- $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{A} \rightleftharpoons \text{O}_2 + 2\text{AH}_2$
- A hidrogenáz jelenlétében
- $\text{AH}_2 \rightleftharpoons \text{A} + \text{H}_2$

# Mikrobiológiai biomassza

- Lényegében az előző rendszerrel azonos, csak itt olyan mikroorganizmust tartalmaz a rendszer, amelyek hidrogenázt termel, így azt nem kell kívülről a rendszerhez juttatni

# Geotermikus energia

- A felszín és a mélyebb rétegek közti 20-25 °C hőmérséklet különbséget használják ki

# Szélenergia

- A háromlapátos szélgenerátor legnagyobb hatásfokkal az 5-12 m/s szélesebesség tartományban működik
- Magyarországon az átlagos szélesebesség 3 m/s

# Vízenergia

- A víz potenciális és mozgási energiájának elektromos energiává alakítása

# A növényekben megkötött szén elégetése illetve ebből biogáz előállítása

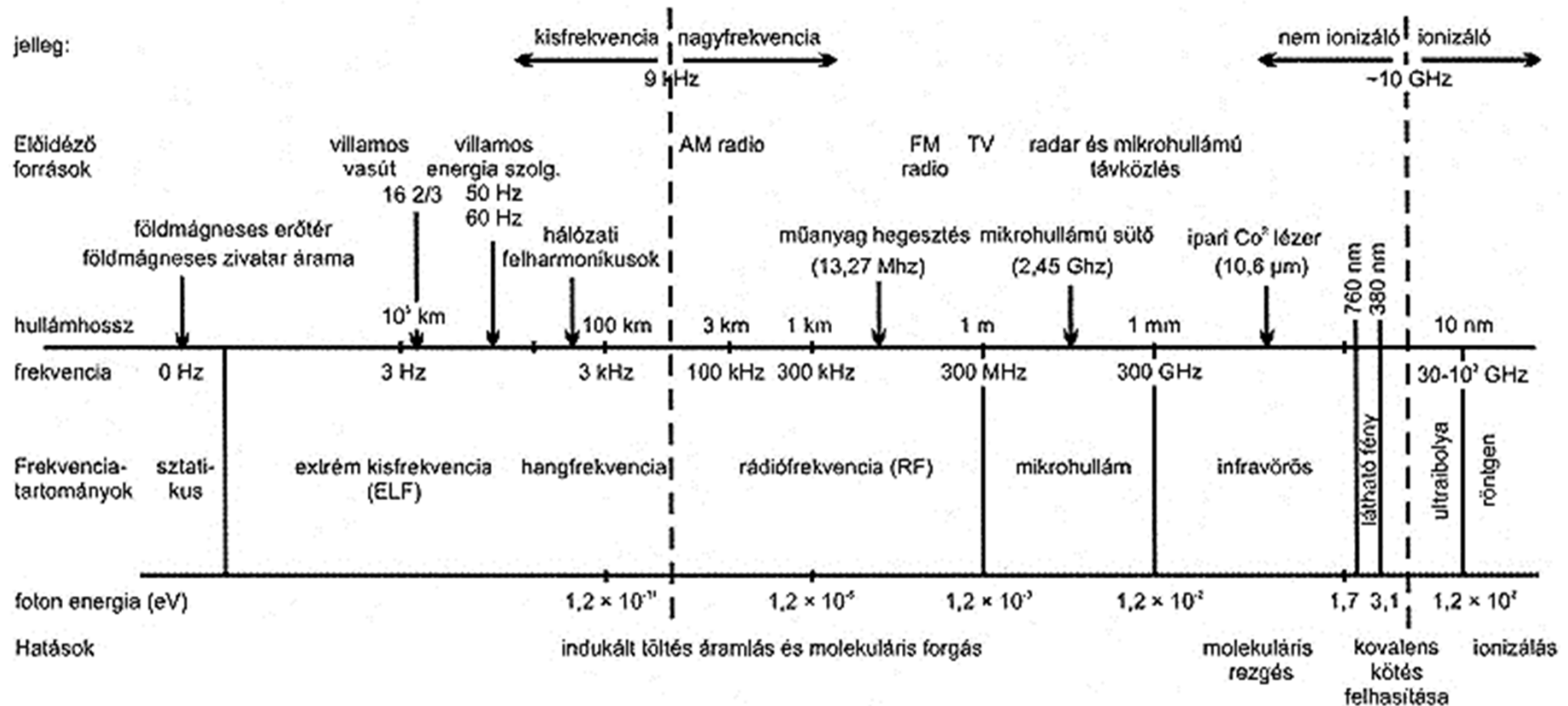
- Nagy zöldtömeget termelő növények
  - Cukornád: 60-90 t/ha; ez 1,2-1,6 %-os hatásfok
  - Vízínövényekkel 250 t/ha is elérhető; 3,5-4 %
- A szén redukciójának becsült max hatásfoka a fotoszintézis során 7 % lehet. Növelésére további lehetőség a CO<sub>2</sub>-ben dúsított atmoszféra. A megkötött CO<sub>2</sub> 2-3-szorosára emelkedik, ha a koncentrációt a 0,032 %-ról 0,13 %-ra növeljük

# Problémák

- 1000 MW teljesítményhez szükséges terület
  - Nukleáris erőmű      0,7 km<sup>2</sup>
  - Napkollektor      22 km<sup>2</sup>
  - Szélgenerátor      46 km<sup>2</sup>
  - Energiaerdő      512 km<sup>2</sup>
- Tartalék erőművek problémája



# Az EM spektrum



## Nem ionizáló sugárzások (a teljes EM spektrum)

Sugárzás típusa	Frekvencia	Hullámhossz
Ionizáló	>3000 THz	<100 nm
Nem ionizáló	<3000 THz	>100 nm
Ultraibolya	3000-750 THz	100-400 nm
UV-C	3000-1070 THz	100-280 nm
UV-B	1070-952 THz	280-315
UV-A	952-750 THz	315-400 nm
Látható fény	750-375 THz	400-800 nm
Infravörös	375-0,3 THz	0,8-1000 $\mu\text{m}$
IR-A	375-214 THz	0,8-1,4 $\mu\text{m}$
IR-B	214-100 THz	1,4-3 $\mu\text{m}$
IR-C	100 0,3 THz	3-1000 $\mu\text{m}$

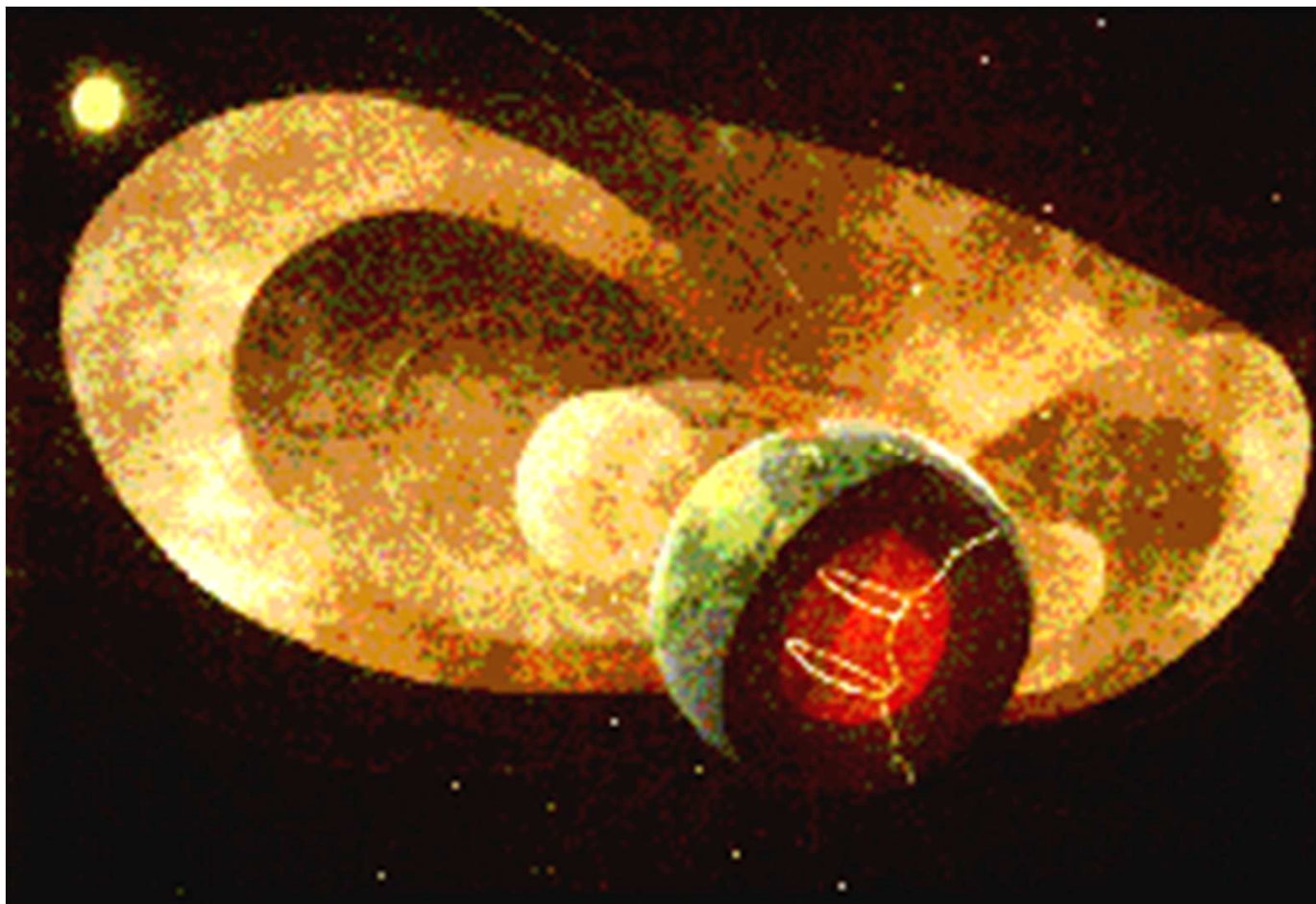
# Nem ionizáló sugárzások (a teljes EM spektrum)

Sugárzás típusa	Frekvencia	Hullámhossz
Rádiófrekvencia	300 GHz-0,3 GHz	1 mm-1000 m
Extrém magas (EHF)	300-30 GHz	1-10 mm
Szuper magas (SHF)	30-3 GHz	10-100 mm
Ultra magas (UHF)	3- 0,3 GHz	100-1000 mm
Nagyon magas (VHF)	300-30 MHz	1-10 m
Magas (HF)	30-3 MHz	10-100 m
Közép (MF)	3-0,3 MHz	100-1000 m
Alacsony (LF)	300 -1 kHz	1-300000 km
Statikus tér	0 Hz	

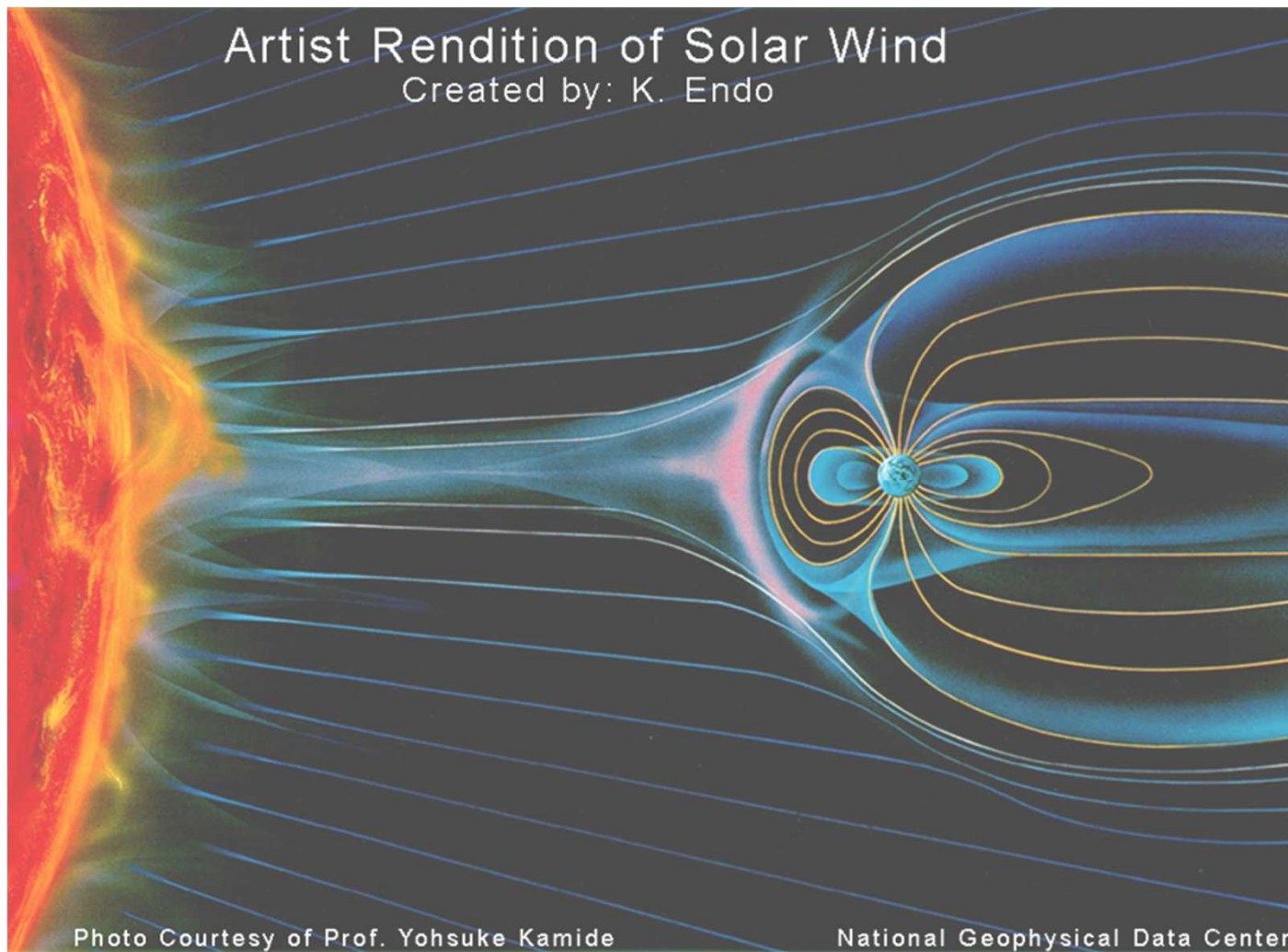
# Az élet kialakulása és az EM terek

- Az élet a kialakulásakor egy adott mágneses és elektromos térben jött létre
- A mágneses tér eredete
  - A folyékony magma áramai – saját tér (90 %)
  - A napszél mágneses tere
  - $B = 25 - 65 \mu\text{T}$
  - Napi, havi, éves és több éves periódikus ingadozások
  - Mágneses viharok
- A Föld felületének 280-ad részén zivatarok vannak
  - A légkörben töltésszétválasztó erő működik, a negatív töltések lefelé, a pozitívak felfelé áramlanak
  - $E = 130 \text{ V/m}$ ; lefelé mutat
  - Földközeli ionarány 5/4
  - Zivatar frontok előtt 100 km-el ionkoncentráció- és drasztikus elektromos térerősség változás

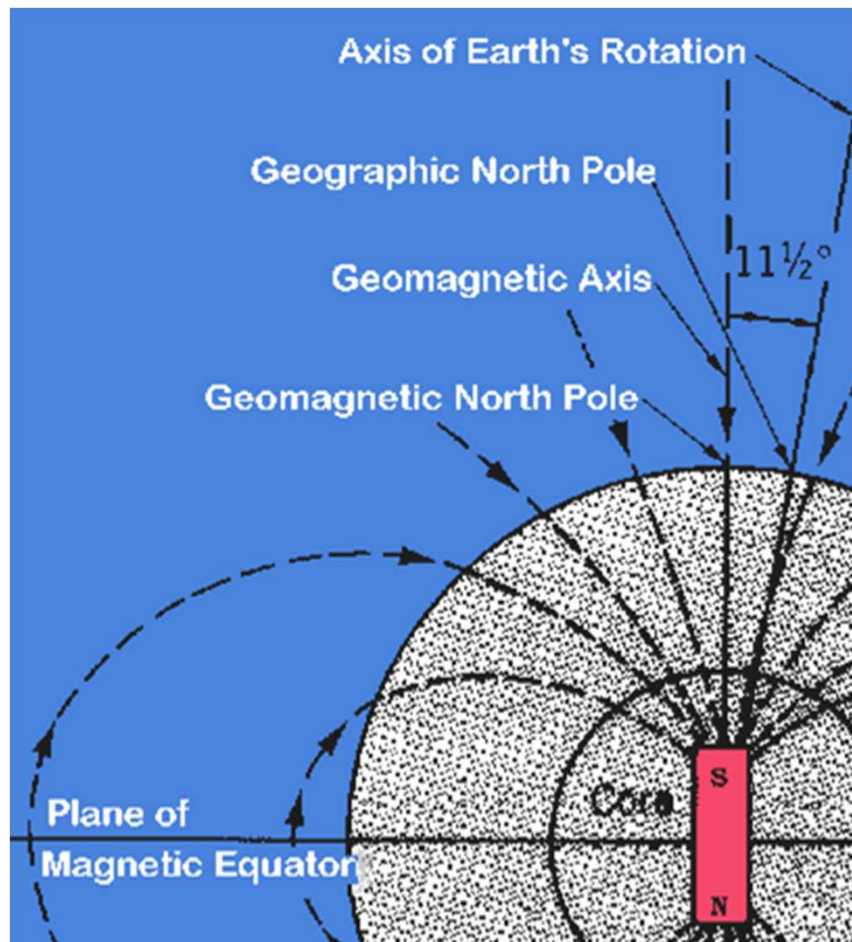
# A Föld mágneses tere



# A napszél



# A Föld mágneses terének megadása



- Megadása:  
leggyakrabban a vízszintes és függőleges komponenssel, valamint a deklináció szögével, a mágneses és csillagászati É-D irány által bezárt szöggel

# EM terek feltételezett hatásai

- Az utóbbi 50 – 60 évben mintegy 300-szorosára növekedett az intenzitás
  - 50/60 Hz-es táv- és hálózati vezetékek, és az ezt felhasználó háztartási és ipari gépek
  - A 100 MHz – 3 GHz tartományban működő hírközlés (rádió, TV, mobiltelefon, katonai alkalmazások)
- Feltételezett káros hatások
  - Daganatos betegségek kialakulása embereken, állatkísérletekben (egér, patkány)
  - Gyerekkori leukémia kialakulása
  - Szívritmus zavarok
  - Trombózis kockázat növekedése
  - Rovarokon a reprodukciós képesség sokszor jelentős csökkenése
- Feltételezett pozitív hatások
  - Elektromágneses terápiák (pl. a reumatológiában)
  - Élettani folyamatok stimulálása elektromágneses terekkel. Optimális feltételek megállapítása.
  - Valószínű, hogy a káros és a gyógyító hatások megállapításához a dózis és a frekvencia pontos megállapítására van szükség.
  - A dózis alatt a tér intenzitásának és hatás időtartamának a szorzatát értjük



# 0-300 GHz frekvenciájú terek biológiai hatásai

- **Termikus hatás:** a molekulák forgási energiájának vagy a dipólok energiájának a megnövekedése
- **Nem termikus hatások:**
  - (1) A sejtek elektromos gerjeszthetőségének jelenségei,
  - (2) Élettani folyamatokat serkentő vagy gátló hatás,
  - (3) Statikus tér esetében orientációs hatások
  - (4) Bioritmuskok befolyásolása.
  - (5) A halak és egyéb állatok elektroreceptoros jelenségei,
  - (6) A baktériumok, rovarok és madarak magnetoreceptoros jelenségei,
- **EM tereket felhasználó biotechnológiák:**
  - (1) A sejtek passzív mozgásának jelenségei mesterségesen alkalmazott terekben, mint pl. az elektroforézis, dielktroforézis, elektrorotáció vagy elektrofúzió.
  - (2) A sejtmembrán elektromos lebontása rövid elektromos impulzussal, amely sejtek perforációjához és fúziójához vezet,
- **A leggyakrabban vizsgált tartományok:**
  - Mikrohullámok tartománya
  - 50/60 Hz frekvenciájú terek hatásai
  - Sztatikus vagy extrém alacsony frekvenciájú terek hatásai

