

# Atomenergia és fenntartható fejlődés

(BMETE809008)

<https://oktatok.reak.bme.hu/tantargyak/atomenergia-es-fenntarthato-fejlodes/>

## 5. előadás

### A radioaktív sugárzás hatása az élő szervezetre A nukleáris technika nem energetikai célú felhasználása

2019-2020. tanév őszi félév

Dr. Yamaji Bogdán, Prof. Dr. Aszódi Attila,  
BME NTI

## Radioaktivitás, dóziszfogalmak

Fenntartható fejlődés és atomenergia

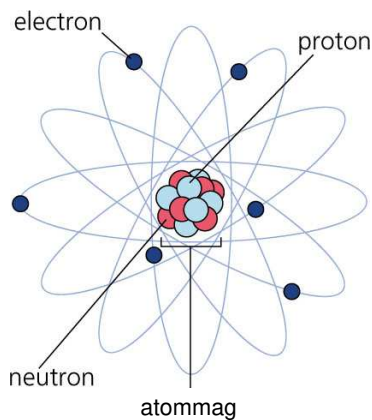
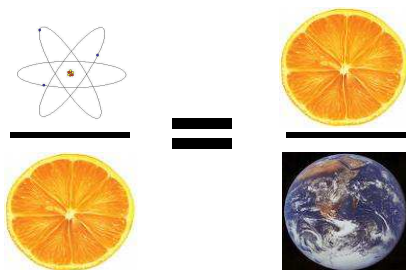
Yamaji Bogdán, BME NTI

2

## Atom, atommag, nukleonok

Atom: atommag + elektronfelhő

Atom**mag**: protonok+neutronok



$10^{-10} \text{ m} = 0,0000000001 \text{ m}$

$10^{-14} \text{ m} = 0,00000000000001 \text{ m}$

## Radioaktivitás

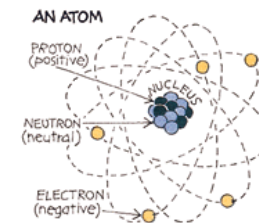
Az atom felépítése:

- kb.  $10^{-14} \text{ m}$  átmérőjű atommag,
- és az azt körülvevő, a magnál 10 000-szer nagyobb, kb.  $10^{-10} \text{ m}$  átmérőjű elektronfelhő.

A mag alkotóelemei a pozitív elektromos töltésű protonok, és a töltés nélküli neutronok.

Az atom legfontosabb jellemzője a rendszám:

- rendszám = protonok száma, meghatározza az atom kémiai tulajdonságait.
- tömegszám = protonok + neutronok száma a rendszám mellett ez határozza meg az atom magfizikai viselkedését.



# Radioaktivitás

Adott rendszámú (azaz protonszámú) atommagban különböző számú neutron lehet. Az ilyen azonos rendszámú, de eltérő tömegszámú atommagok egy adott elem **izotópjai**.

- Pl.:  ${}^1_1\text{H}$ : hidrogén (1 proton, 0 neutron)  
 ${}^2_1\text{H}$ : deutérium (1 proton, 1 neutron)  
 ${}^3_1\text{H}$ : trícium (1 proton, 2 neutron)

# Radioaktivitás

- A ma ismert 112 elemnek több, mint 2500 izotópjja létezik.
- Ezek közül 249 stabil, az összes többi magától elbomlik, azaz **radioaktív**.
- A radioaktív bomlás során minden esetben egy vagy több részecskét sugároz ki a mag.
- A leggyakoribb radioaktív sugárzások: az  $\alpha$ -,  $\beta$ - és  $\gamma$ -sugárzás.

# Radioaktivitás

112 ismert elem, 2500 izotóp

H																He																																																																																																																																																																																																																																																																																															
Li																Be																																																																																																																																																																																																																																																																																															
Na																Mg																																																																																																																																																																																																																																																																																															
K																Ca																																																																																																																																																																																																																																																																																															
Sc																Ti																V																Cr																Mn																Fe																Co																Ni																Cu																Zn																Ga																Ge																As																Se																Br																Kr																																																															
Rb																Sr																Y																Zr																Nb																Mo																Tc																Ru																Rh																Pd																Ag																Cd																In																Sn																Sb																Te																I																Xe																															
Cs																Ba																* * *																Lu																Hf																Ta																W																Re																Os																Ir																Pt																Au																Hg																Tl																Pb																Bi																Po																At																Rn															
Fr																Ra																* * *																Lr																Rf																Db																Sg																Bh																Hs																Mt																Uun																Uuu																Uub																Uuq																																																																																															

\* Lanthanide series

La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb
138.91	140.12	140.91	140.91	140.91	150.36	151.96	157.25	158.93	162.50	164.93	167.26	168.93	173.04

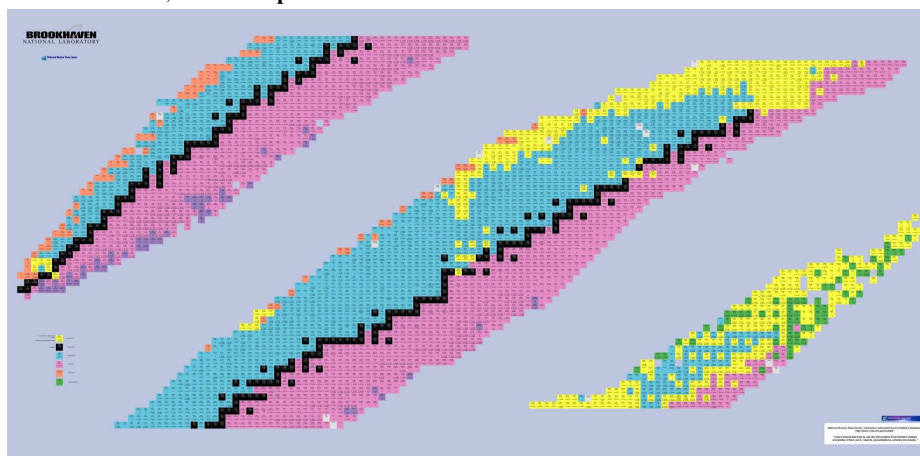
\*\* Actinide series

Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No
227	232.04	231.04	238.03	237	244	243	247	247	251	252	257	259	261