# Az EM terek és az élő anyag kölcsönhatásai

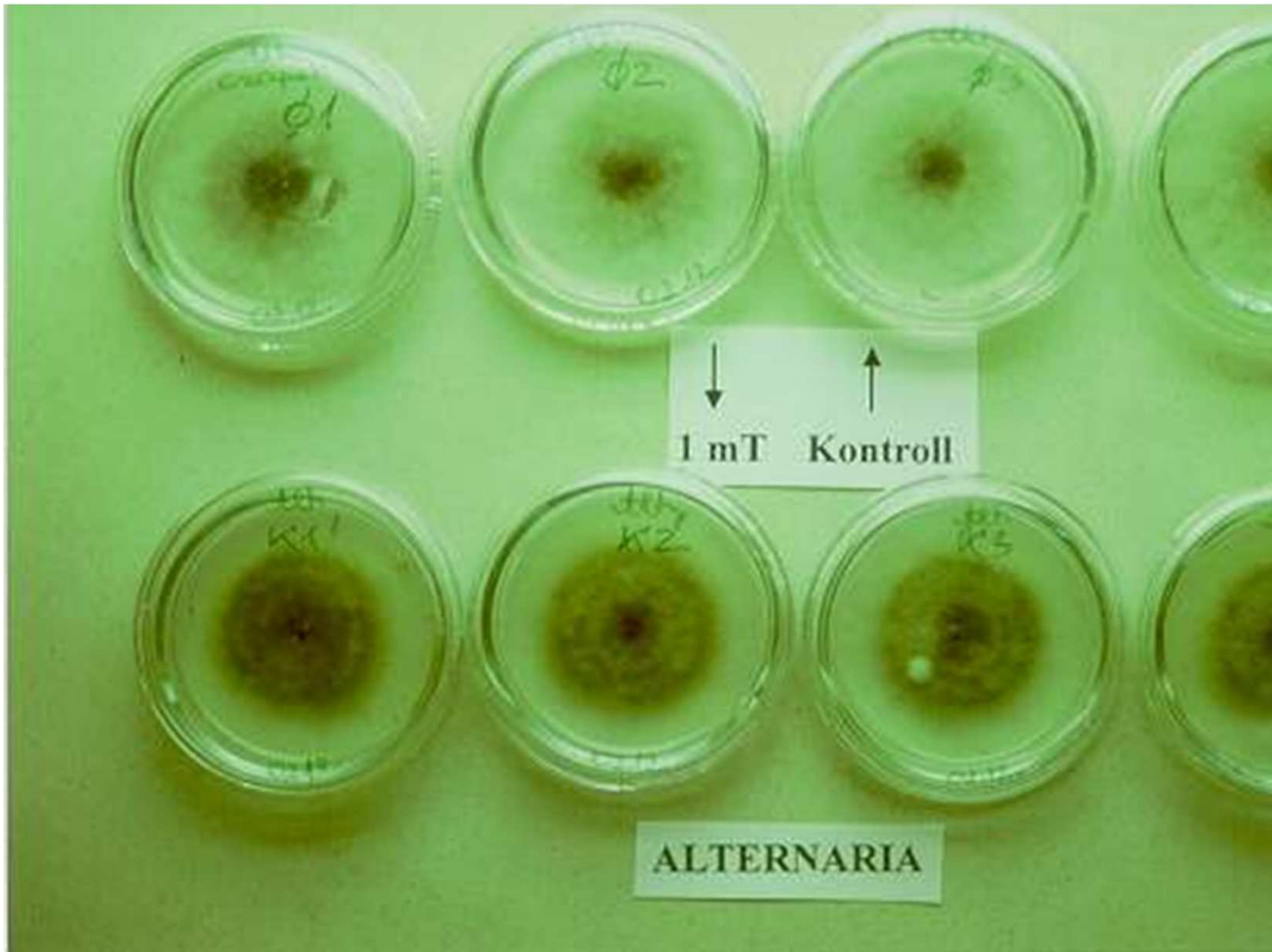
- **Molekuláris kötésfelhasításokról ezen az energián nem lehet szó**
- **Termikus hatás:** a molekulák forgási energiájának vagy a dipólok energiájának a megnövekedése. Kezdetben mindent ezzel magyaráztak.
- Az EM terek és az élő anyag kölcsönhatásai vizsgálhatók:
- Molekuláris szint:
  - Nem poláros molekulákban indukált dipólok jönnek létre
  - A poláros molekulák és az indukált dipólok a tér irányába rendeződnek
  - A mikrohullámú tartományban lehetséges a molekulák rezgési és/vagy rotációs állapotainak a gerjesztése is.
- Sejt szinten:
  - Membránpotenciál változás
  - Megváltozik a membrán permeabilitás
  - Megváltozik a membránon keresztüli ionáram
- Szerv, szervrendszer szinten
- Az egész szervezet szintjén

# Extrém alacsony frekvenciás (ELF) terek hatásai

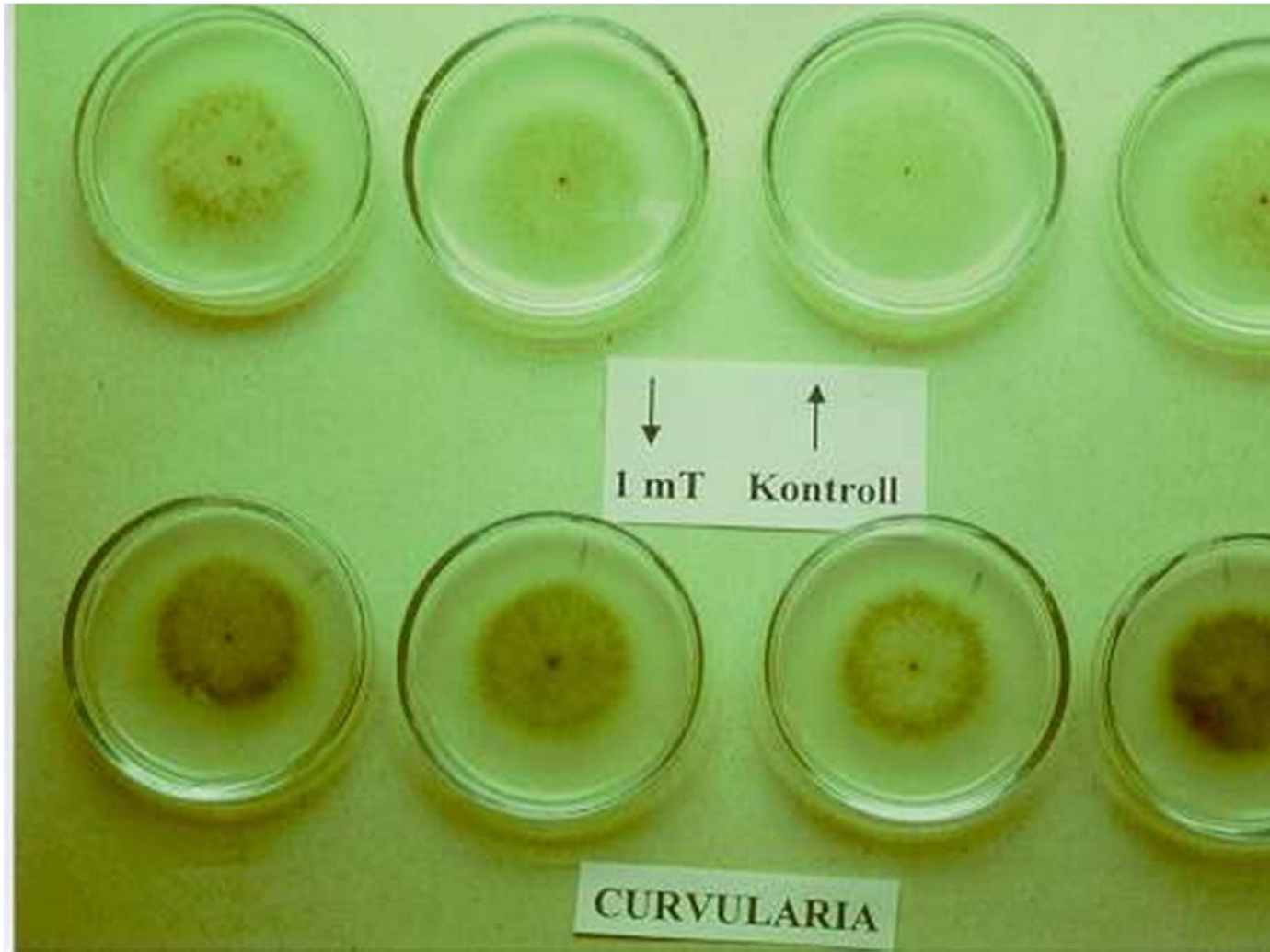
## Növekedést serkentő hatás

- Mikroorganizmusok exponenciális növekedési tartományát vizsgálva megállapítható, hogy a jellemző paraméterek (sejtszám, tömeg, stb) növekszik a térerősséggel, a hatás időtartamától, és függ a tér frekvenciájától.
- Növényi magvak csírázási erélye, és csírázási %-a az esetek nagy részében növekszik statikus, vagy extrém alacsony frekvenciájú mágneses térben.
- Növénykórokozó gombákra kifejtett hatás

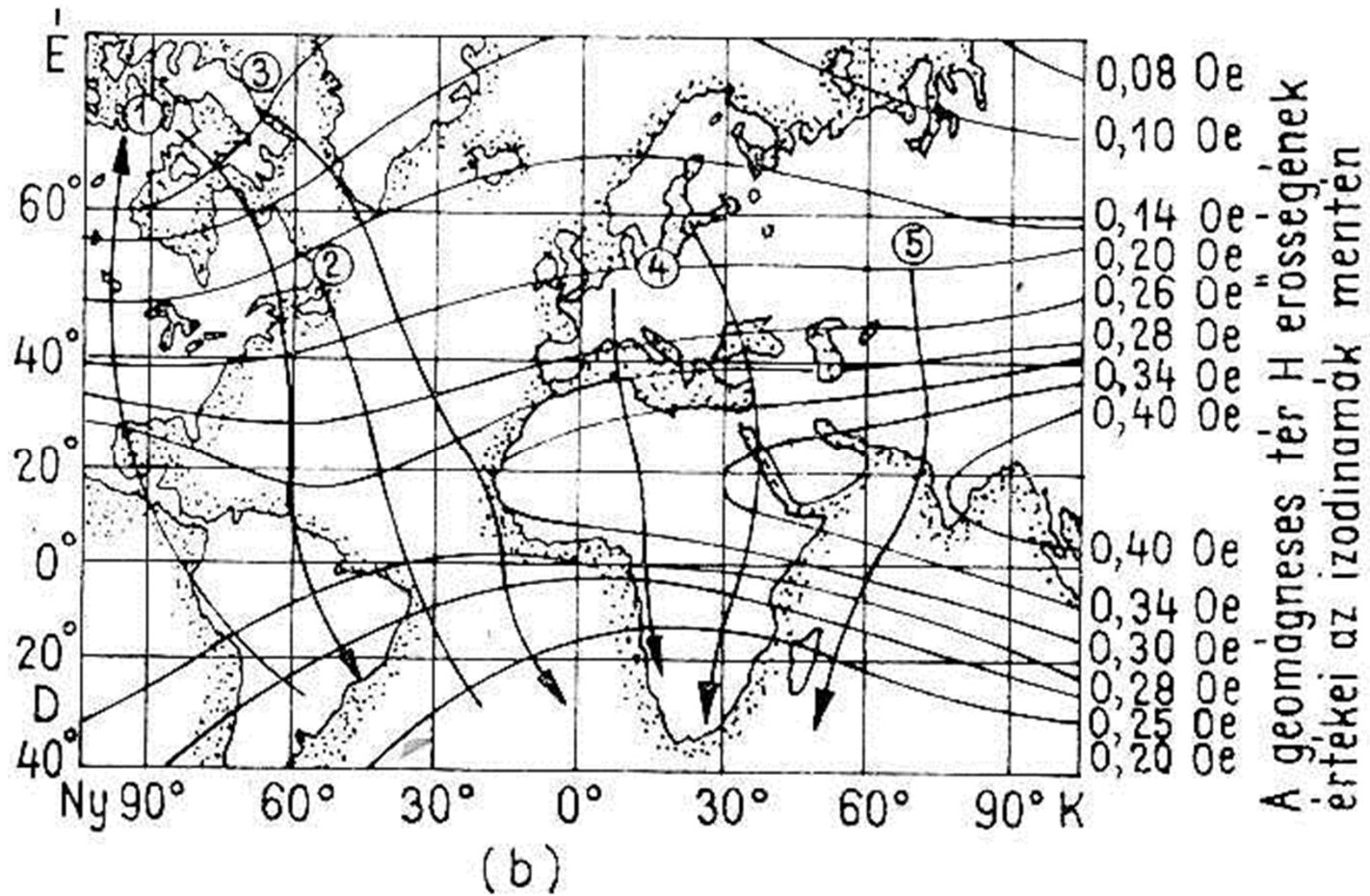
# Növekedést serkentő hatás



# Növekedést serkentő hatás



# ELF terek hatásai. Orientációs hatás



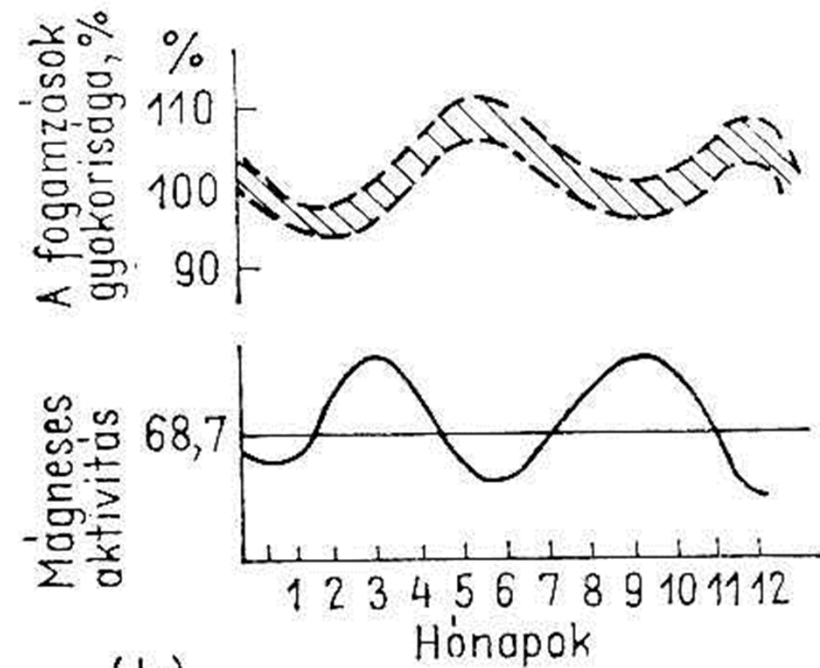
1: barnaszárnyú lile, 2: albatrosz, 3: sarki csér, 4: fehér gólya, 5: kakukk

## ELF terek hatásai. Orientációs hatás



# ELF terek hatásai. Bioritmus befolyásolás

- Francia-
- Német- és
- Svédországban végzett felmérések alapján



(b)



## 50 Hz-es hálózati váltakozó áram

Háztartási eszközök (30 cm távolságban)	B [ $\mu$ T]	Távvezeték	B [ $\mu$ T]
Porszívó	2-20	400 kV-os, alatta	40
Turmixgép	0,6-10	25 m-ről	8
Hajszárító	0,01-7	275 kV-os, alatta	22
Mosogatógép	0,6-3	25 m-ről	4
Mosógép	0,15-3	132 kV-os, alatta	7
Fluoreszcens lámpa	0,5-2	25 m-ről	0,5
Elektromos sütő	0,15-0,5		

# Nem ionizáló sugárzások dozimetriája (Mikrohullámú sugárzás)

- Fajlagos elnyelt teljesítmény (SAR):  
(dózisteljesítmény)
  - $SAR = \Delta P / \Delta M$
- A hullámhossztól való függés figyelembe vétele:
  - $ED_e = \sum ED_{e,\lambda} \cdot S_\lambda \cdot \Delta\lambda$
  - $ED_{e,\lambda}$ : az adott tartományban a károsításra jellemző mennyiség
  - $S_\lambda$ : a spektrális súlytényező

# A látható fény tartománya

- Információhordozó (látás)
  - Történeti kialakulás:
    - Bőrérzékelés
    - Lesüllyedt szem
    - Sötétkamra szem
    - Lencsével működő szem
      - Emlősök, madarak: egy lencse, sok fotoreceptor
      - Nappali rovarok: sok lencse, sok receptor
      - Éjszakai rovarok: sok lencse, egy receptor
    - Tüköroptikás szem: fésűskagyló, egyes rákok (pl. homár)
  - Egyes állatfajok látása nem korlátozódik a látható tartományra: rovarok 300-400 nm közt
  - Egyes fajok érzékelik a fény polarizációs állapotát

# Akciós spektrum

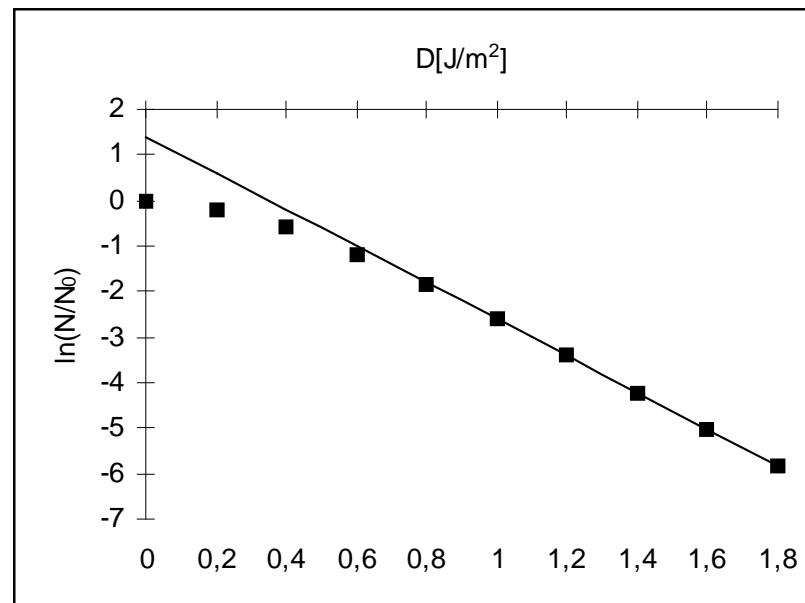
- Különböző hullámhosszaknál a dózis függvényében ábrázoljuk a hatást
- Megkeressük azt a hullámhosszat, ahol a hatás a legkisebb dózissal 100%
- Ezután a grafikonról leolvassuk, hogy ugyanennél a dózissal más hullámhosszaknál hány % a hatás
- A hullámhossz függvényében ábrázoljuk ezeket az értékeket

# Inaktiváció

- Mindig valamilyen funkcióra vonatkozik
  - Sejtosztódás gátlás
  - DNS szintézis gátlás
  - Enzimszintézis gátlás