az elemek periódusos rendszere

# Radioaktivitás

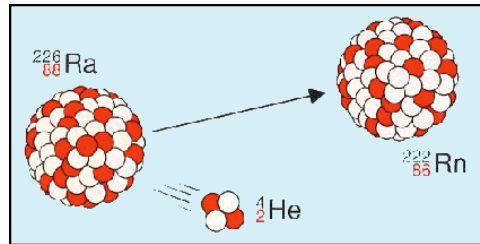
112 ismert elem, 2500 izotóp



izotóptáblázat

## Az alfa-sugárzás

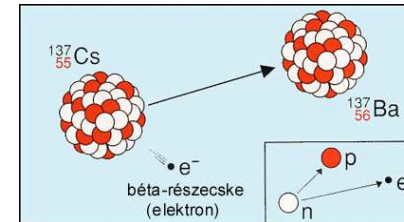
- Az atommagot alfa-részecskék (két protonból és két neutronból álló héliummagok) hagyják el.
- Az atom rendszáma tehát a bomlás során kettővel, tömegszáma négyel csökken.
- Az alfa-sugárzás igen rövid hatótávolságú, akár egy vékony papírlap is könnyen elnyeli.



## Béta-sugárzás

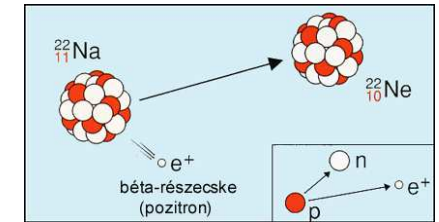
### Negatív béta-bomlás

- egy neutron protonná alakul a magban
- egy elektron kilép a magból
- a rendszám eggyel nő, a tömegszám változatlan



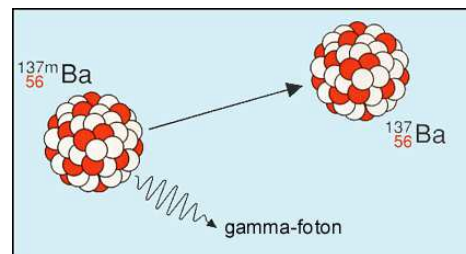
### Pozitív béta-bomlás

- egy neutron keletkezik egy protonból
- pozitron lép ki a magból
- a rendszám eggyel csökken, a tömegszám itt is változatlan

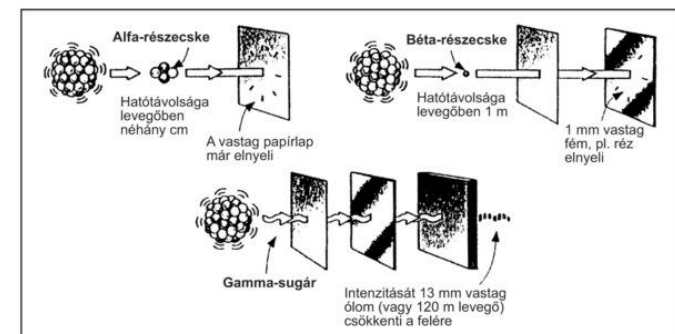
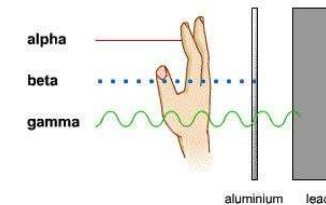


## Gamma-sugárzás

- A látható fényhez hasonló, de annál nagyobb energiájú elektromágneses sugárzás.
- Ha az atom valamilyen bomlás után még gerjesztett állapotban marad, akkor ezt egy vagy több "adagban", gamma-sugárzás formájában adja le.
- Nem változik sem a rendszám, sem a tömegszám.
- A gamma-sugárzás áthatoló képessége igen nagy.



## Sugárzások áthatoló képessége



## Radioaktivitás

**Felezési idő:** az az idő, ami alatt egy radioaktív izotóp adott számú atomjainak fele elbomlik:  $T_{1/2}$

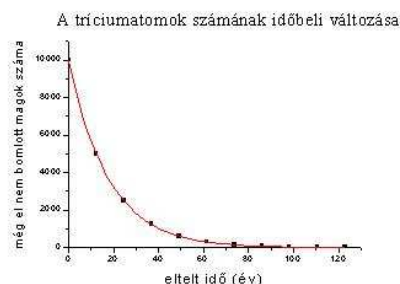
Pl.: Legyen 10 000 darab trícium atomunk, melynek felezési ideje 12,3 év. Ekkor

- 12,3 év múlva 5000 db,

- 24,6 év múlva 2500 db,

- 36,9 év múlva 1250 db

el nem bomlott trícium atomunk lesz.



## Radioaktivitás

**Bomlástörvény:**

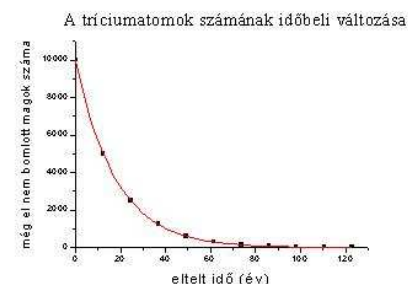
$$N(t) = N(t_0)e^{-\lambda t} \quad \lambda: \text{bomlási állandó [1/s]}$$

$$\frac{N(t)}{N(t_0)} = \frac{1}{2} = e^{-\lambda T_{1/2}}$$

$$2 = e^{\lambda T_{1/2}}$$

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

$$\lambda = (\ln 2)/T_{1/2}$$



## Radioaktivitás



Antoine Henri Becquerel francia fizikus

**Aktivitás:** az 1 másodperc alatt bekövetkező bomlások száma egy adott mintában.

$$A \sim N \rightarrow A = \lambda N$$

Mértékegysége a **Becquerel**: 1 Bq = 1 bomlás/másodperc.

(régí mértékegység: Curie: Ci, 1 mCi = 37 MBq !)

Pl.: Egy 75 kg-os ember kálium-40-ből származó aktivitása kb. 4500 Bq, vagyis másodpercenként kb. 4500 darab kálium-40-es atommag bomlik el a szervezetében (éves természetes sugárterhelésünk 6%-a származik a szervezetünkben elbomló kálium-40-től).

## Dózisfogalmak

- Elnyelt dózis:**

a besugárzott anyag egységnyi tömegében elnyelt energia.

Mértékegysége: 1 Gy = 1 J/kg (Gy=Gray).

(régí mértékegység: rad: *radiation absorbed dose*: 1 rad=0,01 Gy)

(„nagyon” régí, nem használatos!: Röntgen: levegő dózis: 1 R =  $2,58 \times 10^{-4}$  C/kg)

1 R = 0,0087 Gy  $\approx$  0,01 Gy)

- Dózisteljesítmény:**

időegység alatt elnyelt dózis

$$D' = \Delta D / \Delta t$$

Mértékegysége: Gy/s



Louis Harold Gray brit fizikus

## Dózisfogalmak

- **Egyenérték dózis:** figyelembe veszi a sugárzás fajtájából adódó eltéréseket ( $\alpha$ -sugárzás pl. jobban roncsol, mint a  $\gamma$ -sugárzás)

$$H = D \times w_r$$

Mértékegysége: Sv (Sievert)



Rolf Maximilian Sievert svéd orvos-fizikus

(régí mértékegység: rem: *roentgen equivalent man*: 1 rem=0,01 Sv)

- $w_r$ : **minőségi tényező:**

$$\alpha: w_r = 20$$

$$\beta, \gamma: w_r = 1$$

$$n: w_r(E) = 2,5 - 20$$

$$p: w_r = 2$$

## Dózisfogalmak

- **Effektív dózis:** figyelembe veszi a testszövetek eltérő érzékenységét

$$H_E = w_T \times H_T$$

Mértékegysége: Sv

- $w_T$ : **szöveti súlytényező ( $\sum w_T = 1$ )**

Testszövet vagy szerv	Súlytényező, $w_T$
Ivarszervek	0,08
Csontvelő (vörös)	0,12
Vastagbél	0,12
Tüdő	0,12
Gyomor	0,12
Pajzsmirigy	0,04
Bőr	0,01
Maradék	0,05

ICRP Publication 103

The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection (2007)

## Sugárözönben élünk

Mindenkit folyamatosan ér radioaktív sugárzás!

Ez lehet:

Természetes  
eredetű

Mesterséges  
eredetű



## Sugárterhelésünk



A természetes sugárzások a kozmikus térből (elsősorban a Napból), a földkéregből, és a saját szervezetünkben erednek.

A **természetes sugárzások** adják összes sugárterhelésünk **85 %**-át.

# Természetes sugárterhelés

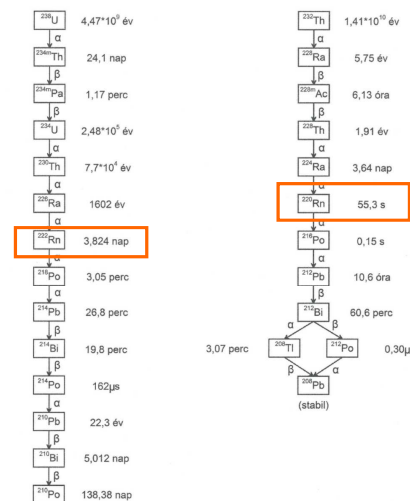
A Föld népessége természetes forrásokból évente átlagosan **2,4 mSv** sugárterhelést kap.

Természetes	(2,4 mSv/év)
kozmosz külső	0,3 mSv
kozmosz belső	0,015 mSv
földkérgi külső	0,5 mSv
földkérgi belső	1,6 mSv

# Természetes sugárterhelés

## Földkérgi belső: radon

- rövid felezési idő
- talajból, kőzetből, építőanyagokból kikerül a levegőbe
- leányelemek megtapadnak a levegőben lévő aeroszol részecskéken (por, füst), és belélegzést követően lerakódnak a légutakban (torok, légcső, hörgők, tüdő)
- előbb elbomlanak, minthogy biológiailag kiürülnének
- alfa és béta sugárzók!



15.3. ábra. A <sup>238</sup>U és a <sup>232</sup>Th bomlási sora (szerk.: Fehér, Deme) pp. 434

Forrás: Sugárvédelem (szerk.: Fehér, Deme) pp. 434

# Természetes háttér - földkérgi

## Brazília

- Guarapari
  - levegő dózisteljesítmény: 1-2 µGy/h
  - „forró” pontokon: 20 µGy/h
- Meaípe
  - levegő dózisteljesítmény: ~1 µ Gy/h,
  - akár 10 µGy/h
- forrás: monazit homok



Table 3. Average total absorbed dose rate in air from natural radionuclides <sup>226</sup>Ra, <sup>232</sup>Th and <sup>40</sup>K and annual effective dose in beach sands of Guarapari.

Location	Total air absorbed dose rate D (nGy·h <sup>-1</sup> )			Annual effective dose H <sub>E</sub> (mSv·y <sup>-1</sup> )	
	<sup>226</sup> Ra	<sup>232</sup> Th	<sup>40</sup> K		
Praia do Morro	3.0	12	3.0	18	0.022
Areia Preta	1870	35,500	130	37,500 <sup>a</sup>	43.00 <sup>b</sup>
Setiba	3.0	16	3.0	22	0.023

<sup>a</sup>Values higher than the world range (10 - 200 nGy·h<sup>-1</sup>); <sup>b</sup>Values higher than worldwide average (0.07 mSv·y<sup>-1</sup>).

- További példák: Ramsar, Iran – <sup>226</sup>Ra forrásoknál;
- Orissa, Kerala, India – monazit

Fujinami et al: External Exposure Rates from Terrestrial Radiation at Guarapari and Meaípe in Brazil IRPA - International Radiation Protection Association, 10th International Congress <http://www.irpa.net/irpa10/cdrom/00490.pdf>

Vasconcelos et al: Modelling Natural Radioactivity in Sand Beaches of Guarapari, Espírito Santo State, Brazil World Journal of Nuclear Science and Technology, 2013, 3, 65-71 <http://dx.doi.org/10.4236/wjnst.2013.3.2011>

# Természetes háttér - földkérgi

Table 5. Summary of activity concentrations and dose rates of natural radioisotopes in soil and sand samples in some of the world regions; (-) not determined.