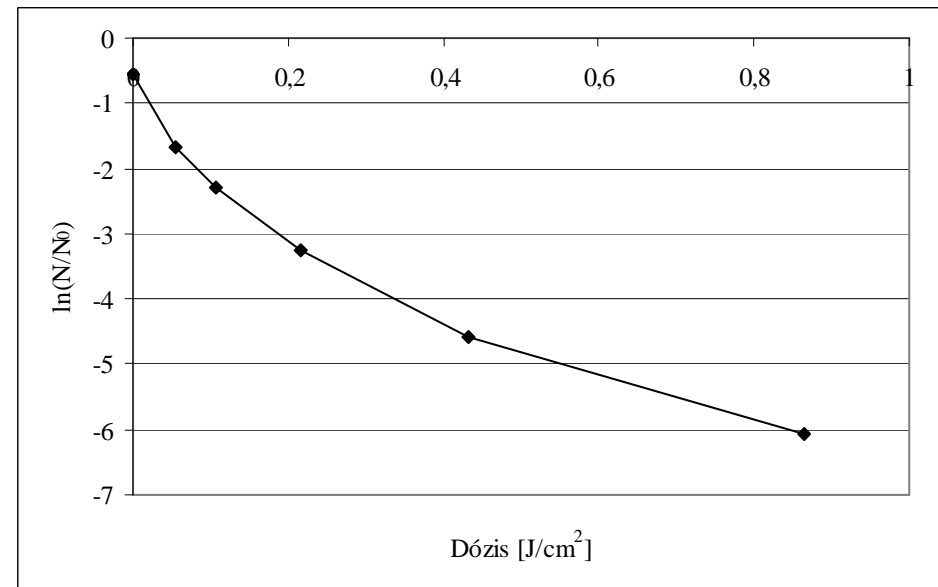
# Inaktiváció

- Egytalálatos:  $\frac{dN}{dt} = -\sigma \cdot I \cdot N$   
 $N = N_0 \cdot e^{-\sigma \cdot I \cdot t} = N_0 \cdot e^{-\sigma \cdot D}$
- Többtalálatos:  $\ln \frac{N}{N_0} = \ln p - \sigma \cdot D$



# Reaktiváció

- Hosszúhullámú fény okozta reaktiváció: szabad gyökök rekombinációja
- DNS sérült részének javítása: sötétben zajló folyamat
- A sérült rész megkerülődik

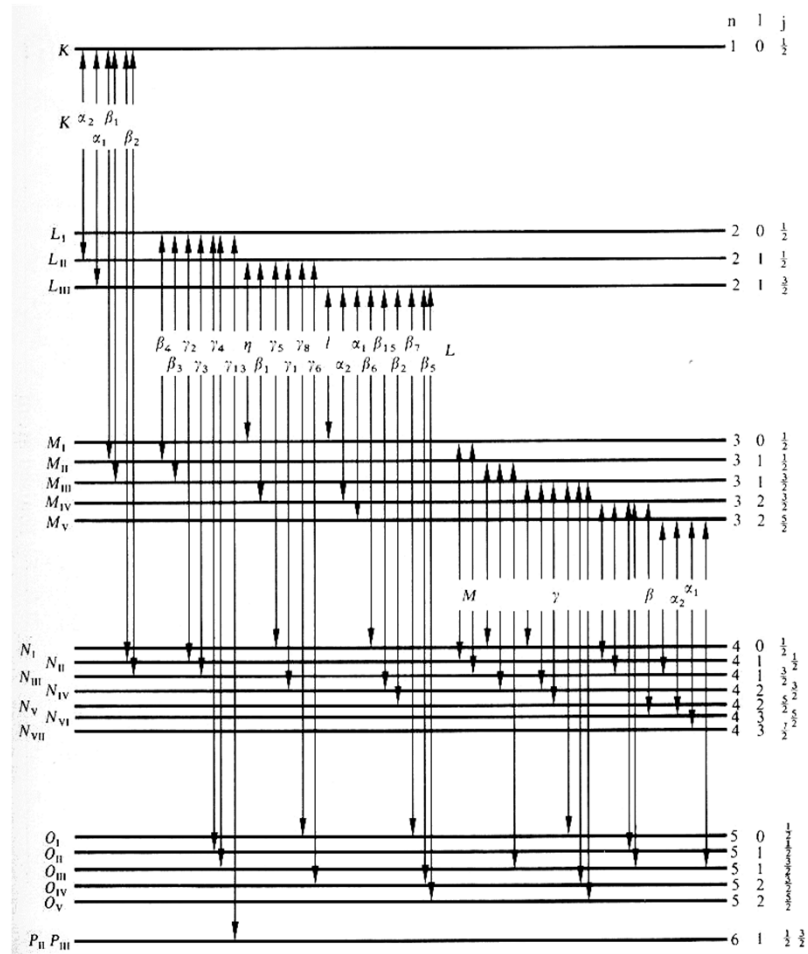


# Röntgen sugárzás

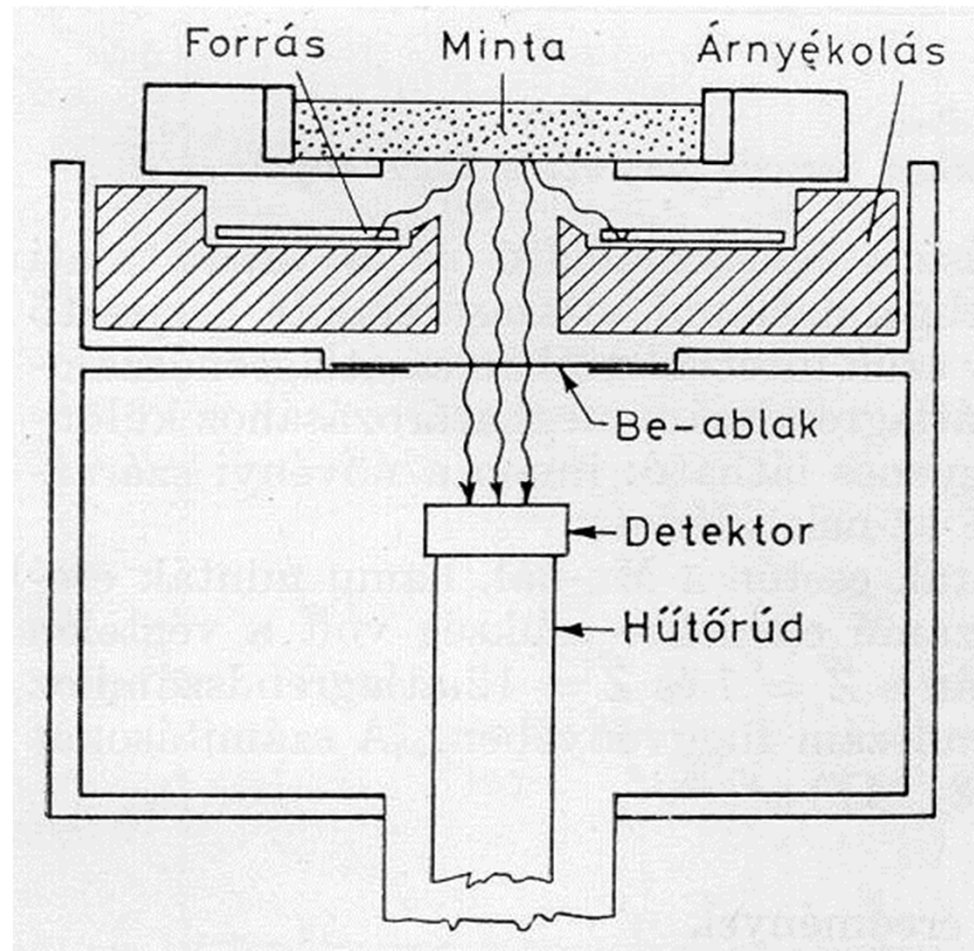
- Keletkezése
  - Fékezési röntgen sugárzás
  - Karakterisztikus röntgen sugárzás
  - A  $K_\alpha$  sugárzásra vonatkozó Moseley törvény:
    - $E = 3/4 \cdot R \cdot (Z - \sigma)^2$
    - R a Rydberg állandó
    - $\sigma = 1$
- Alkalmazások
  - Diagnosztikai módszer a humán orvosi gyakorlatban
  - Roncsolásmentes kvalitatív és kvantitatív analízis
  - Szerkezetvizsgálat



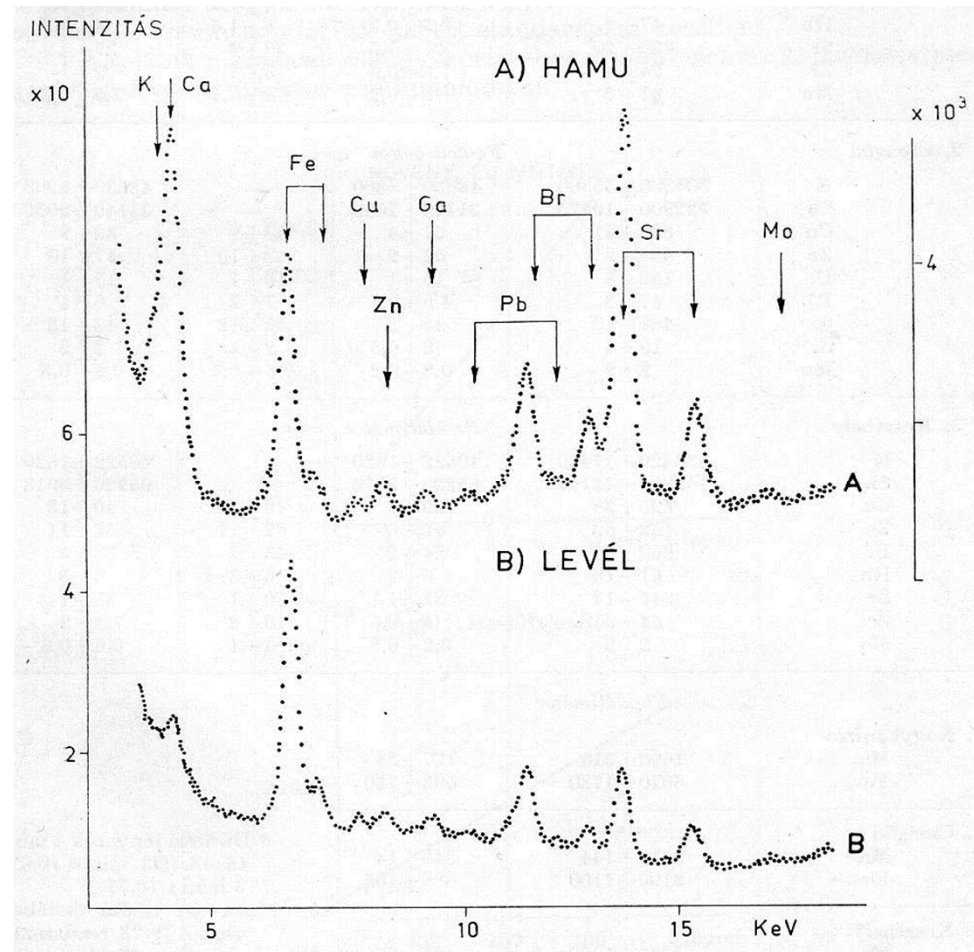
# Nívóséma



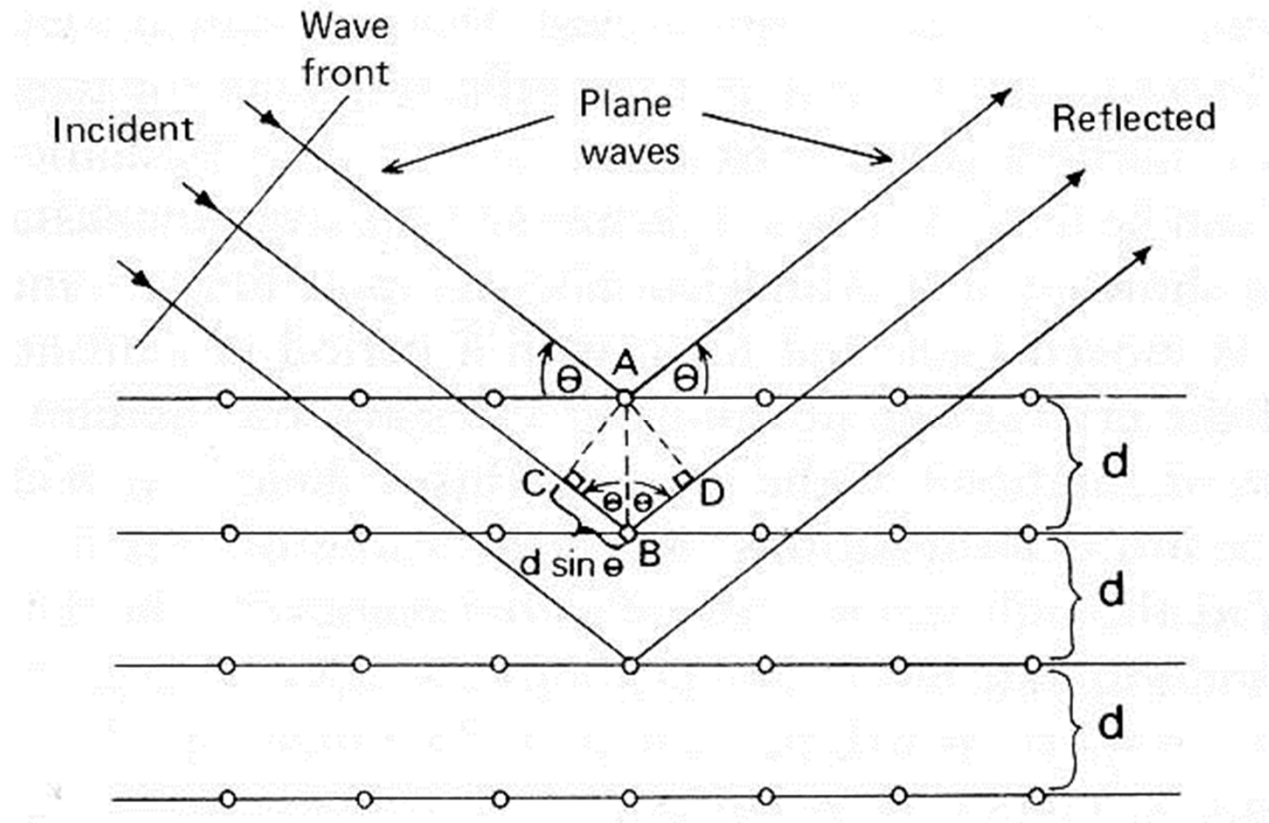
# A karakterisztikus röntgen sugárzás analitikai alkalmazása



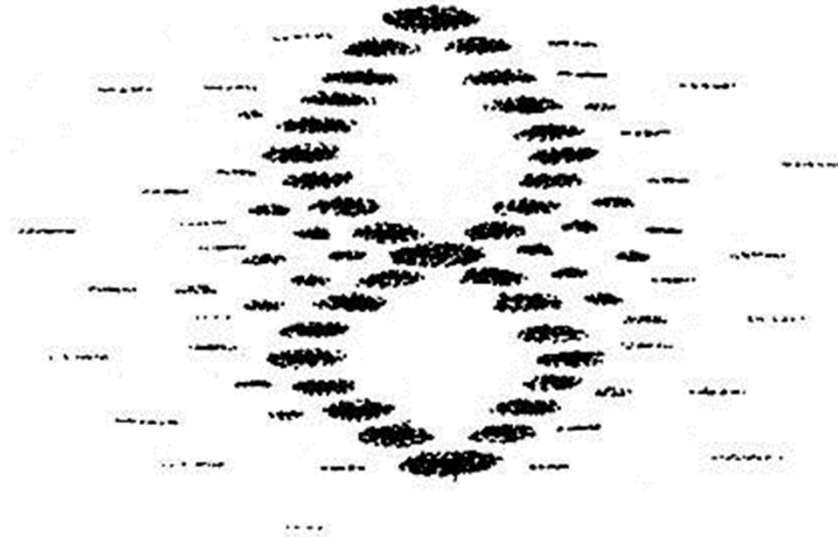
# Karakterisztikus röntgen spektrum



# Diffrakciós módszer



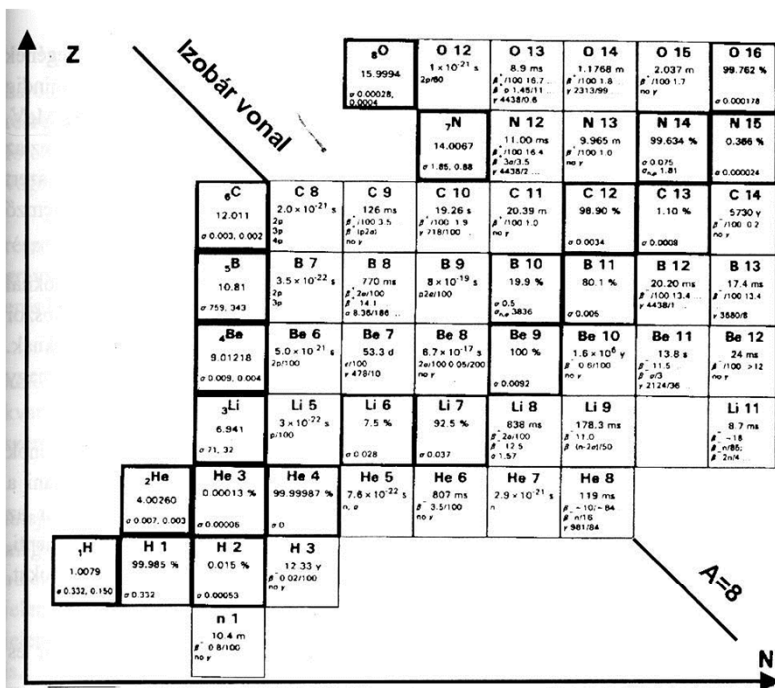
# Helikális szerkezet röntgen diffrakciós képe



# Az atommag alkotórészei, szerkezete

	Proton	Neutron
Tömeg	$1,6736 \cdot 10^{-24} \text{ g}$	$1,6747 \cdot 10^{-24} \text{ g}$
Töltés	$+1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$	0
Stabilitás	igen	nem $n \rightarrow p + e^- + \nu_a$

# Az atommagok táblázata



- A magtáblázattal kapcsolatos fogalmak
- Izotóp: azonos protonszám (rendszám)
- Izotón: azonos neutronszám
- Izobár: azonos tömegszám

## Kémiai elem

<b><sup>1</sup>H</b>
1.0079
α 0.332, 0.150

vegyjel és rendszám  
atomtömeg  
n befogási hatáskeresztmetszet (rezonancia integrál), barn

## Radioaktív nuklid

<b>C 15</b>
2.449 s
β <sup>-</sup> 100 4.5
γ 5298/68

elem és tömegszám  
felezési idő  
bomlási módok  
(α és β: relatív gyakoriság és energia, Mev  
γ: energia, keV és relatív gyakoriság)

## Stabil nuklid

<b>H 1</b>
99.985 %
α 0.332

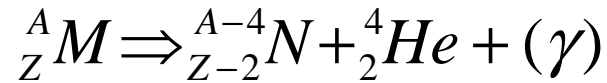
elem és tömegszám  
természetes izotópelőfordulás  
n befogási hatáskeresztmetszet (barn)

## Izomerek

<b>N 16</b>
7.6 μs 7.13 s
γ 120 β 4.3.
/100 α 6129
β/ 0 /69...