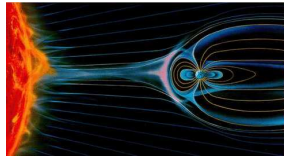
Region/Country	<sup>226</sup> Ra (Bq·kg <sup>-1</sup> )	<sup>232</sup> Th (Bq·kg <sup>-1</sup> )	<sup>40</sup> K (Bq·kg <sup>-1</sup> )	Total air absorbed dose rate D (nGy·h <sup>-1</sup> )	Annual effective dose H <sub>E</sub> (mSv·y <sup>-1</sup> )	References
	mean	mean	mean			
Manisa/Turkey	-	27	340	54	-	[1]
Persian Gulf/Iran	35	26	395	37	-	[17]
Safaga/Egypt	25.3	21.4	618	50.9	-	[18]
Bushehr/Iran	35	17	285	30	-	[19]
Preta Beach/Brazil	-	239	110	125	0.15	[9]
Xianyang/China	31.1	44.9	776	73.9	0.091	[20]
Baoji/China	22.1	39	859	69.6	0.085	[21]
Rizhao/China	12	15.2	1079	59.8	0.073	[22]
Meaípe/Brazil	1001	6422	127	-	-	[2]
Orissa/India	-	2825	180	1925	2.36	[5]
Porto Seguro/Brazil	20 <sup>*</sup>	30 <sup>*</sup>	20 <sup>*</sup>	21	0.03	[6]
Trancoso/Brazil	90 <sup>*</sup>	300 <sup>*</sup>	40 <sup>*</sup>	130	0.16	[6]
Prado/Brazil	110 <sup>*</sup>	30 <sup>*</sup>	60 <sup>*</sup>	40	0.04	[6]
Alcobaça/Brazil	510 <sup>*</sup>	400 <sup>*</sup>	180 <sup>*</sup>	330	0.40	[6]
Cumuruxatiba (non-black sand)/Brazil	230 <sup>*</sup>	1435 <sup>*</sup>	73 <sup>*</sup>	903	1.11	[6]
Cumuruxatiba (black sand)/Brazil	8320 <sup>*</sup>	18,450 <sup>*</sup>	3110 <sup>*</sup>	4450	17.70	[6]
Areia Preta/Guarapari, Brazil	4100	57,000	3000	37,500	43.00	Present Study

<sup>\*</sup>Maximum value.

World Journal of Nuclear Science and Technology, 2013, 3, 65-71 <http://dx.doi.org/10.4236/wjnst.2013.3.2011>

Vasconcelos et al: Modelling Natural Radioactivity in Sand Beaches of Guarapari, Espírito Santo State, Brazil

# Természetes sugárterhelés



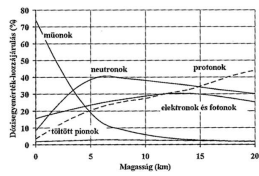
## Kozmikus: repülés

primer:

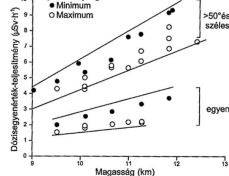
- kozmikus eredetű töltött részec: protonok,  $\alpha$ -részecskék
- Nap: napkitörések, napszél (zömében proton, ionizált plazma)
- védelem: Föld mágneses tere

szekunder:

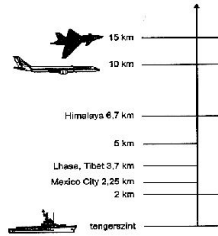
- a védelem ellenére a kozmikus sugárzás egy részét a légkör elnyeli
- magreakciók szekunder részecskéket keltenek: neutron,  $\gamma$ -foton, proton, elektron, mezon, pion, stb



15.1. ábra. A kozmikus sugárzás dóziségyenérték-tejesítményének egyes komponensei a Föld légkörében a magasság függvényében.



15.2. ábra. A kozmikus sugárzás dóziségyenérték-tejesítmény mért értéke a tipikus repülési magasságokban



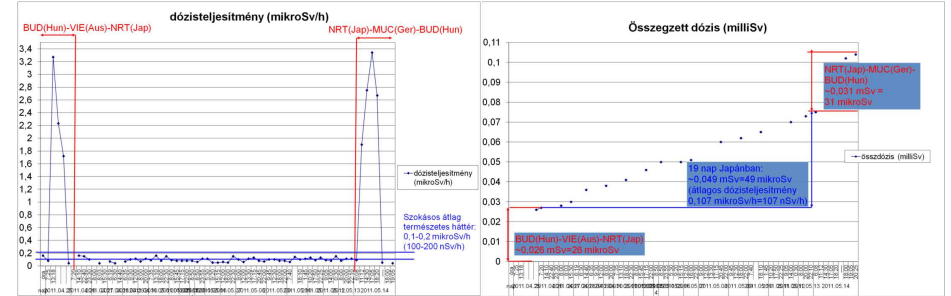
http://www.reporvos.hu/fo\_sugar.php

# Természetes sugárterhelés

## Repülés

10 000 m-es repülési magasságon:  
2-5  $\mu$ Sv/óra dózisteljesítmény

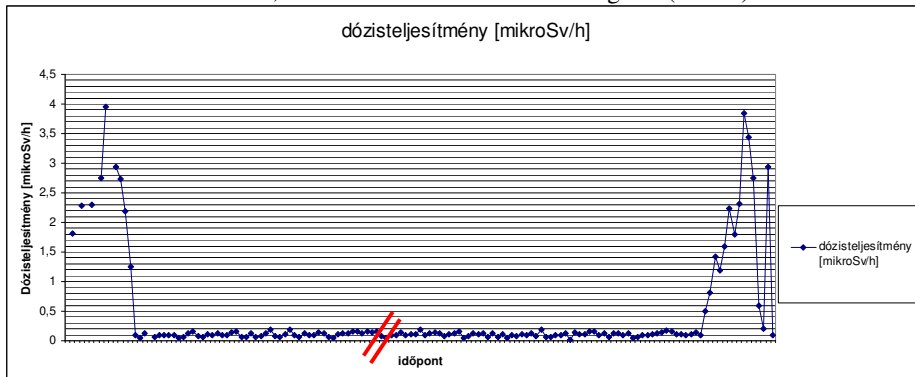
tíz órás repülőút:  
20-50  $\mu$ Sv össz dózis



# Természetes + mesterséges sugárterhelés

Japán: 2014. szeptember 25-október 18.

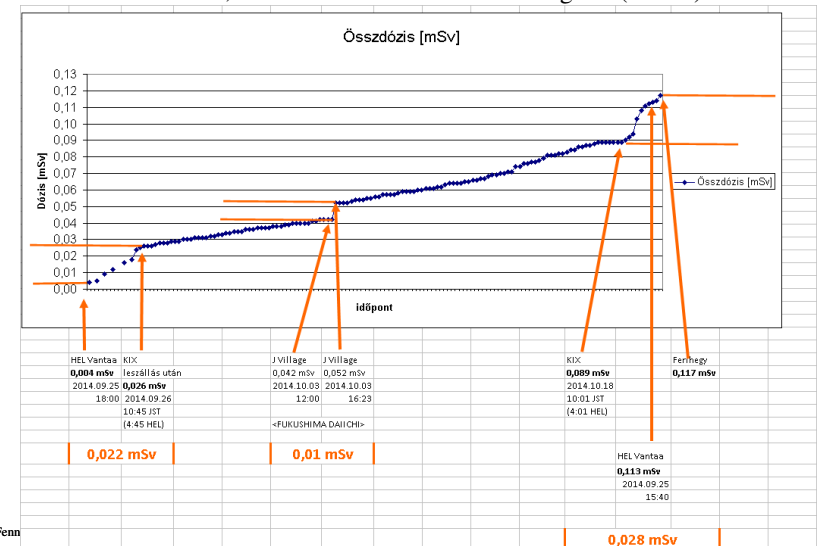
BUD-HEL-KIX, Fukushima Daiichi üzemlátogatás (~4 óra)



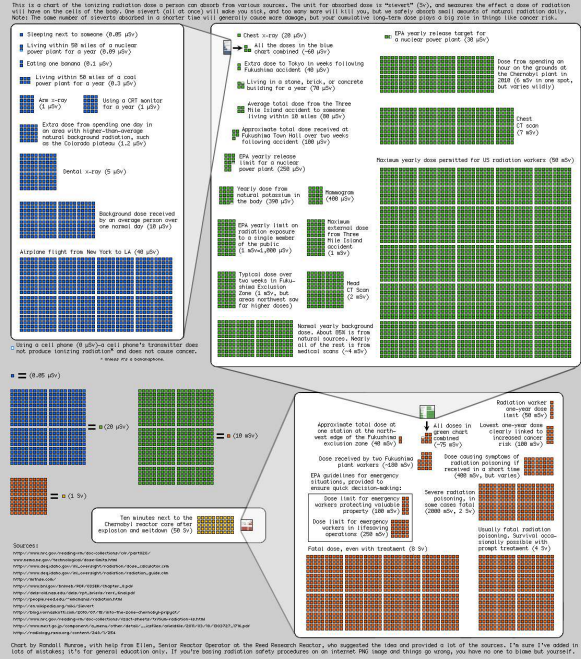
# Természetes + mesterséges sugárterhelés

Japán: 2014. szeptember 25-október 18.

BUD-HEL-KIX, Fukushima Daiichi üzemlátogatás (~4 óra)



# Radiation Dose Chart



<http://xkcd.com/radiation/>

# Mesterséges sugárterhelés

Mesterséges eredetű sugárterhelésünk az összesnek kevesebb, mint 15 %-a.

A mesterséges sugárterhelés 97%-a orvosi eredetű.

Az atomreaktorok működése az összes terhelésnek kevesebb, mint 0,01 %-át adja, kevesebbet, mint a világítós számlapú órák.



## 1. táblázat: Néhány példa a természetes és mesterséges sugárforrásoktól származó sugárterhelési szintekre

Forrás vagy gyakorlat	Egyéni dózisos, mSv	
	Általános, évi „per caput”	Eseti
Természetes háttér	3,1	1,0–5
Orvosi diagnosztika	0,4–1	0,1–10
Foglalkozás körében	0,002	0,5–5
Nukleáris energia felhasználás	0,0002	–
Csernobili baleset következménye a hazai lakosságra	–	0,1–0,3
Nukleáris fegyverkísérletek	0,01	–

Kóteles György: Sugáregészségtan, MEDICINA, 2002, ISBN: 9632427726

# A sugárzás egészségügyi hatásai

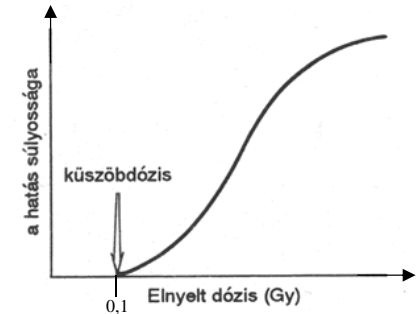


## A radioaktív sugárzások egészségügyi hatásai

- Determinisztikus hatások: a sugárterhelést követően rövid időn belül, kimutathatóan annak hatására következnek be
- Sztochasztikus hatások: jóval hosszabb időskálán, csak statisztikailag kimutatható hatások
  - egyes rákos megbetegedések kockázatának növekedése
  - utódoknál genetikai rendellenesség valószínűségének növekedése

## A radioaktív sugárzások egészségügyi hatásai

- Determinisztikus hatások jellemzői:
  - adott küszöbdózis felett mindenképp jelentkeznek, az alatt egyáltalán nem
  - a hatás súlyossága nő a dózissal
  - Fontosabb küszöbdózisok:
    - 0,1 Gy: lymphocita-szám
    - 1,0 Gy: általános tünetek; hányás, hasmenés
    - 3-10 Gy: többi szerv sérülése



## A radioaktív sugárzások egészségügyi hatásai



## A radioaktív sugárzások egészségügyi hatásai

- Determinisztikus hatások: lokális sugársérülés ill. sugárbetegség.
- Lokális sugársérülés:
  - csak egyes szerveket, illetve testrészeket ér nagy besugárzás;
  - a sugársérülés mindig determinisztikus hatás következménye;
  - tünetek például: a fehérvérsejtek számának csökkenése, bőrpír, átmeneti, vagy maradandó sterilítás, a szőrzet hullása;
  - a különböző szövetek "sugárállósága" nagyon eltérő: sérülékenyebbek a gyorsan osztódó és a nagymértékben differenciált sejtekből álló szövetek (nyirokszövet, a csontvelő, a bélhám és az ivarsejtek), ellenállóbbak az érzékszervek, az ideg és izomszövet, a bőr és a csont.

# A radioaktív sugárzások egészségügyi hatásai

- Sugárbetegség
  - 1000 mGy-nél nagyobb egésztest-dózis esetén
  - kizárólag determinisztikus hatás következménye.
  - A heveny sugárbetegség négy szakaszra osztható:
    - Kezdeti szakasz: néhány óra múlva hányinger, étvágytalanság, émelygés, fejfájás, rossz közérzet, esetleg hasmenés vagy láz.
    - Lappangási szakasz: a tünetek enyhülnek, a sérült jól érzi magát. Minél nagyobb a dózis, annál rövidebb ez a szakasz.
    - Kritikus szakasz: A kezdeti tünetek súlyosabb formája, pontszerű bőrbevérvések, véres széklet, az immunrendszer sérülése miatt fertőzések lépnek fel. A 3-6. hét a legkritikusabb.
    - Lábadozási szakasz: a felépülés hónapokig is elnyúlhat.