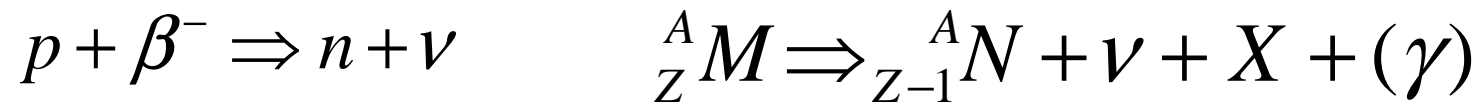
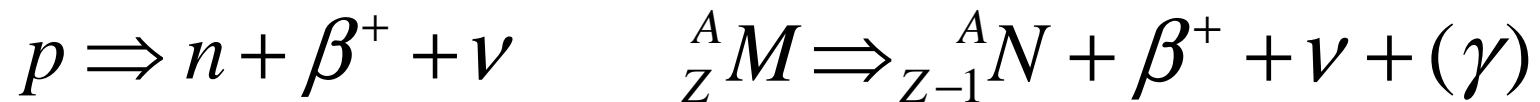
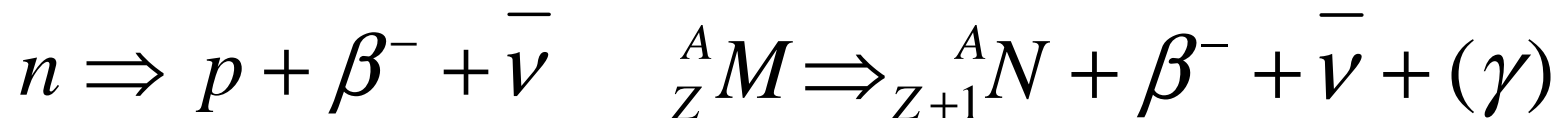
bal oldal:  
metastabil állapot  
jobb oldal:  
alapp állapot

## Az alfa és a béta bomlás



$$E_\alpha = \left( {}^A_Z M - {}^{A-4}_{Z-2} M - {}^4_2 He \right) \cdot 931,5 MeV$$

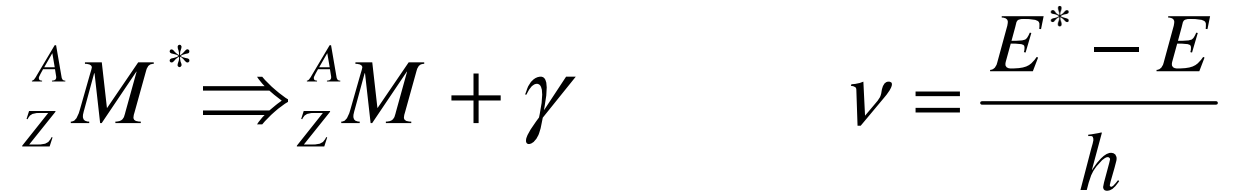
$\alpha$  energia=3-9 MeV/bomlás



$\beta$  energia=0,2-0,4  $E_{\max}$



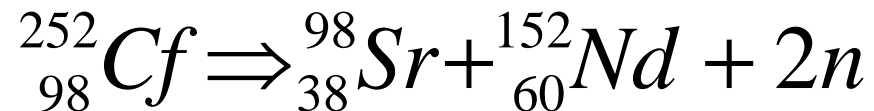
# Gamma sugárzás és belső konverzió



$\gamma$  energia = 2 keV- 7 MeV

Belső konverzió: energia átadás atomi elektronnak.  $E_e = E_m - E_k$

spontán hasadás



# Bomlástörvény, aktivitás

- Az időegység alatt bekövetkező bomlások számát aktivitásnak nevezzük

$$a = -\frac{\Delta N}{\Delta t} = \lambda \cdot N(t) \Rightarrow N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$$

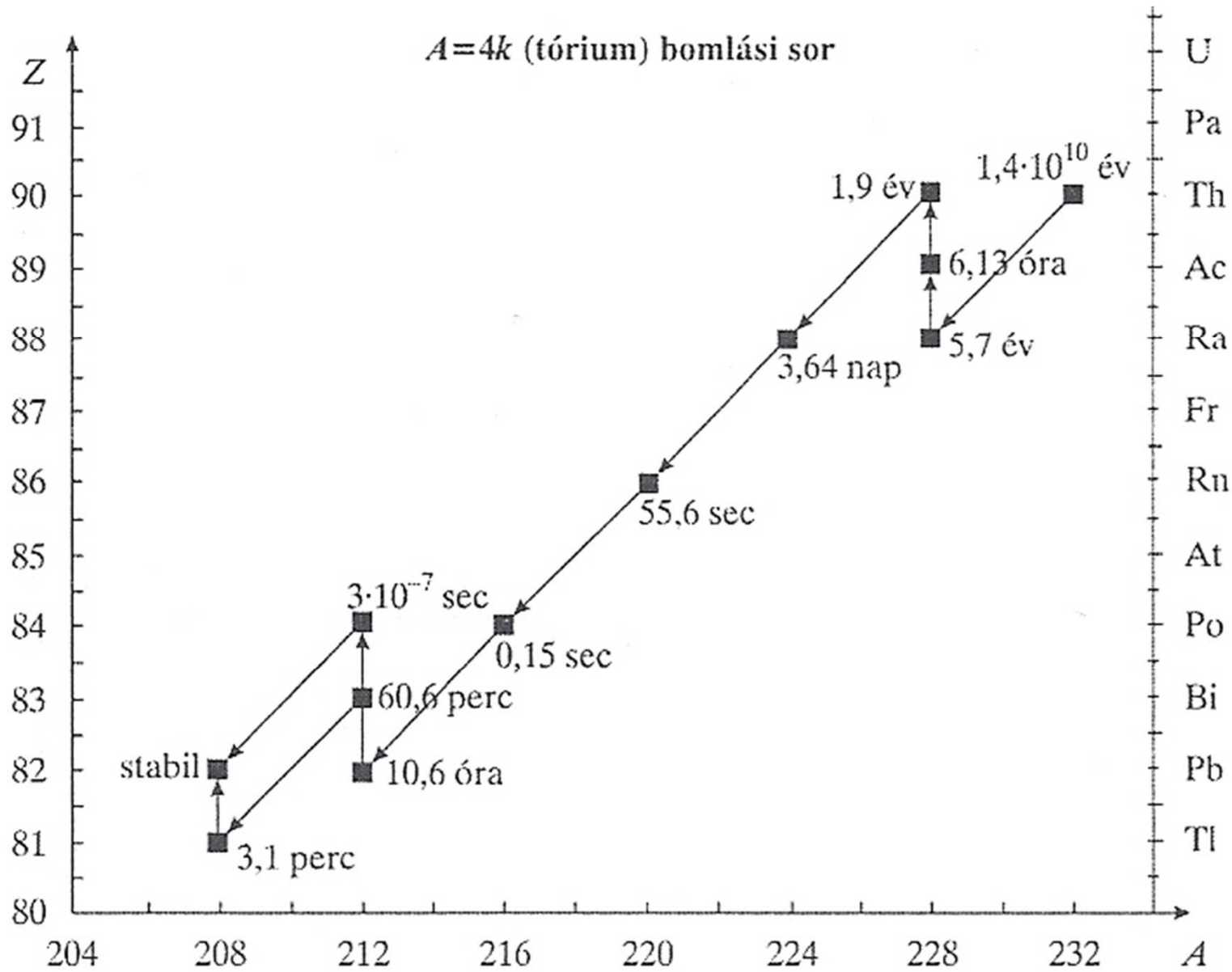
- Az aktivitás egysége az 1 Bq = 1 bomlás/s.
- Régebbi egysége a Ci, 1 Ci =  $3,7 \cdot 10^{10}$
- A bomlástörvényből  $N=N_0/2$ -vel adódik a felezési idő és a bomlási állandó közti összefüggés

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

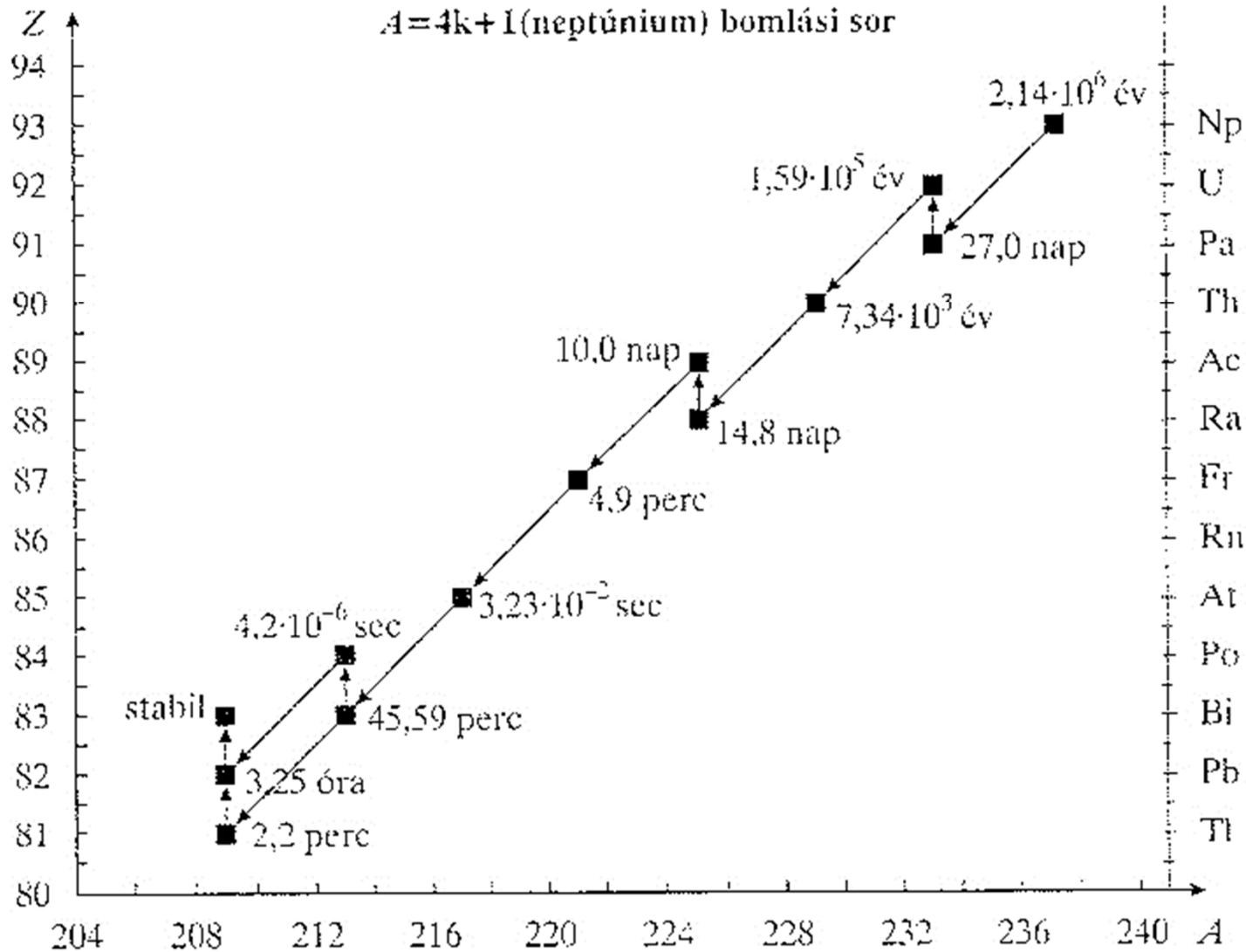
# Bomlási sorozatok vagy családok

Család	Első elem	Utolsó elem	Felezési idő [év]
4k	$^{232}\text{Th}$	$^{208}\text{Pb}$	$1,80 \cdot 10^{10}$
4k+1	$^{237}\text{Np}$	$^{209}\text{Bi}$	$2,14 \cdot 10^6$
4k+1	$^{238}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}$	$4,47 \cdot 10^9$
4k+3	$^{235}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}$	$7,04 \cdot 10^8$

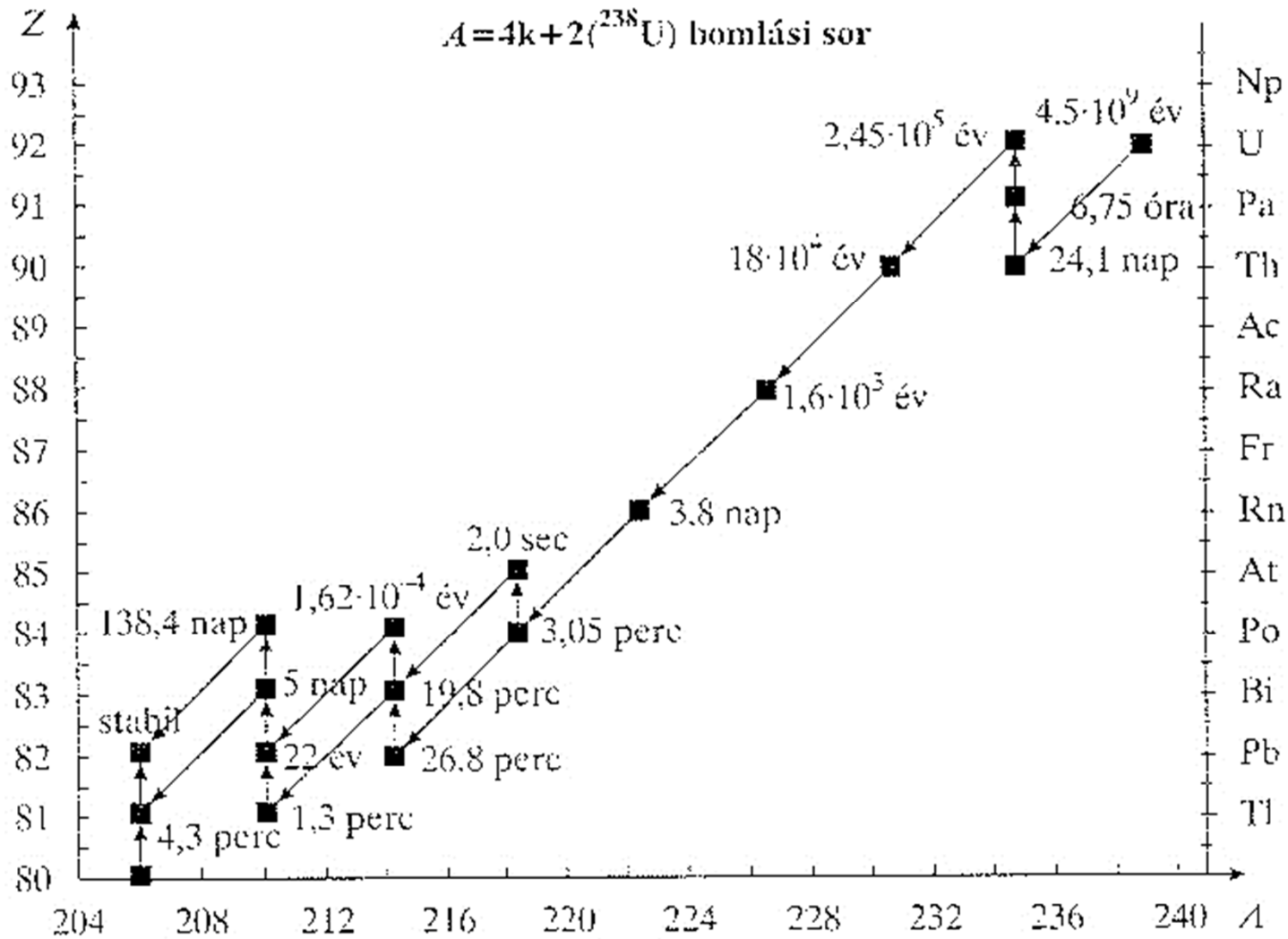
# A $^{232}\text{Th}$ bomlási sor



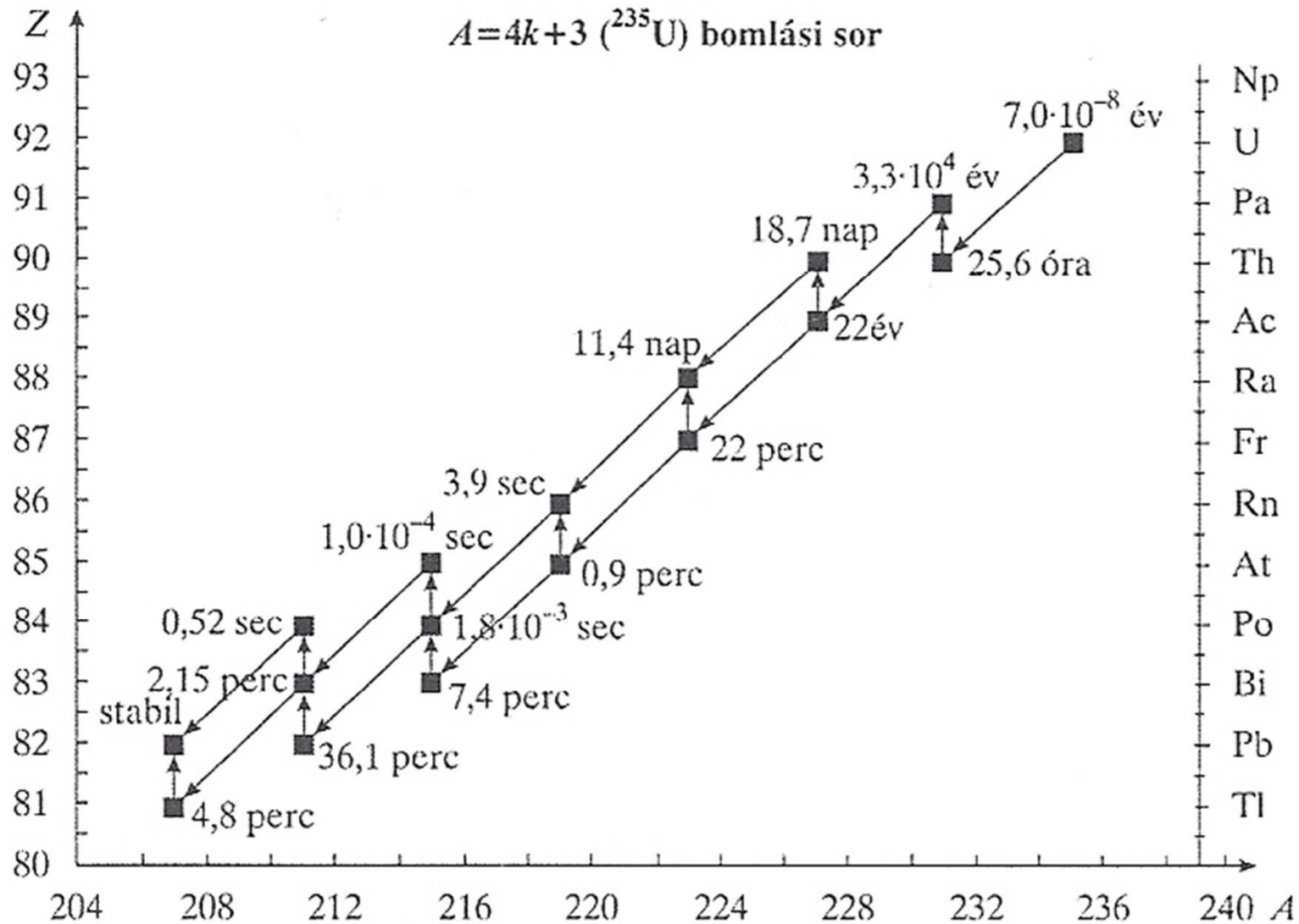
# A $^{237}\text{Np}$ bomlási sor



# Az $^{238}\text{U}$ bomlási sor



# Az $^{235}\text{U}$ bomlási sor



## Természetes radioaktivitás

Az égboltról	140000 kozmikus sugárzásból származó neutron/óra kb. 400000 másodlagos kozmikus sugár/óra
A belélegzett levegőből	Óránként kb. 30000 atom bomlik el a tüdőnkben, és bocsát ki $\alpha$ -, $\beta$ - és $\gamma$ sugárzást
Ételből, italból	Óránként kb. 15 millió $^{40}\text{K}$ atom és kb. 70000 természetes eredetű uránatom bomlik el a szervezetünkben
Talajból és az épületek anyagából	Óránként több mint 200 millió $\gamma$ -foton ér bennünket

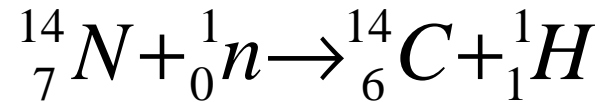


## Földi eredetű természetes radioaktív atommagok

Izotóp	Felezési idő [év]	Átlagos bomlási energia [MeV]	Gyakoriság
$^{40}\text{K}$	$1,28 \cdot 10^9$	1,38	$3,1 \cdot 10^{-5}$
$^{87}\text{Rb}$	$47,0 \cdot 10^9$	0,27	$8,6 \cdot 10^{-5}$
$^{235}\text{U}$ és bomlási sora	$7,04 \cdot 10^8$	25,3	$21,5 \cdot 10^{-7}$
$^{238}\text{U}$ és bomlási sora	$4,47 \cdot 10^9$	28,6	$30,0 \cdot 10^{-5}$
$^{232}\text{Th}$ és bomlási sora	$14,1 \cdot 10^9$	20,5	$80,0 \cdot 10^{-5}$