# A radioaktív sugárzások egészségügyi hatásai

- Sugárbetegség
  - **Halálos dózis:** 8 Gy. Ekkora dózis esetén a betegek szinte minden esetben elhaláloztak.
  - A 4-5 Gy dózist elszenvedők - orvosi ellátás nélkül - fele marad életben. Ezt az értéket hívjuk **félhalálos dózissnak**. (Orvosi kezeléssel a túlélés esélye megnövelhető.)
- Nagy számú sugárbetegség a történelemben:
  - Hiroshima és Nagaszaki: mintegy százezer ember,
  - 1986-ban Csernobilban 237 fő (ebből 28, max 50 halott).
  - 1987-ben Brazíliában 20 eset (ebből 4 halott).

## Radiológiai balesetek

Néhány eset az elmúlt évtizedek radiológiai balesetei közül

- Goiânia, Brazília, 1987: 4 halott, orvosi besugárzó berendezés
- San Salvador, El Salvador, 1989: 1 halott, ipari mozgó forrás javításakor
- Tammiku, Észtország, 1994: 1 halott, ellopott Cs-137 forrás
- Isztambul, Törökország, 1998: 2 Co-60 forrás fémhulladékként egy roncsstelepre került
- Fleurus, Belgium, 2006: 1 fő, 4 Gy, ipari besugárzó berendezés Co-60 forrással

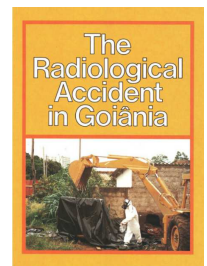
Ok: sugárforrások ellenőrizetlen hátrahagyása, hiányos vagy rosszul működő állami intézményrendszer, alacsony képzettség, alapvető szabályok súlyos megszegése

**A társadalmi előnyök miatt szükség van ezen technikákra, de a biztonsági kérdések kiemelten kezelendők.**



## Radiológiai baleset Goiâniaiban: előzmények

- 1985 végén egy magán radiológiai klinika új épületekbe költözik, egy régi besugárzó berendezést a régi épületben felejtnek:
  - Izotóp Cs-137 (felezési idő: 30 év)
  - Aktivitás : 50,9 TBq (a balesetkor)
  - Kémiai forma: CsCl por
  - Tömeg 93 g (CsCl); 19,3 g (Cs-137)
- Az engedélyező hatóságot nem értesítik.
- A régi épületeket részlegesen lerombolják.
- 1987. szeptember 13-án két ember behatol az elhagyott épületbe.
- Kiszerelelik a forrást a terápiás besugárzó berendezésből.
- Haza viszik és megpróbálják szétszerelni.
- A próbálkozások során a céziumot tartalmazó kapszula felnyílik.
- Rizsszem méretű darabokat osztogatnak szét az ismerősöknek és rokonoknak a kéken világító anyagból.
- A berendezés maradványát eladják egy roncsstelepen.



## Radiológiai baleset Goiâniában: intézkedések

- Napokon belül megjelennek az érintetteken a sugárbetegség klasszikus tünetei (émelygés, hányás, hasmenés).
- Kezdetben valamiféle trópusi betegségre gyanakodnak az orvosok.
- Az egyik páciens beviszi a törött kapszula darabjait az orvosához.
- A páciensek égési sérüléshez hasonlító sebei miatt elkezdnek radiológiai balesetre gyanakodni.
- A radiológiai baleset ténye egy nappal később (szeptember 29.) válik bizonyossá, amikor egy **ismerős radiológus** egy bányászati cégtől **kölcsönként detektorral** méréseket végez.
- Lakosság szennyezettség-mérése, Érintett személyek dekontaminálása, Sugárbetegek orvosi kezelése, Szennyezett területek felderítése és elzárása, Ha lehetséges, szennyeződött épületek, járművek dekontaminálása

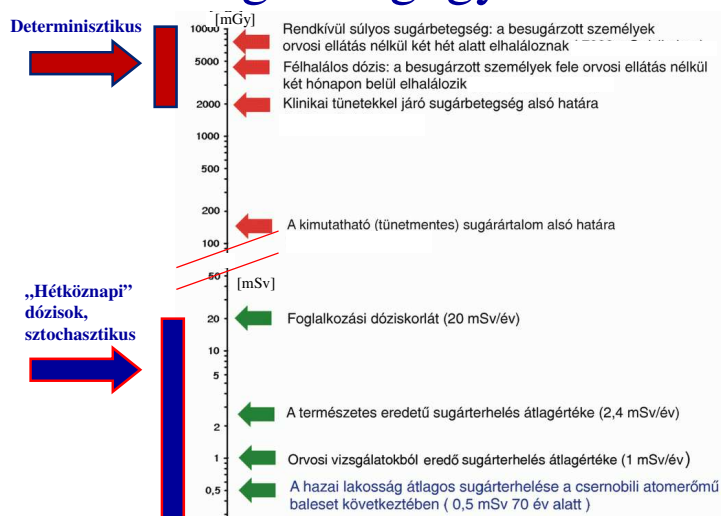


## Radiológiai baleset Goiâniában: statisztikák

- Ellenőrzött személyek száma 112 800 fő
- Szennyeződött személyek száma 271 fő
  - Szennyeződött ruházat 120 fő
  - Belső és külső szennyeződés 151 fő
- „Égési” sérülések 28 fő
- Kórházi kezelésre szorult 20 fő
- Csontvelő elégtelenség 14 fő
- Akut sugárbetegség 8 fő
- Elhalálozás 4 fő
- Nagy mennyiségű radioaktív hulladék (3500 m<sup>3</sup>)
- Számottevő gazdasági kár
- Komoly pszichés megterhelés a lakosságnak



## A radioaktív sugárzások egészségügyi hatásai



## A radioaktív sugárzások egészségügyi hatásai

- Sztochasztikus hatások
  - valószínűségi, küszöbdózisok nélküli hatás
  - az elnyelt dózissal arányos a változás bekövetkezésének a valószínűsége, súlyossága nem.
  - A változások esetleg évtizedek múltán várhatók a sugárterheltekben, vagy ezek utódaiban.
  - Kis dózisekre nem ismerjük