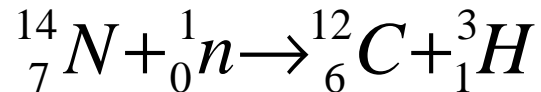
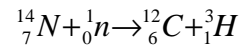
# Kozmikus eredetű radioaktív anyagok

- Radiokarbon



- Előfordulási gyakorisága  $2 \cdot 10^{-12}$
- Felezési ideje 5568 év; életkor meghatározás

- Trícium

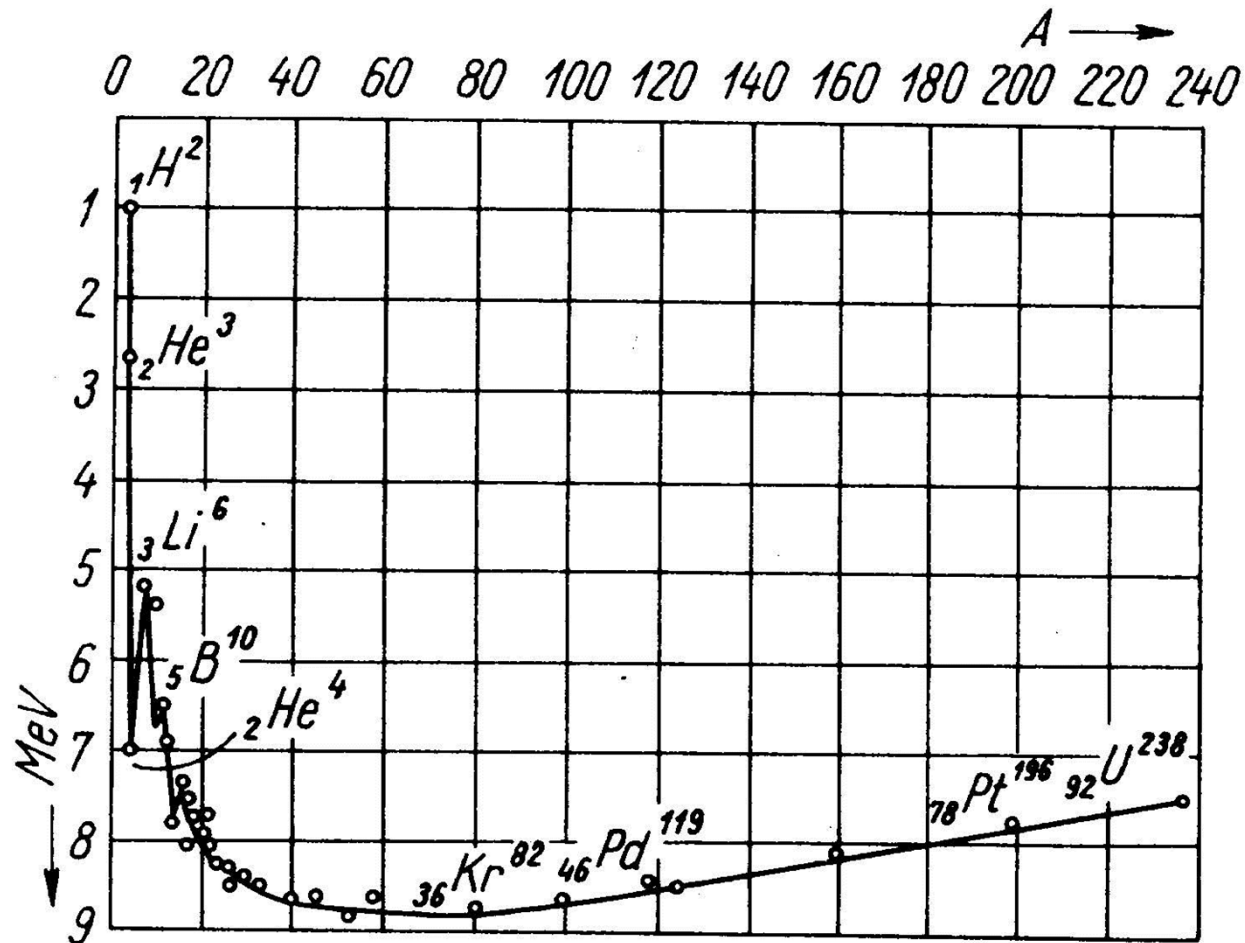


- Előfordulási gyakorisága  $1 \cdot 10^{-18}$
- Felezési ideje 12,262 év

# Kötési energia

- Kötési energia:
  - $E(Z,N)=(M_p \cdot P+M_n \cdot N-M(Z,N)) \cdot c^2$
  - Szeparációs energia:
    - $E_b=(M_b+M_r-M(Z,N)) \cdot c^2$
- Empírikus kötési energia formula:
- $E(Z,N)=-U_v \cdot A+Z \cdot (Z-1) \cdot A^{-1/3}+U_f \cdot A^{2/3}+U_t \cdot (N-Z)^2/(4 \cdot A)+U_p$ 
  - $U_v=14.0$  MeV
  - $U_c=0.61$  MeV
  - $U_f=15.0$  MeV
  - $U_t=84.2$  MeV
  - $U_p=34$  MeV ps-ps vagy ptl-ptl magra, 0 ps-ptl ptl-ps magra

# Egy nukleonra jutó kötési energia



5.4 – 20 b ábra

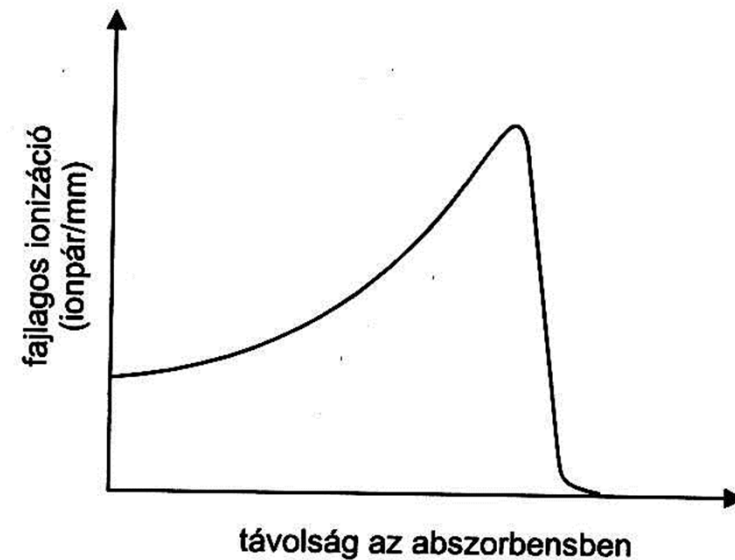
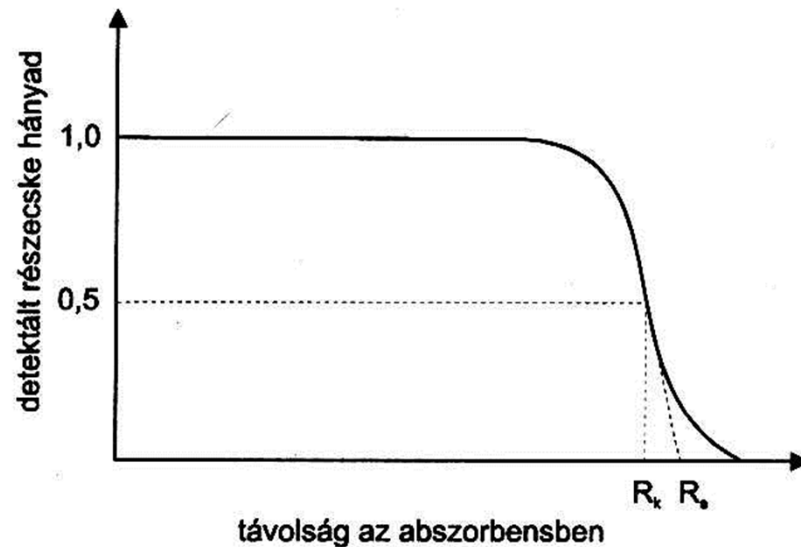
Az egy nukleonra eső kötési energia menete

# A sugárzások kölcsönhatása anyaggal

- Ionizáció
- Kinetikai energia átadása
- Atomi vagy molekuláris gerjesztés
- Magreakciók
- Radiatív (kisugárzó) folyamatok: nagy sebességű részecskék energiája EM sugárzássá konvertálódik (fékezési röntgen vagy Cserenkov sugárzás)

# Az alfa sugárzás kölcsönhatása anyaggal (3-8 MeV)

- Az a részecskék a gázmolekulákat jó hatásokkal ionizálják. A kilökött elektronok gyakran további (szekunder) ionizációt idéznek elő
- Az energia másik része gerjesztést okoz.
- Hatótávolság
- Rutherford szórás, magreakciók:  $\text{Pl. } ^9\text{Be}(\alpha, n)^{12}\text{C}$ , vagy  $^{11}\text{B}(\alpha, n)^{14}\text{N}$

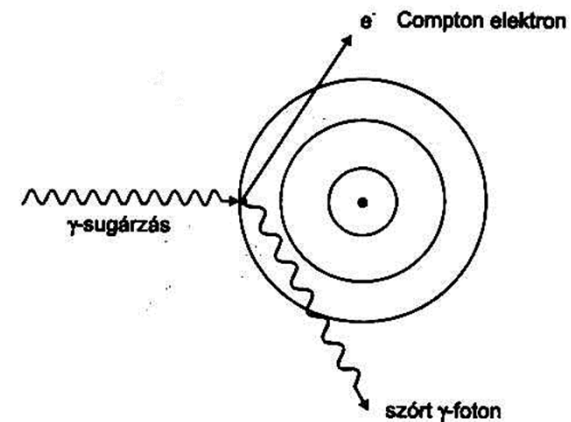
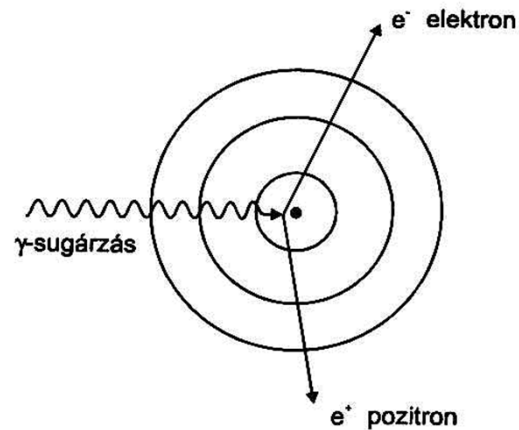
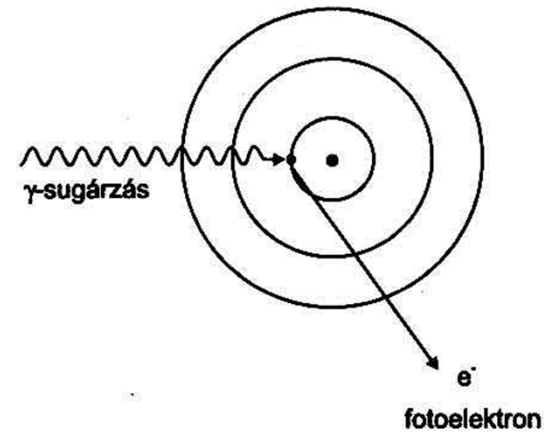


# A $\beta$ sugárzás kölcsönhatása anyaggal (0,01-10 MeV)

- Az elsődleges folyamat itt is ionizáció vagy gerjesztés
- Abszorpció:  $I=I_0 \cdot e^{-\mu'x}$ ;  $\mu=\mu'/\rho$
- Felezési rétegvastagság:  $x_{1/2}=\ln 2/\mu'$ ;  $d_{1/2}=\ln 2/\mu$
- Maximális hatótávolság:  $13 \cdot x_{1/2}$
- Fékezési röntgen sugárzás
- Cserenkov sugárzás

# A $\gamma$ sugárzás kölcsönhatása anyaggal

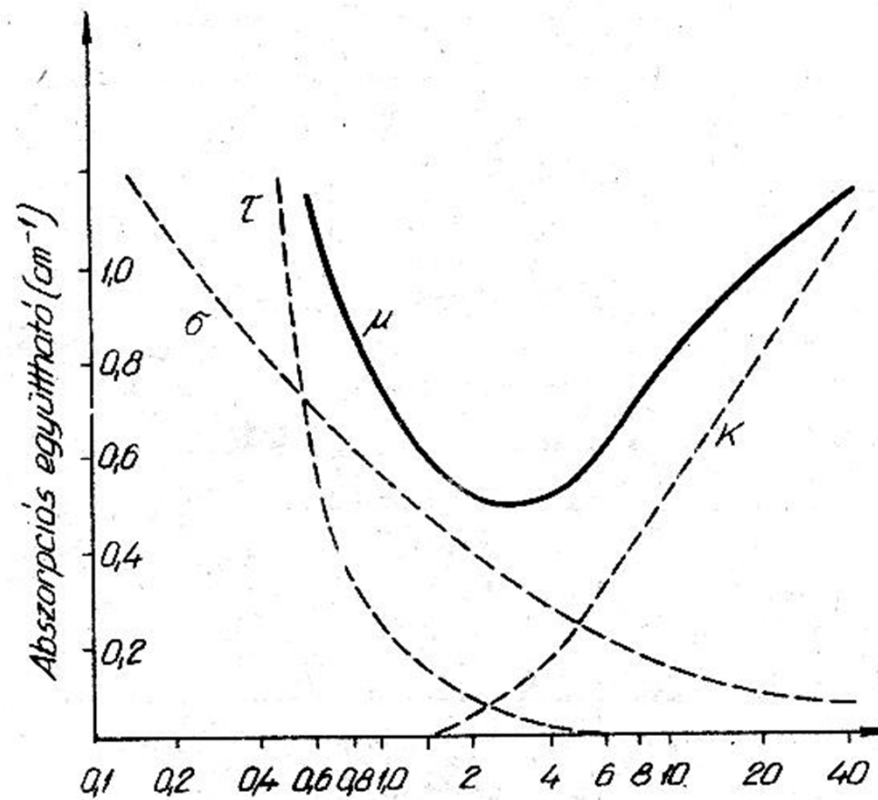
- Fotóeffektus. Legvalószínűbb 0,2 MeV alatt. Következmények: szekunder ionizáció, karakterisztikus röntgen sugárzás
- Compton szórás. 0,6-2 MeV közt.
- Párkeltés. 1.02 MeV felett.





# A $\gamma$ sugárzás kölcsönhatása anyaggal

- A három kölcsönhatás eredőjeként adódó abszorpciós együttható.



# A neutron sugárzás kölcsönhatása anyaggal

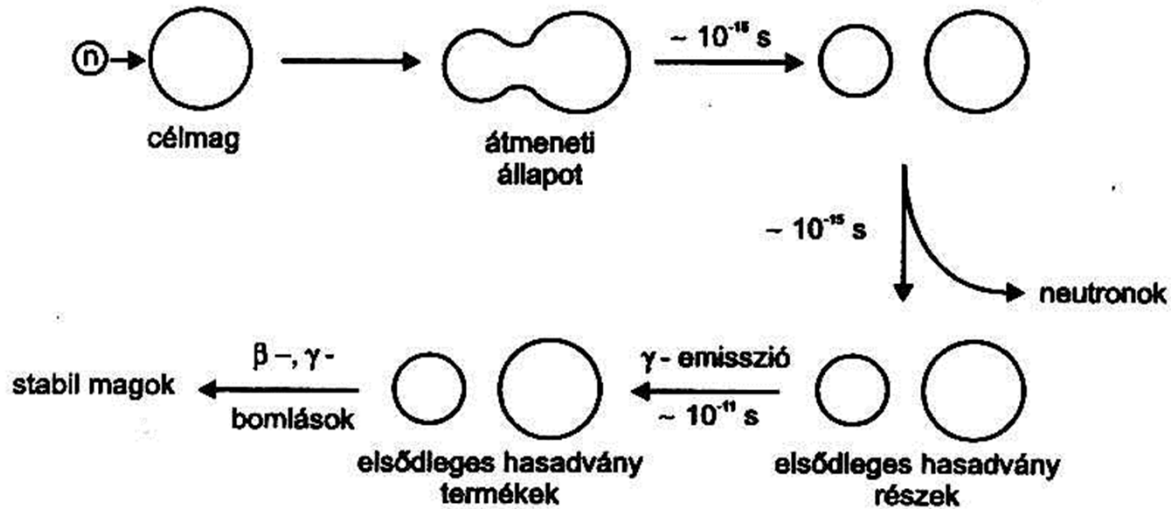
- Csak az atommaggal lép kölcsönhatásba
- Az alapvető kölcsönhatási formák
  - Rugalmas ütközés (szórás)
  - Rugalmatlan ütközés (szórás)
  - Magreakciók létrehozása

# A sugárzások által kiváltott magreakciók

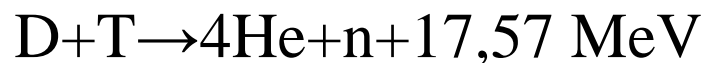
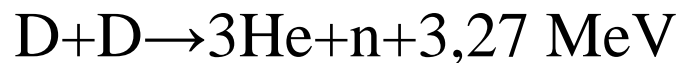
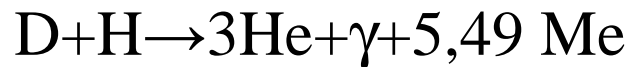
- Jelölés:  $a+M\rightarrow N+b$ ; vagy  $M(a,b)N$
- A reakció energiája:
  - $E=(M_M+M_a-M_N-M_b)\cdot 931,5 \text{ MeV}$
- Megmaradási tételek magreakciókban
  - Klasszikus megmaradási tételek
    - Impulzus
    - Impulzusmomentum
    - Energia
    - Elektromos töltés
  - Izotópspin
  - Paritás

# A magreakciók speciális esetei

- Neutron indukálta hasadás



Magfúziók:



# A sugárzások hatása élő szervezetre

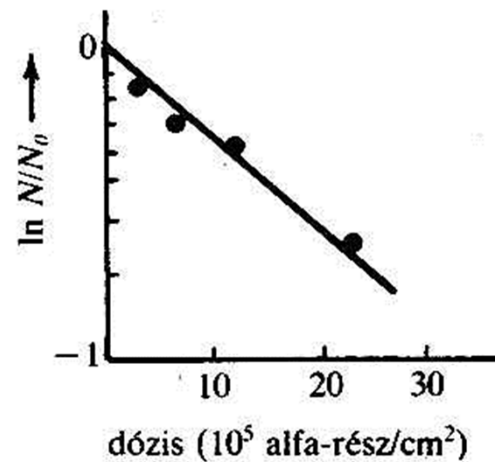
- A sugárzás atomokat és molekulákat ionizál vagy gerjeszt
  - Direkt hatás: az energia elnyelése és a kiváltott folyamat ugyanazon a molekulán következik be
  - Indirekt hatás: az energia abszorpció és a kiváltott hatás különböző molekulákon következik be

# A sugárzás hatásának időbeli lefolyása

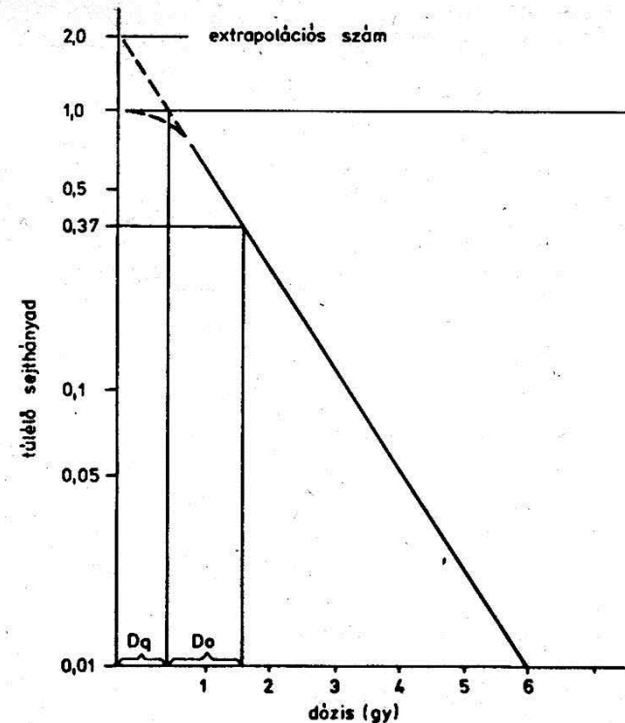
	Időtartam	Esemény
Fizikai fázis	$10^{-15}$ s	Gerj. atomok, $H_2O^+$ , $H_2O\cdot$ , $e^-$ keletkezése
	$10^{-15}$ - $10^{-11}$ s	További szabad gyökök keletkezése
	$10^{-11}$ - $10^{-6}$ s	Diffúzió révén kölcsönhatás a biol. aktív mol-al
Biol. fázis	$10^{-3}$ s	Befejeződnek és fixálódnak a mol. változások
	s/min	Biomolekulafizikai, anyagcsere változások
	órák	Sejtosztódás károsodás
	napok	Idegrendszeri, és gyomor- bélelváltozások,
	Hetek	Vérképző rendszer károsodás
	Hónapok	Tüdőfibrózis
	Évek	Daganatok, genetikai károsodás