**Merekség: 5% / Sv**



## A radioaktív sugárzások egészségügyi hatásai

- Sztochasztikus hatások
  - a sztochasztikus hatásként megmutatkozó betegségek nem speciálisak, sugárterhelés nélkül is előfordulnak, legfeljebb kisebb gyakorisággal! (Mo.: évente 33 000 daganatos elhalálozás, örökletes betegségek aránya 10,5%)
  - Egy daganatos megbetegedésről még a kapott dózis ismeretében sem bizonyítható be, hogy a sugárzás az egyetlen kiváltó ok! (Ld. „csernobili kamionsofőrök”)

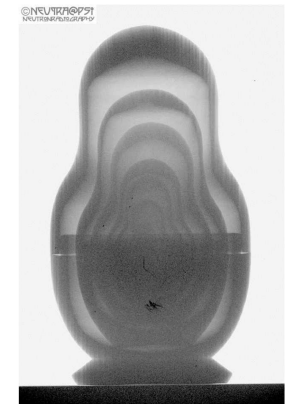
## Halálozási statisztikák Magyarországon (2001)

Halálozás a 2001. év során:	132 183
Ebből daganatok miatt:	33 757
hörgő, légcső, tüdő	7 902
vastagbél	3 014
emlő	2 342
gyomor	2 166
végbél	1 838
ajak, szájüreg, garat	1 737
prosztatata	1 372
fehérvérűség	1 104
csont, kötőszövet, bőr	894
Keringési betegség miatt:	67 423
Öngyilkosság miatt:	3 979
Közlekedési baleset miatt:	1 352

## A nukleáris technika nem energetikai alkalmazása

## Nukleáris technika a mindennapi gyakorlatban

- Ipar
  - Építőipar
  - Élelmiszeripar
  - Mezőgazdaság
- Orvostudomány
  - Sterilizálás
  - Diagnosztika és terápia
- Kutatás
  - Régészet
  - Művészettörténet
- Egyéb alkalmazások



## Ipar



- Füstjelzőkben,
- vastagságmérésre,
- sűrűségmérésre,
- folyadékok vízszintjének mérésére,
- hegesztési varratok vizsgálatához.



## Mezőgazdaság

A mezőgazdaságban radioaktív sugárforrásokat alkalmaznak például:

- a burgonya csírázásának megakadályozására,
- különböző növények genetikai módosítására, hogy ellenállóbb és jobban termő egyedeket tenyészsenek ki.



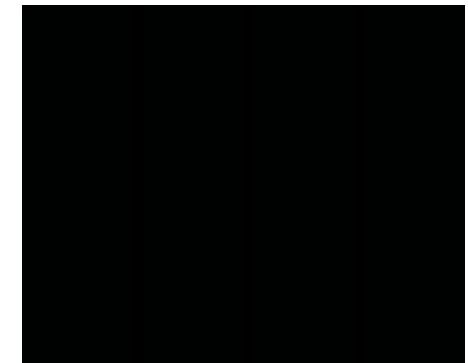
## Élelmiszeripar

- Mikroorganizmusok elpusztítása, csírázásgátlás többnyire Co-60 forrással ( $\gamma$ -sugárzó)
- nyers zöldségek, gyümölcsök, hús, fűszerek (Magyarországon 700 t/év), parafadugók
- a burgonya csírázásának megakadályozása
- 1993: 50 élelmiszer-besugárzó állomás a világon, évente 500 000 tonna besugárzott élelmiszer
- A világon elsőként Magyarországon importáltak és értékesítettek besugárzott élelmiszert (vöröshagymát) 1986-ban



## Mezőgazdasági és ipari besugárzók

- A besugárzandó termékeket nagy méretű dobozokba gyűjtve viszik be a besugárzó helyiségbe.
- A dobozokat automatikus szállítórendszer mozgatja a központi forrástartó állvány körül.
- A forrástartó állvány általában rúd alakú Co-60 forrásokat tartalmaz ("ceruzák")
- Nagy mennyiségben történik így egyszer használatos orvosi eszközök sterilizálása



## Járvány megelőzés

Kártevő rovarok irtása: sugárzással sterilizált egyedeket engednek ki a természetbe, így mérséklik a populáció szaporodását.

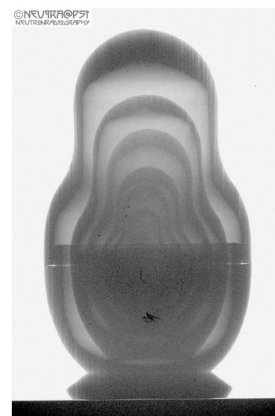
Ezzel a módszerrel:

- gyakorlatilag kiirtották a trópusi gyümölcs-szállítmányokat tönkretévő gyümölcslegyeket,
- néhány afrikai országból már teljesen kiirtották az évente több millió ember halálát okozó maláriát terjesztő maláriaszúnyogokat.

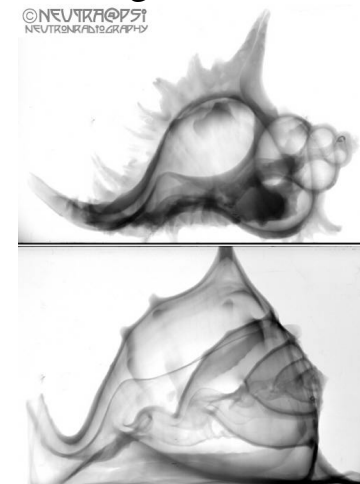


## Képképző eljárások

- Főként röntgen-, gamma- és neutronsugárzás
- Alkalmazási területek:



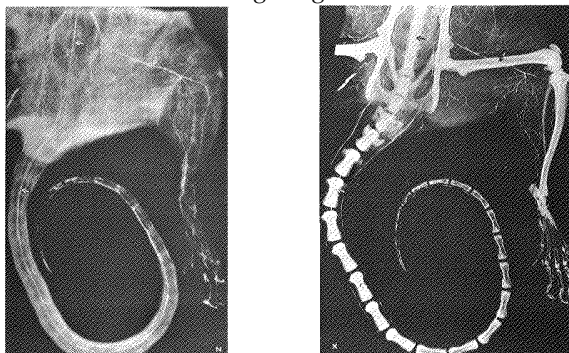
- orvosi diagnosztika
- ipar
- régészet
- robbanószerkezetek keresése
- stb.