# Inaktiváció

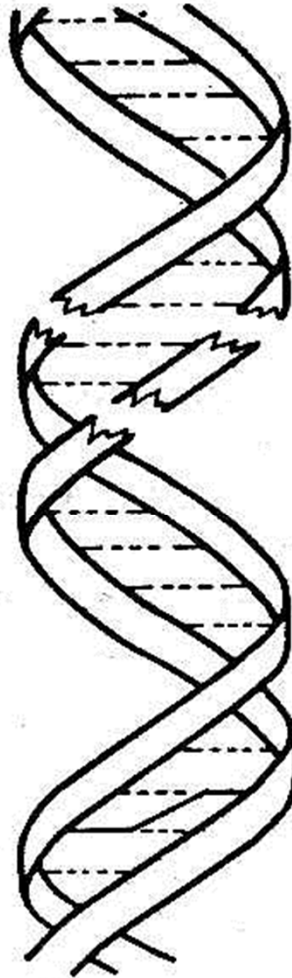
- Az inaktiváció mindig valamilyen funkcióra vonatkozik
  - DNS szintézis gátlás
  - Enzimszintézis gátlás,
  - Sejtosztódás gátlás
- Egytalálatos inaktiváció:  $N=N_0 \cdot e^{-\sigma \cdot D}$  vagy  $\ln N/N_0 = -\sigma \cdot D$
- Többtalálatos inaktiváció:  $N=N_0 \cdot (1-(1-e^{-\sigma \cdot D})^p)$  vagy  $\ln N/N_0$



6.18. ábra. Alfa-sugárzás hatás kromoszómákra. Az egyenes iránytangenséből a felhasítás effektív keresztmetszete kb.  $10^{-6} \text{ cm}^2$



# A DNS sérülései



normál szakasz

kettős szál törés

egyes szál törés

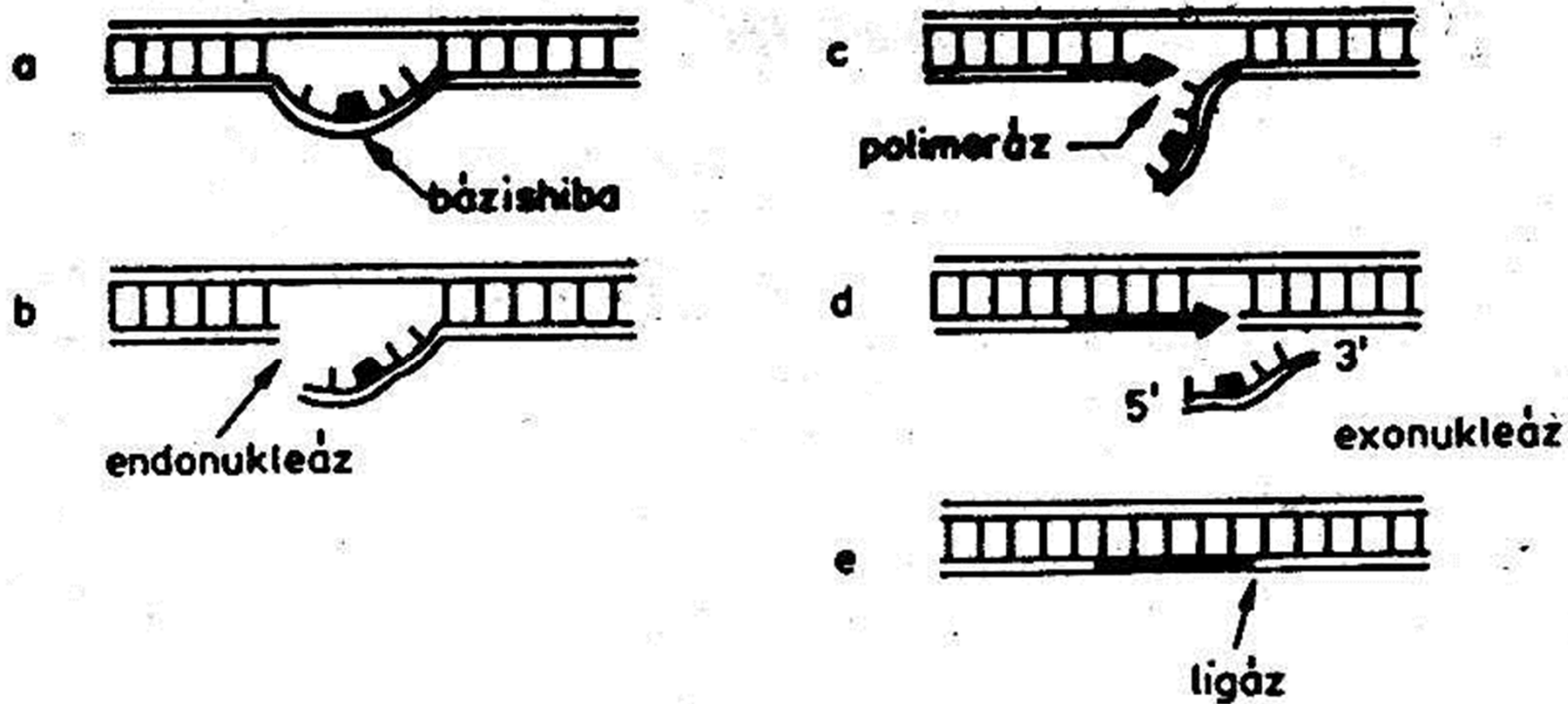
bázis hiány

kereszt kötés

Ionizáló  
sugárzás



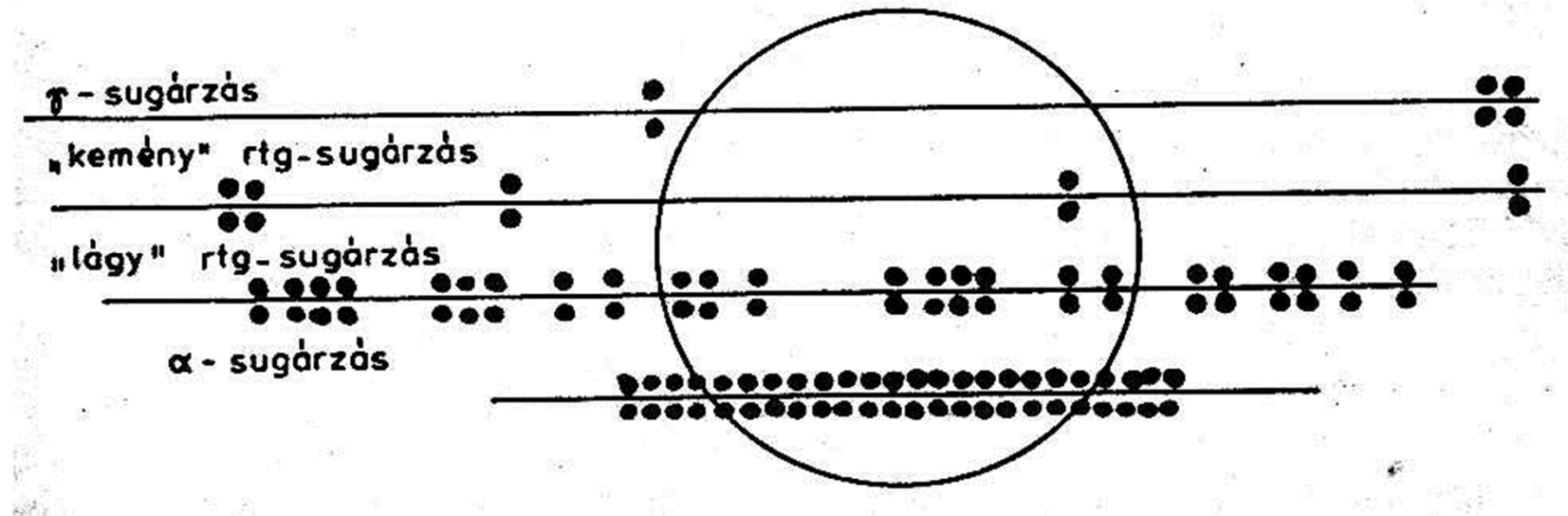
# A DNS sérülései



A javító mechanizmus létezésének következménye: kis dózisoknál a reaktiváció az inaktivácót túlkompenzálja

# A sugárhatást befolyásoló tényezők

- A sugárzás milyensége



Oxigén

Vegyianyagok: protektívek vagy szenzitizálók

Biológiai tényezők

Hőmérséklet

# Szövetek és szervek sugárérzékenysége csökkenő sorrendben

- Nyirokszövetek
- Fehérvérsejtek, éretlen vörösvérsejtek
  - Gyomor-bél nyálkahártya
    - Ivarsejtek
      - Bőr
      - Erek
  - Mirígyyszövetek, máj
    - Kötőszövet
    - Izomszövet
    - Idegszövet

## A dózis fogalmak áttekintése

- Elnyelt dózis:  $D$  egysége: Gray (Gy)=1J/kg
- Egyenérték dózis:  $H_{T,R}=W_R \cdot D_{T,R}$  (Sievert; Sv)
- $H_T=\sum W_R \cdot D_{T,R}$
- Effektív dózis:  $E=\sum W_T \cdot H_T$ , ahol  $W_T$  a szöveti súly
- Kollektív dózis:  $S=\sum E_i \cdot N_i$

sugárzás	$W_R$
x, $\gamma$ , elektron	1
Neutron	5-20
Proton	5
Alfa, nehéz magok	20

Szövet, szerv	$W_T$
Ivarszervek	0,20
Csontvelő, bél, tüdő, gyomor	0,12
Hólyag, mell, máj, nyelőcső	0,05
Bőr, csont	0,01
Összes többi	0,05 <sub>116</sub>

# Félhalálos dózis egész test $\gamma$ sugárzás esetén

Élőlény	LD <sub>50/30</sub> (Gy)
Tengerimalac, juh	1-3
Kutya, sertés	3-4
ember	4-5
Egér, patkány	5-7
Nyúl, baromfi	8-10
teknős	15
denevér	150
csiga	200
amőba	1000

# Éves sugárterhelés

Komponens	Évi effektív dózis (mSv)
<i>Természetes forrás</i>	
Kozmikus sugárzás	0,38
Kozmogén radioizotóp	0,02
Terresztikus sugárzás	2,00
Külső	0,46
Belső	1,54
Rn és leányelemei	1,30
<i>Összes természetes</i>	2,4
<i>Mesterséges forrás</i>	
Orvosi alkalmazás	0,43
Egyéb (pl. TV)	0,10
Nukleáris energia	<0,01
Kutatási, oktatási alkalmazás	<0,01
Nukleáris fegyver kísérletek	<0,01
Nukleáris balesetek	<0,02
<i>Összes mesterséges</i>	0,60
<b>Összesen</b>	<b>3,00</b>

# Dózis korlátok

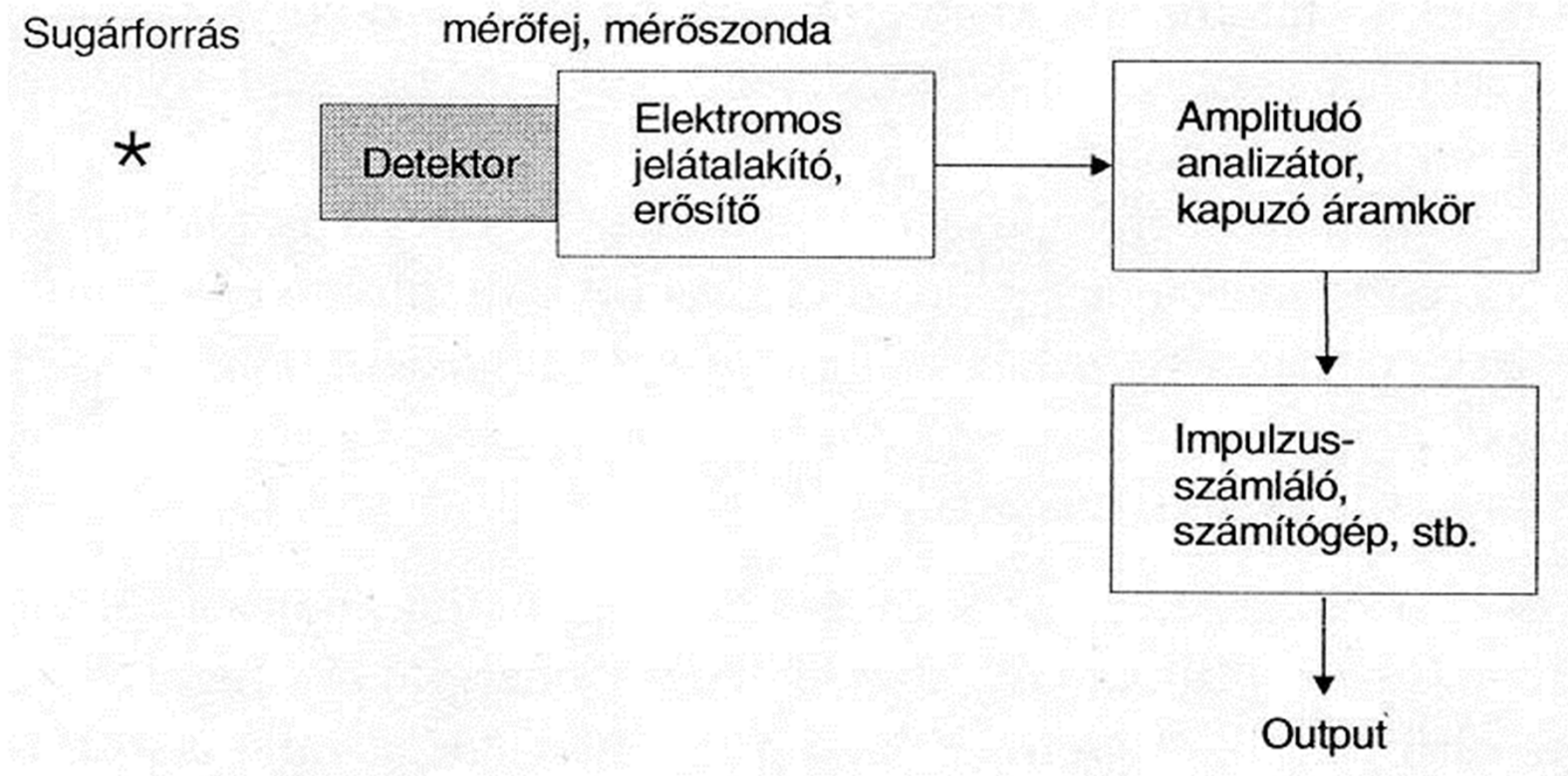
Dózis féleség	Foglalkozási korlát	Lakossági korlát
Effektív dózis	20 mSv/év (5 évente egyszer max 50 mSv)	1 mSv/év (5 évente egyszer max 5 mSv)
Évi dózisegyenérték		
szemlencsére	150 mSv/év	15 mSv/év
bőrre	500 mSv/év	50 mSv/év
Kézre, lábra	500 mSv/év	

# Radioaktív sugárzások mérése

- A sugárzások detektálása kölcsönhatásuk alapján lehetséges
- Meg kell tudni határozni a(z)
  - sugárzás fajtáját ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ , stb.)
  - sugárzás intenzitását (időegység alatt kibocsátott részecskék számát)
  - sugárzás fluxusát (a felületegységre eső intenzitást)
  - energiáját
  - Intenzitás időbeli csökkenését (felezési idő)



# A mérőberendezés blokkjának sémája



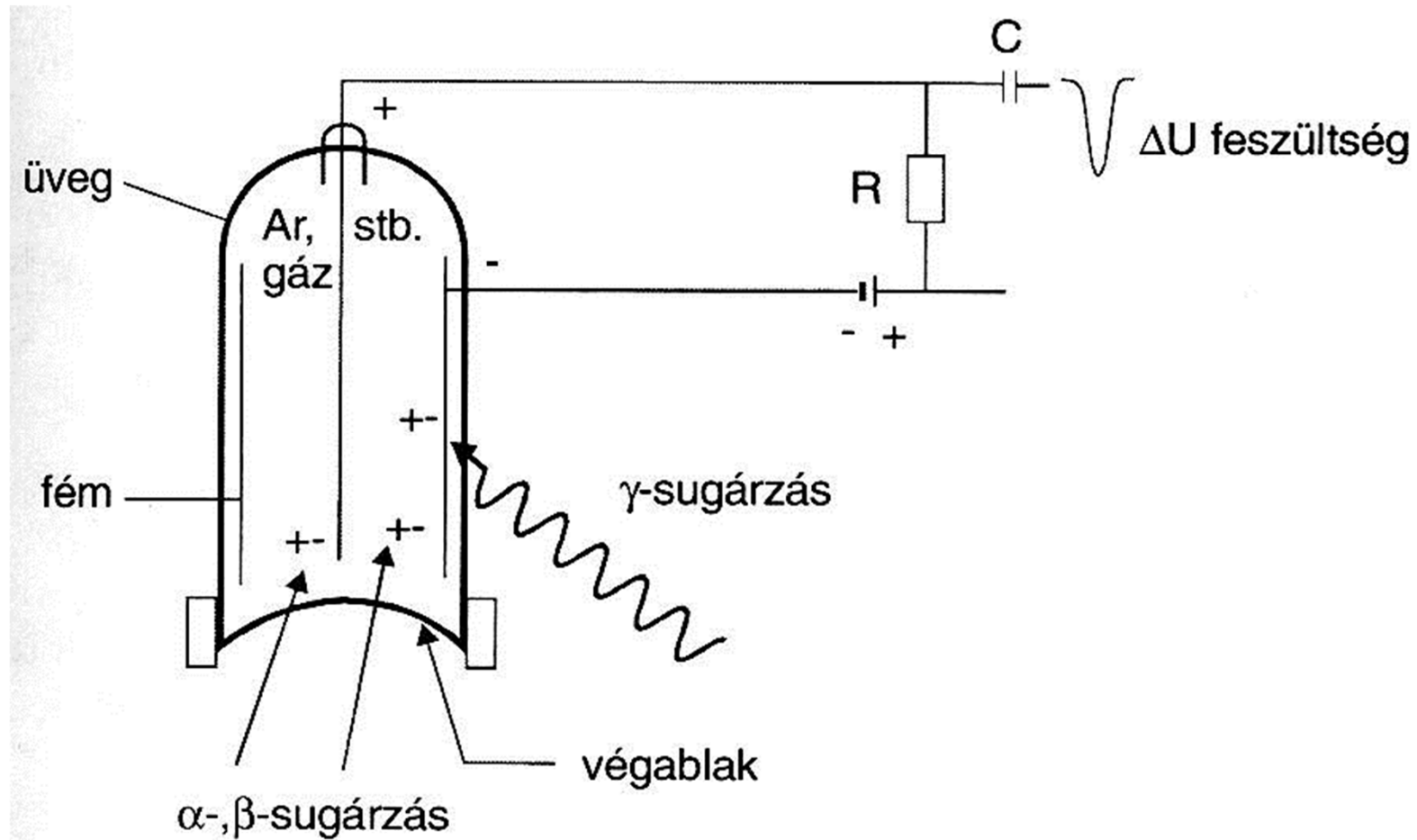
# Detektorok

- Gázionizációs detektorok
- Szcintillációs detektorok
- Félvezető detektorok
- Egyéb
  - Nyomdetektorok (pl. ködkamra)
  - Fotográfiai hatáson alapuló detektorok
  - Termolumineszcens detektorok

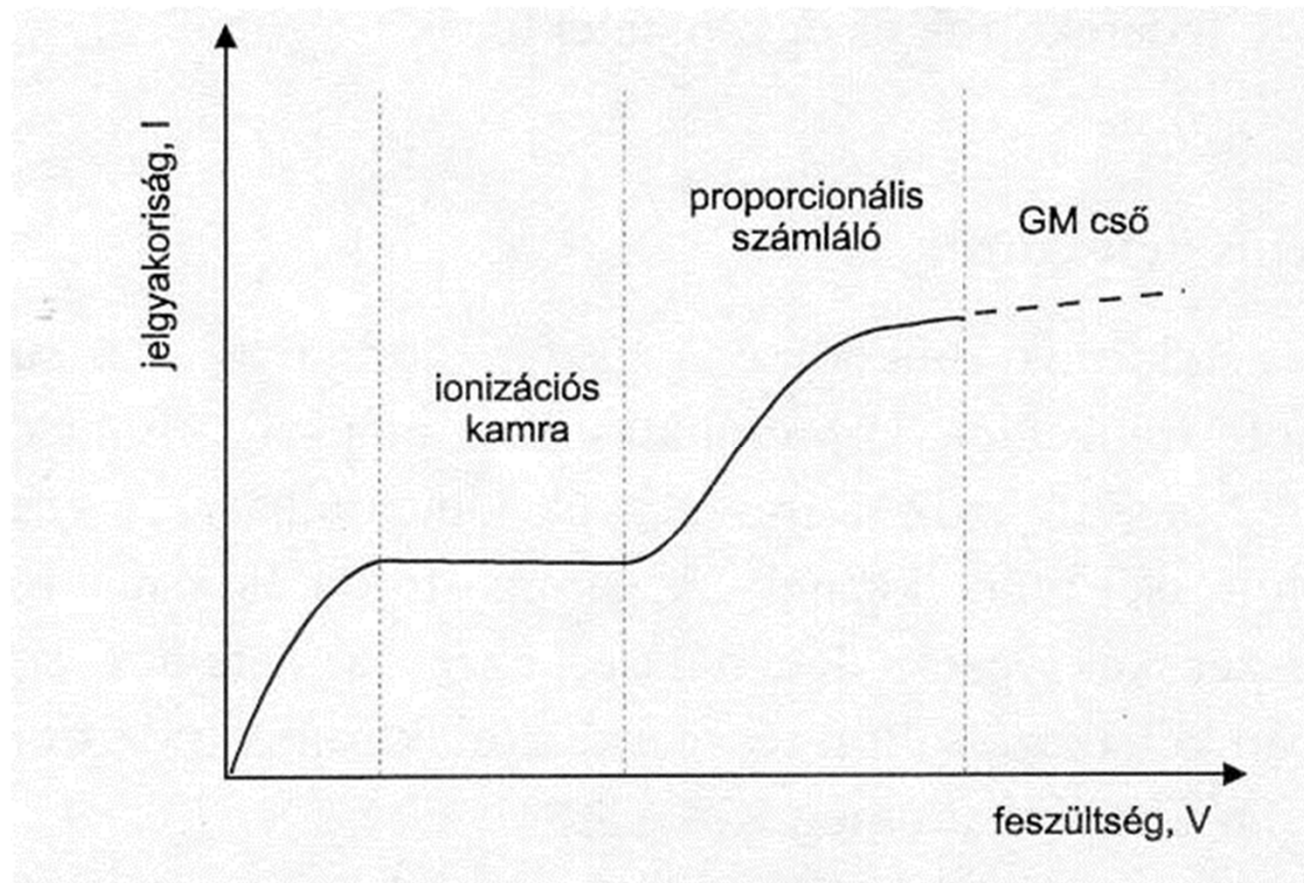
# Gázionizációs detektorok

- Ionizációs kamra
- Proporciónális számláló
- Geiger-Müller (GM) számlálók

# Gázionizációs detektor



# Karakterisztika



# Ionizációs kamra

- Minden sugárzás detektálására alkalmasak
- Egyszerűek, különböző geometriák alakíthatók ki, stabilan működnek, viszonylag olcsók
- Integrális (átlagos ionizációs áram mérése) és impulzus üzemben is működhetnek (az egyes impulzusokat külön-külön mérjük), az impulzus amplitúdója alapján az energiára is következtethetünk
- Töltőgáz lehet akár levegő is.

# Proporcionális számláló

- Gázerősítés
- Végablakos kiképzés
- A minta a mérőtérben van pl. folyamatos gázátáramlás mellett
- A keletkező negatív ionok torzíthatják a jelet, ezért a töltőgáz nagy tisztaságú nemesgáz

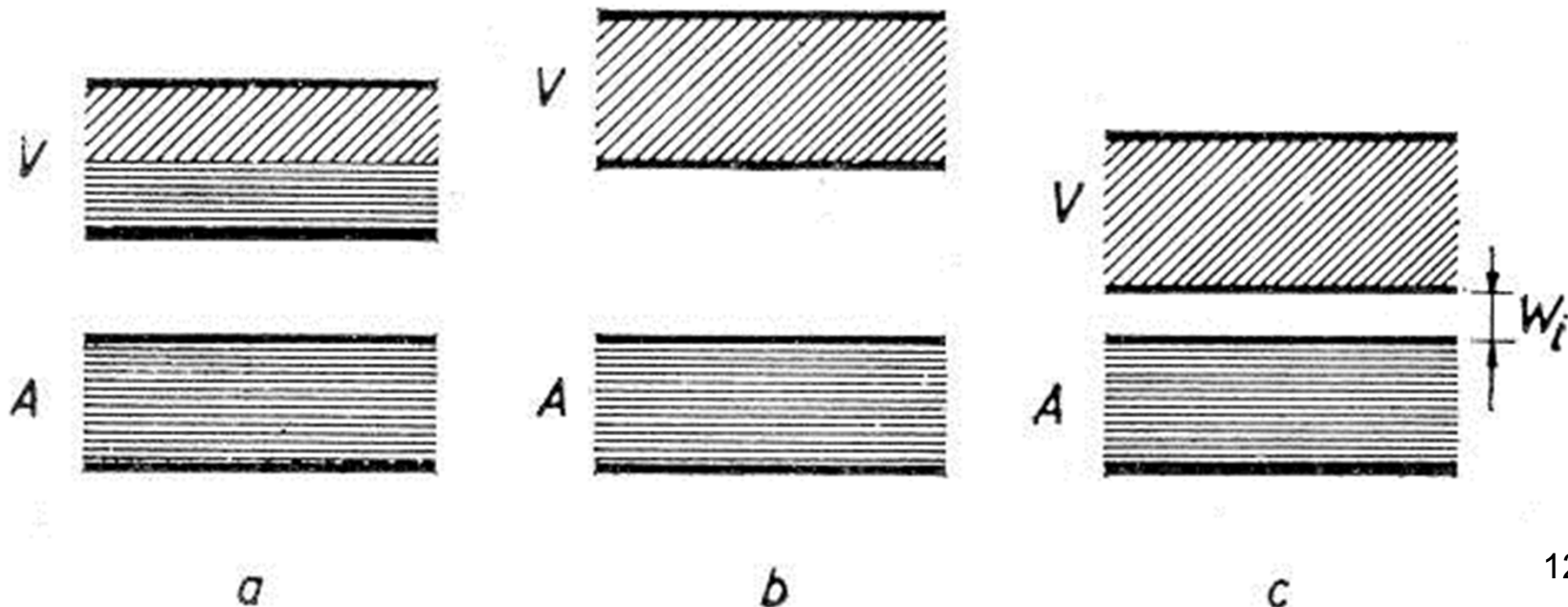
# Geiger-Müller (GM) számlálók

- Az impulzus nagyságát a sugárzás fajtája, energiája nem befolyásolja
- A több folyamat lejátszódása miatt kioltó gázra is szükség van (szerves molekulák vagy halogének)
- Csak impulzus számlálásra használható
- $\gamma$ -sugárzásra a hatásfok csak 1-5%



# Szcintillációs detektorok

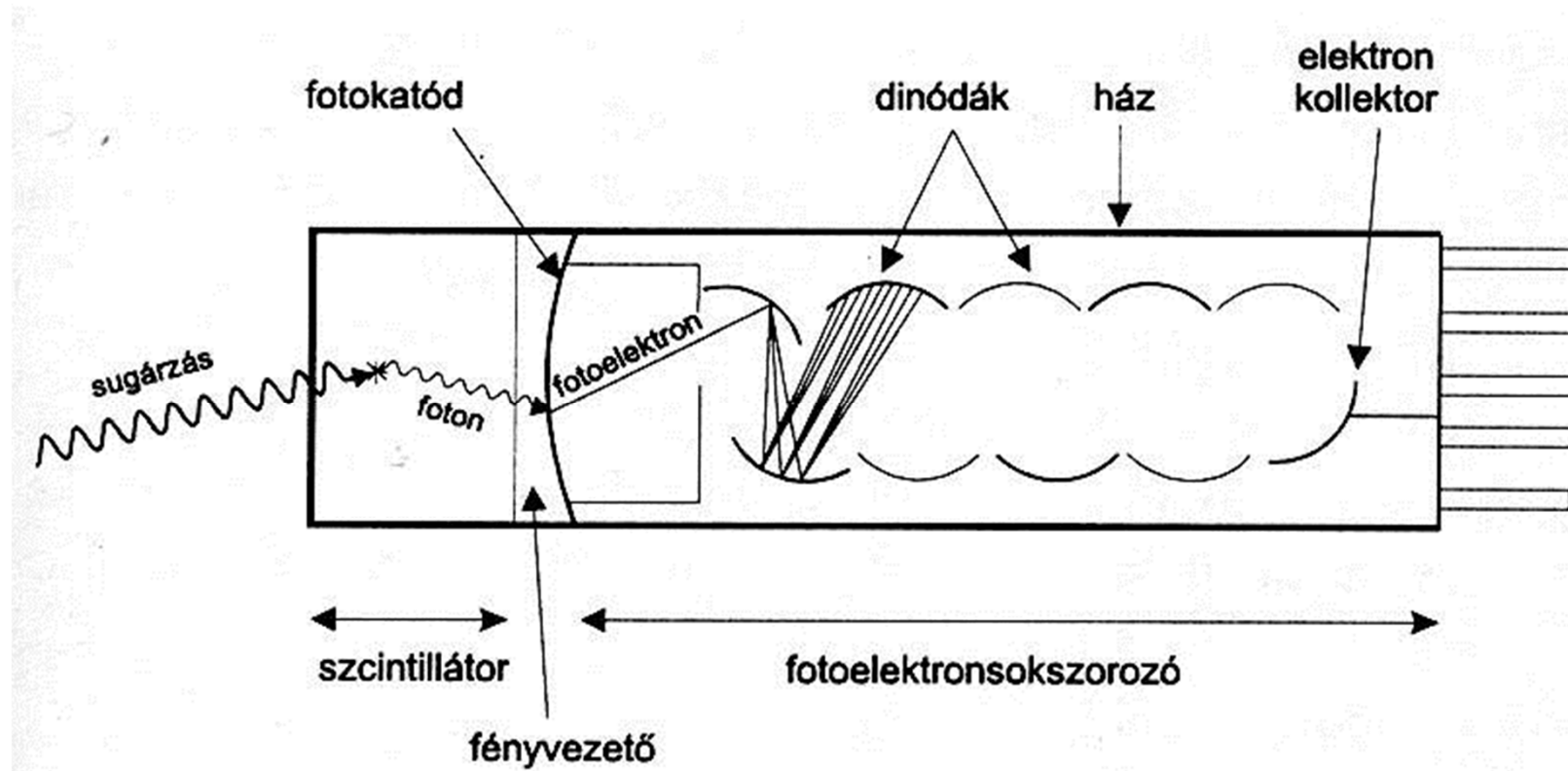
- Kristályos szilárd testek (szilárdtestek) sávszerkezete
- a: vezetők; b: szigetelők ( $W \gg 2-10$  eV); c: saját (intrinsic) félvezetők ( $W \gg 1$  eV)



# A detektoranyag működése

- A detektoranyagba jutó sugárzás gerjeszti az elektronokat
- Ezek a vegyérték sávba visszajutva energiájukat fény formájában adják le. Tiszta anyag esetén a fény az UV tartományba esik.
- Megfelelő szennyezőanyag adagolásával a tiltott sávban is keletkeznek energianívók. Az innen történő visszatéréskor kisugárzott fény a látható tartományba esik.
- A szcintillátorban keletkező fotonok száma arányos a sugárzás energiájával.

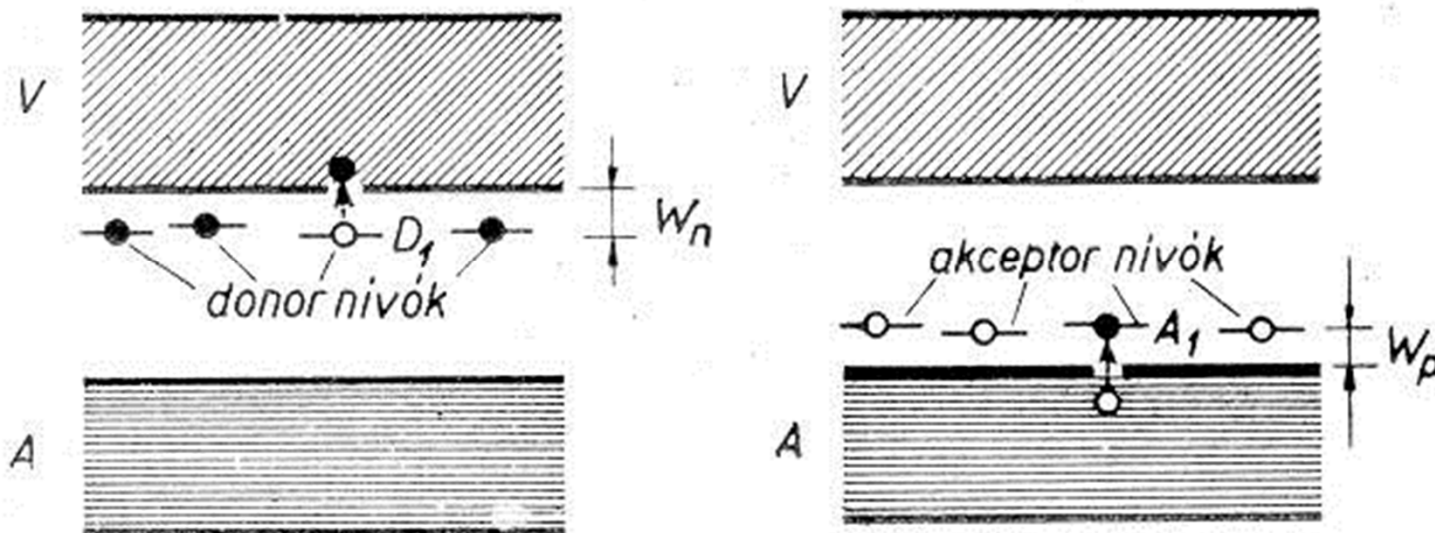
# Fotoelektronsokszorozó (multiplier)

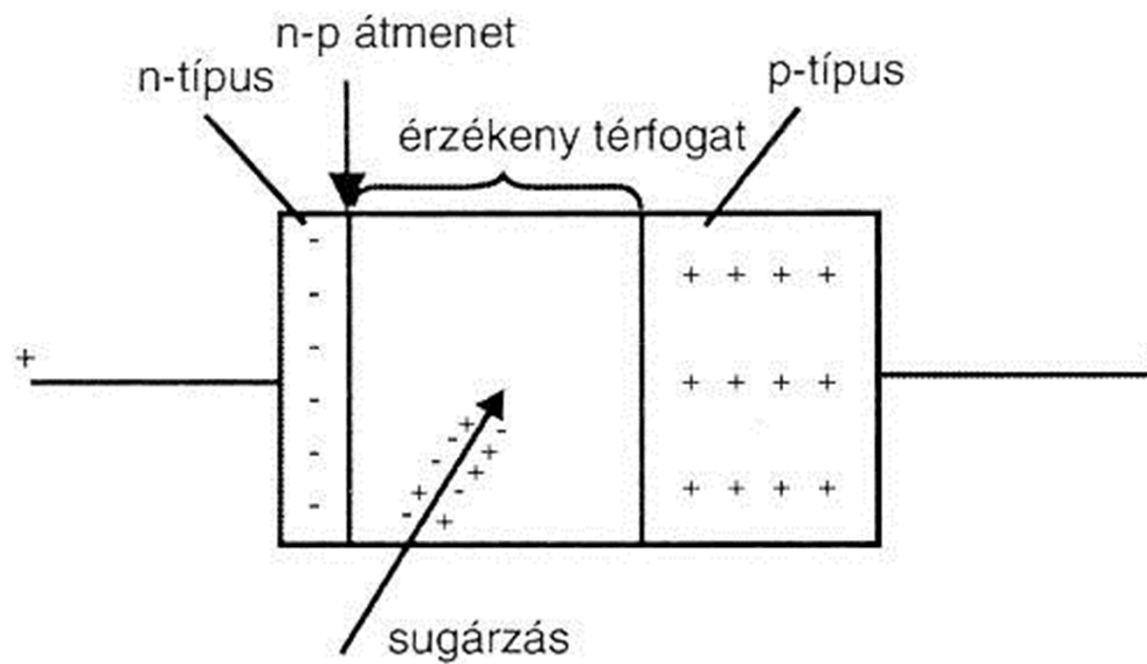


# Szcintillációs detektorok

- Transzformációs hatásfok ( $\eta$ ): energia átalakítása fénnnyé
- Fénykibocsátás időtartama 100-1000 ns (lecsengési idő)
- Karakterisztika a GM cső karakterisztikájához hasonló
- Szervetlen kristályok
  - **ZnS(Ag):  $\eta \approx 25-28 \%$**
  - Csak por alakban
  - **NaI(Tl):  $\eta \approx 8-10 \%$**
  - 1 foton 30-35 eV
  - Nedvszívó, légmentesen le kell zárni. A burkolat az  $\alpha$  és  $\beta$  sugárzást elnyeli.
  - **CsI(Tl):  $\eta \approx 4-5 \%$**
  - Levegőn is tartható

# Szennyezéses félvezetők





# Alapvető jellemzők

- Egy töltéshordozó pár keltéséhez
  - Ge-ban 2,8 eV
  - Si-ban 3,6 eV szükséges
- A termikus zaj csökkentése érdekében cseppfolyós N hőmérsékletére hűtve használják

# Egyéb detektor típusok

- Termolumineszcens detektorok
  - Egyes szigetelők esetén a gerjesztett elektronok a tiltott sáv ún. energia csapda nivójára kerülnek
  - Szokásos viszonyok közt az elektronok évekig is itt maradhatnak
  - Kifűtéssel visszajuttathatók a vegyérték sávba, s onnan fénykibocsátással az alapsávba
  - A kibocsátott fény fotoelektron sokszorozóval mérhető



# Dózismérő eszközök

- Nem azonnal szolgáltatnak információt, hosszabb időtartam (expozíciós idő) alatti integrális mérést tesznek lehetővé.
- A detektor anyagban hosszú ideig megmaradó változás jön létre, amely megfelelő eljárással kiértékelhető

# Típusok

- Tolldoziméterek: tartomány: néhány mSv
- Filmdoziméterek: megfelelő szűrőt alkalmazva különböző sugárzásból elnyelt dózisos mérésére alkalmas. Tartomány  $50 \mu\text{Sv}-1 \text{ Sv}$
- Termolumineszcens doziméterek
  - Gerjesztés hatására az elektronok a tiltott sáv energia csapdáiba kerülnek.
  - Kifűtés hatására a vegyérték sávba kerülnek, majd fénykibocsátás mellett az alapsávba
  - A fény szcintillációs detektorral mérhető

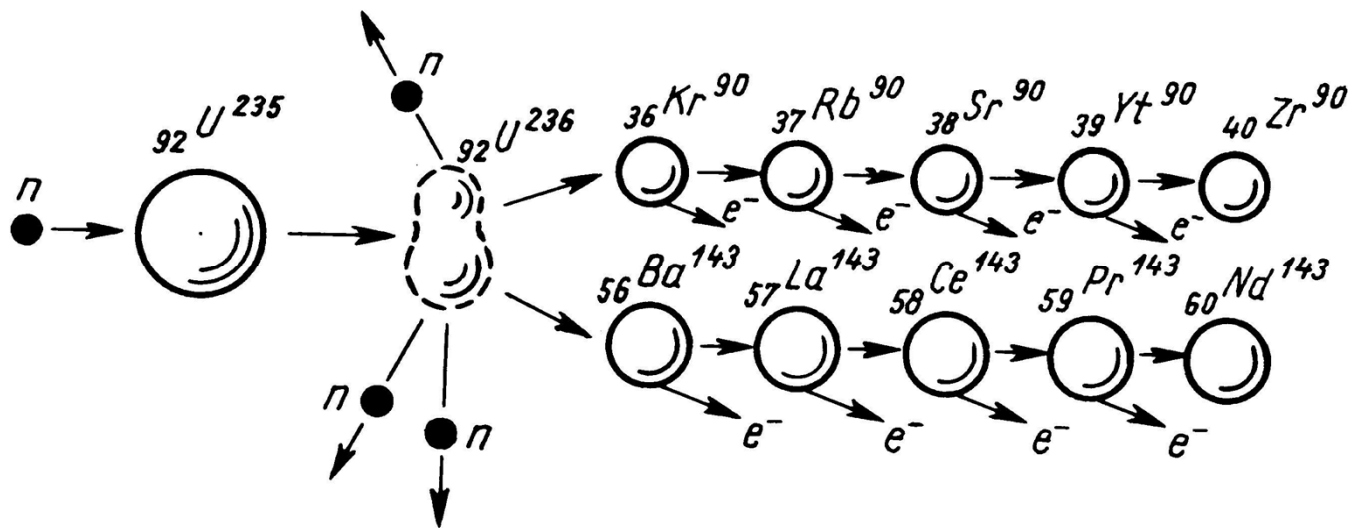
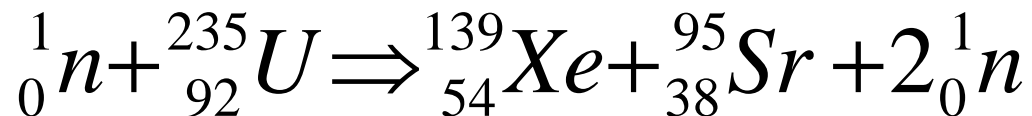
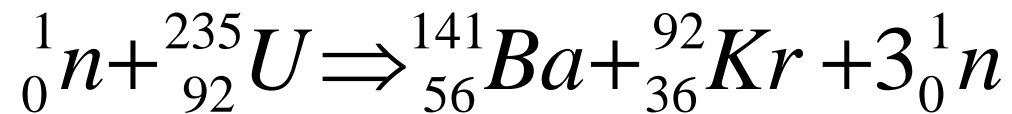
# Nukleáris mérőműszerek

- Impulzus detektorok: minden részecske detektálása során áramimpulzust adnak
- A leggyakoribb feladatok:
  - Időpont meghatározás,
  - Amplitudó mérés,
  - Jelalakok egymástól való megkülönböztetése
  - Jellegzetes áramimpulzus alakok
    - Négyszög
    - Exponenciális lecsengésű
- Két alaptípus:
  - Információ a beérkezésről (GM cső)
  - Energiára következtethetünk (prop. száml. szcint. det. ...)

# Nukleáris energiatermelés

- Rövid kezdeti történet
  - 1942: A láncreakció beindul
  - 1951: 250 kW villamos teljesítmény az EBR (Experimental Breeding Reactor) épületének világítására
  - 1954: 5 MW teljesítmény villamos hálózatra a SzU-ban
  - 1956 60 MW villamos teljesítmény Calder Hall-ban

# Energia felszabadulás $U^{235}$ atommagok hasadásakor



## A hasadás energiamérlege

- A hasadási termékek kinetikus energiája: 167 MeV
- A  $\beta$  bomlás energiája: 5 MeV
- A  $\gamma$  bomlás energiája: 5 MeV
- A neutrínókkal távozott energia: 11 MeV
- A keletkezett neutronok energiája: 5 MeV
- A hasadás pillanatában keletkező sugárzás: 5 MeV
- Szumma: 198 MeV

## Magenergia ↔ Atomenergia

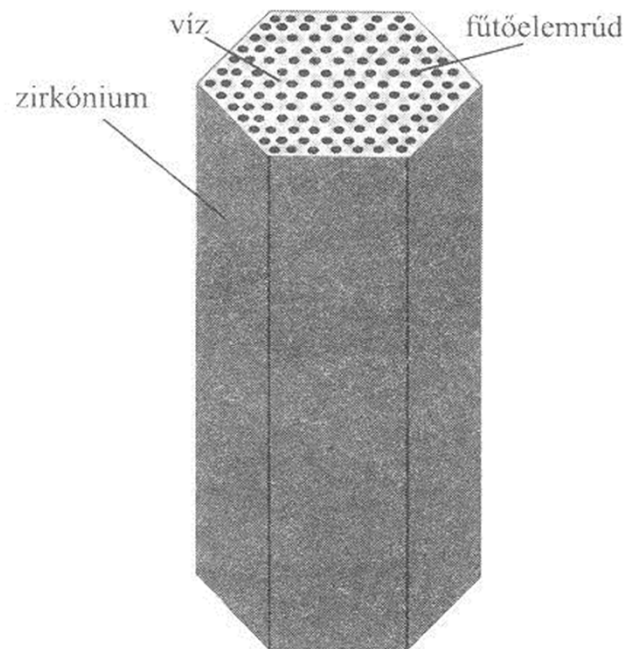
- Egyetlen  $U^{235}$  hasadásakor felszabaduló energia: **198 MeV**
- Egyetlen C atom  $CO_2$ -vé égésekor felszabaduló energia: **10 eV**
- Az arány:  $2 \cdot 10^7$  (húsz millió)
- 1 mol (235 g)  $U^{235}$  hasadásakor felszabaduló energia 19000 GJ. Ehhez 63000 tonna 3 MJ/kg fűtőértékű szén kell.

# Neutron sokszorozási tényező

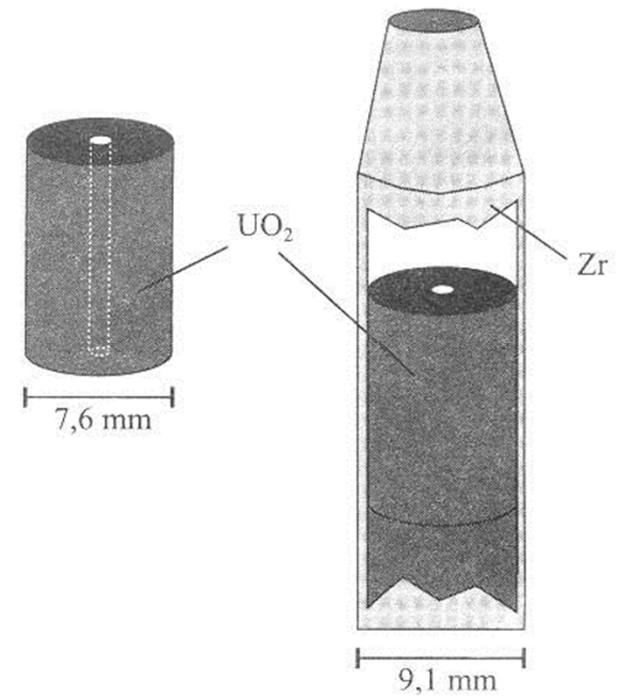
- A hasadás során keletkező neutronok száma abszorpció révén elvész.  $^{235}\text{U}$ -ra az ún. termikus neutronhozam  $\eta=2,07$
- Gyors neutronok is hozzájárulhatnak a hasadáshoz. A gyorsasítási tényező  $\varepsilon=1,02$
- A lassítás (moderálás) közbeni neutron veszteség  $p=0,6-0,9$
- Termikus hasznosítási érték; f. Az  $^{235}\text{U}$  által befogott termikus neutronhányad.
- Az aktív zónából kiszökő neutronok okozta hatásfok csökkenés; P.
- Az effektív neutron sokszorozási tényező
  - $k_{\text{eff}}=\eta \cdot \varepsilon \cdot p \cdot f \cdot P$
- $k_{\text{eff}}<1$  szubkritikus;  $k_{\text{eff}}>1$  szuperkritikus;  **$k_{\text{eff}}=1$  kritikus**



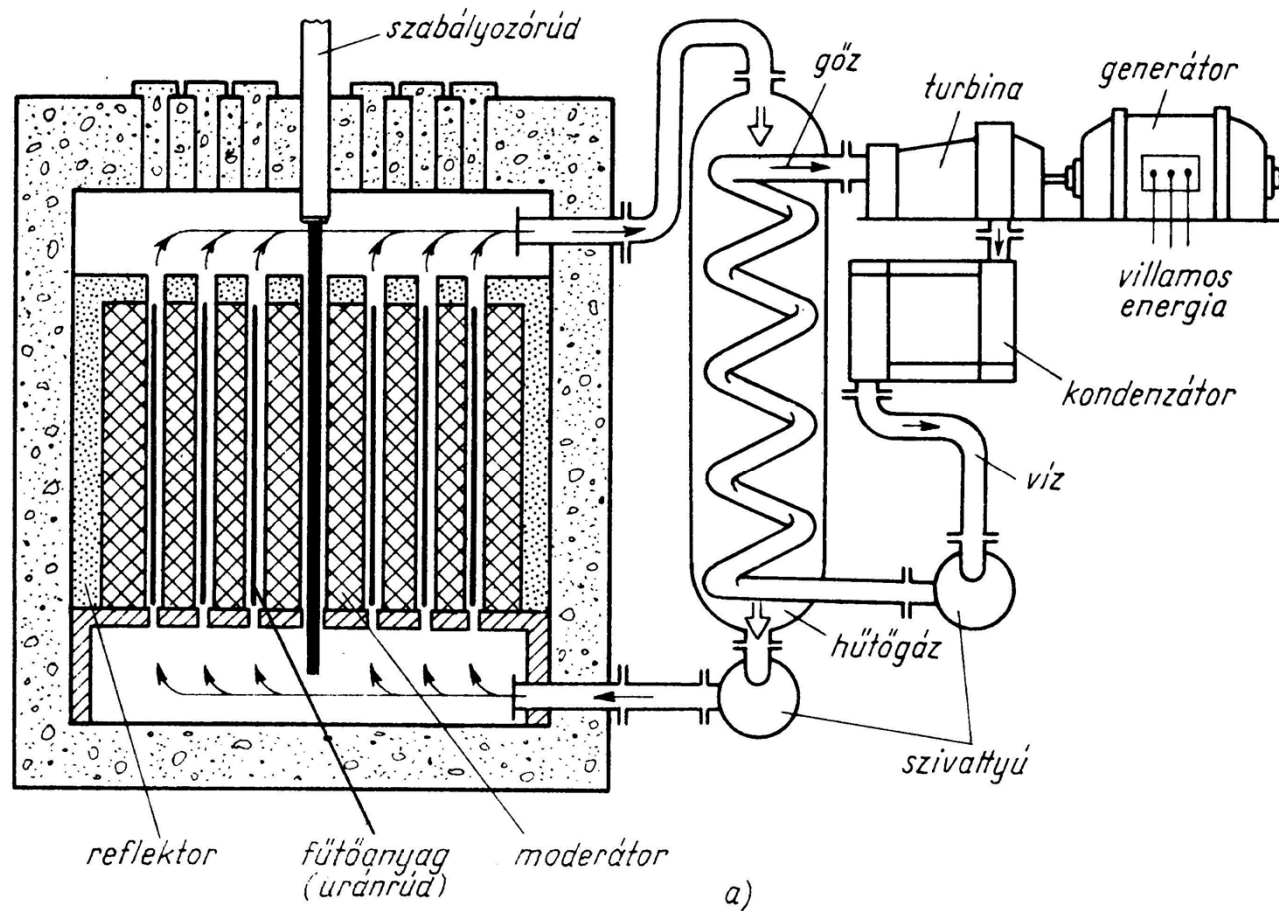
# Fűtőelem és fűtőelem köteg



4. ábra. A nyomottvízes reaktor üzemanyagkötege.



# Az energiatermelés blokk diagrammja

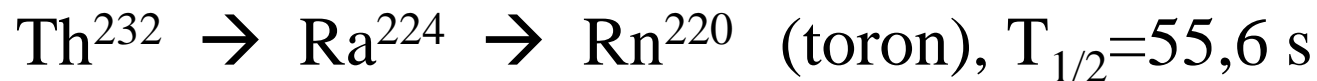
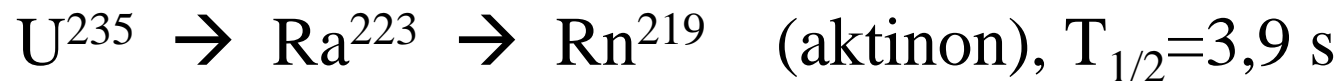


# Szabályozó anyagok, Moderátorok, Hűtőközeg

- Szabályozó anyagok: a  $k_{\text{eff}}=1$  értéket biztosítják. Leggyakrabban kadmium, de lehet bór, indium vagy hafnium
- Moderátorok: A hasadáskor keletkező gyors neutronokat (0,8 – 2 MeV) lassítják 0,025 eV energiára. Leggyakrabban víz (egyúttal hűtőközeg is), nehézvíz ( $\text{D}_2\text{O}$ ), grafit, berrilium
- Hűtőközeg: jó hővezető, vegyileg stabil, ne aktiválódjon fel. Lehet víz vagy gáz, pl.  $\text{CO}_2$ , vagy He

# A radon és bomlástermékei

A földkérgi eredetű radionuklidok három bomlási sorának mindegyikében képződik radon, amely nemesgáz.



Ezen bomlási láncok atomjai minden természetes anyagban megtalálhatók.

Legfontosabb a  $\text{Rn}^{222}$  környezetbe kerülése, melynek felezési ideje 3,82 nap valamint az  $\text{Rn}^{220}$ -é melynek 55 másodperc.

# Radonaktivitás-koncentráció az emberi környezetben

A talajban az értékek elsősorban a talaj minőségétől, összetételétől és porozitásától függenek. Az átlagos kiáramlás  $0,022 \text{ Bq m}^{-2} \text{ s}^{-1}$

A felszíni vizek, a földgázok aktivitás koncentrációi kisebbek.

A talaj, víz, földgáz eredetű radioaktivitáskoncentrációk a bányákban, alagutakban, fürdőkben akár öt nagyságrendi eltéréseket is mutathatnak.

# Épületek radon mentesítése

Módszer	Költség	Hatékonyság
Nyomáscsökken- tés az altalajban	közepes	nagy
Padló szigetelés	közepes	közepes
Altalaj eltávolítás	magas	nagy
Megnövelt szellőztetés	közepes	kicsi
Megnövelt légnyomás	alacsony	kicsi

# Sugárzások alkalmazása

- Terápiás célú orvosi alkalmazások
  - $^{60}\text{Co}$  és  $^{137}\text{Cs}$   $\gamma$  sugárforrások használata
- Biológiai/Mezőgazdasági alkalmazások
  - Gyümölcsök tartósítása sugárkezeléssel
  - Az alkalmazott dózis néhány kGy

# A radioaktív izotópok alkalmazásai

## Nyomjelzés technika

### ➤ Az alkalmazás szempontjai

- A felezési idő igazodjon a biológiai kísérlethez
- A sugárzás áthatoló képessége megfelelő legyen

### ➤ Érzékenység

- $10^5$ - $10^6$  atom jelenléte kvantitatív mérést tesz lehetővé
- A legfinomabb mikroanalitikai módszerrel a kimutathatóság alsó határa  $10^{10}$ - $10^{12}$  atom



# Folyamatok időbeli lejátszódásának vizsgálata

## ➤ Effektív felezési idő

$$\frac{1}{T_{eff}} = \frac{1}{T_f} + \frac{1}{T_b}$$

- Példák
  - Pajzsmirigy diagnosztika  $^{131}\text{I}$  izotóppal
  - Vörösvérsejtek lebomlási- és regenerációs folyamatának vizsgálata  $^{51}\text{Cr}$  ill.  $^{59}\text{Fe}$
- A sugárzás detektálására van szükség.  
Alkalmazható számlálócső vagy szcintillációs detektor

# Folyamatok térbeli lejátszódásának vizsgálat

- Az alkalmazott eszköz a  $\gamma$  kamera
  - A kamera leképző rendszere sokfuratú ólomlemezről és szcintillációs detektorból áll
- Valamely állatfaj egyedei elhelyezkedési vagy mozgási terének meghatározása  $^{32}\text{P}$  izotóppal
- Stabil izotópok alkalmazása nyomjelzésre: ezáltal megváltozik a természetes izotóparány.
  - $^2\text{H}$ ,  $^{13}\text{C}$ ,  $^{15}\text{N}$ ,  $^{18}\text{O}$ ,  $^{34}\text{S}$

# Molekuláris vizsgálatok

- Különböző anyagok szintézise, lebomlása a reakció pontos mechanizmusának tisztázása
  - A genetikai kód megfejtése: pl. az U-U-U triplett
    - 20 db, minden aminosavat tartalmazó sejtmentes fehérje szintetizáló rendszer
    - Mindegyik rendszerben más-más aminosavat jelöltek  $^{14}\text{C}$ -el
    - Szintetikus mRNS: poli U
    - A poli-U által hordozott információ alapján mindegyik rendszerben ugyanaz a polipeptid lánc szintetizálott
    - Csak az a rendszer mutatkozott radioaktívnak, amelyben a fenilalanint jelölték meg

# Nukleáris balesetek

## Erőművi balesetek

- Three Mile Island (USA 1979 március): a Nemzetközi Esemény Skála szerint a baleset 5. fokozatú volt.
  - Az aktív zóna átmenetileg hűtés nélkül maradt, ez a fűtőelem kötegek egy részének megolvadásához vezetett.
  - Hasadvány termékek jutottak a konténmentbe, melynek felső részén nagy aktivitású gőzfelhő gyűlt össze.
- Csernobil (SzU 1986 április): Nemzetközi Esemény Skála szerint a baleset 7. fokozatú volt.
  - Karbantartási leállás előtti kifutási kísérletet akartak végezni.
  - A reaktorban először gőz-, majd vegyi robbanás következett be.
  - Az operátorok és a tűzoltók közül három hónapon belül harmincan haltak meg.

# Nukleáris fegyver balesetek

- Kyshtym-i baleset (SzU 1957 szeptember):
  - Plútonium termelő üzem folyékony hulladékát tárolták betonba ágyazott acéltartályban.
  - Egy 300 m<sup>3</sup>-es tank hűtése elromlott, az anyag 330-350 °C-ra melegedett, majd felrobbant.
  - A radioaktív felhő 1 km magasba jutott, 11 órán belül 300 km-re jutott a robbanás helyéről.
- Windscale-i baleset (mai elnevezés: Sellafield, Anglia):
  - Tűz ütött ki egy katonai célú plútonium termelő reaktorban (grafit moderátoros, léghűtéses reaktor)
- Nukleáris fegyverek szállítása:
  - Összesen 14 ilyen jellegű baleset ismert.
  - Spanyolország, Grönland: nukleáris fegyvert szállító repülőgépek ütköztek össze.

# Orvosi balesetek

- Mexikó, 1983 dec.: Egy terápiás sugárforrás tartót eladtak, de elfelejtették eltávolítani belőle 16,7 TBq aktivitású  $^{60}\text{Co}$  forrást.
- Brazília, Goiania 1987 szept.: Egy 50,9 TBq aktivitású  $^{137}\text{Cs}$  forrást egy kiürített kórházépületben hagytak.