## Képképző eljárások

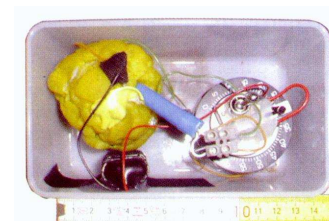
- Példa: orvosi alkalmazások

*Patkány képe neutron- (balra) és röntgen-sugárzás (jobbra) segítségével*

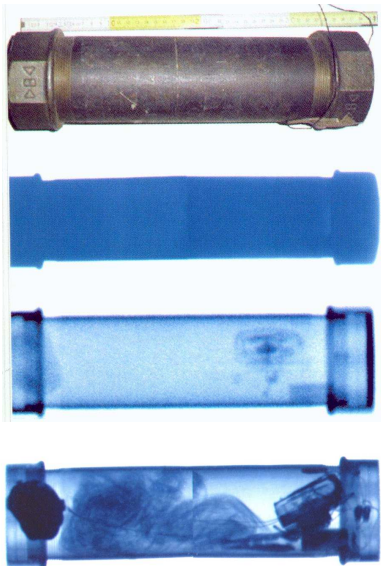


## Képképző eljárások

- Robbanószerkezetek vizsgálata - a különböző sugárzások alkalmazhatósága
- Röntgen (középső): fémek nagyon élesen látszanak, de a műanyagok nem
- neutron (alul): kevésbé anyagspecifikus, de nem annyira érzékeny



## Képalkotó eljárások



- A „mű-csőbomba” hagyományos fényképe
- A bomba képe egy hordozható röntgen-forrással
- A bomba képe egy Co-60 forrással
- A bomba képe termikus neutronok segítségével

## Nukleáris technika az orvostudományban

- Diagnosztika
  - Nyomjelzés
  - Képalkotó berendezések
  - Laboratóriumi vizsgálatok
  - Hazánkban összesen 120 ezer vizsgálat évente
- Terápia
  - Besugárzó berendezések
  - Radiogyógyszerek
- Sterilizálás



## Izotópos nyomjelzés

- Elvét Hevesy György dolgozta ki (1943 kémiai Nobel-díj)
- Elv: a kémiai és biológiai folyamatok nem tudnak különbséget tenni adott elem radioaktív és stabil izotópjá között
- Módszer: a vizsgálandó elem radioaktív izotópját juttatjuk a szervezetbe, és ennek útját vizsgáljuk detektorral



## Izotópos nyomjelzés

- I-131 : Pajzsmirigy-működés vizsgálata
- Tc-99:
  - vesevizsgálatok,
  - vérkeringés vizsgálata,
  - máj vizsgálata,
  - csontszcintigráfia.



Csontok nyomjelzése Tc-99m-mel

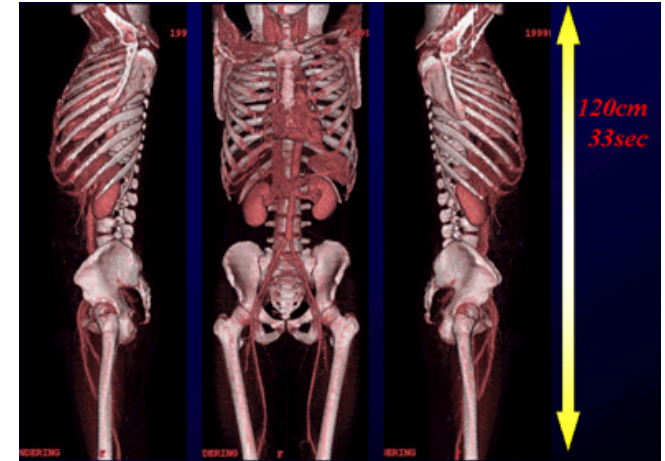
# CT - Computed Tomography

- 3D képalkotó eljárások
- A különböző pozíciókból felvett képekből számítógéppel készítenek 3D ábrákat
- Többféle sugárzás használható (főként röntgen, gamma, neutron)
- A vizsgálandó anyag határozza meg, melyik sugárzás használata célszerű

# CT - Computed Tomography

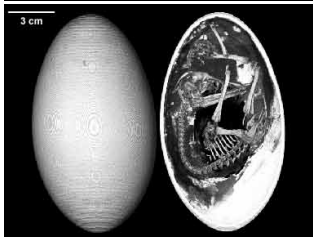
- Orvosi CT-alkalmazások:

- röntgen
- PET
- gamma



# CT - Computed Tomography

- Régészeti CT-alkalmazások
  - paleontológia (kövületek vizsgálata)
  - roncsolásmentes vizsgálatok (ld. felül: középkori fa ereklyetartó csontokkal)



Emu tojás

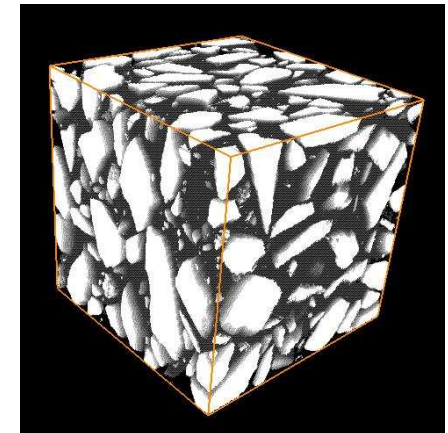


CT felvételek

# CT - Computed Tomography

- Ipari CT-alkalmazások:

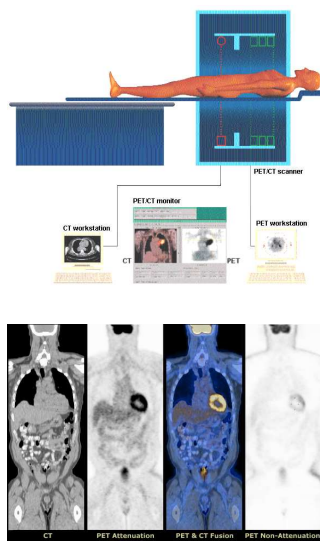
- hegesztések, varratok vizsgálata
- roncsolásmentes vizsgálatok (pl. alkatrészek)
- anyagvizsgálat (ld. ábra: betontömb CT-képe)





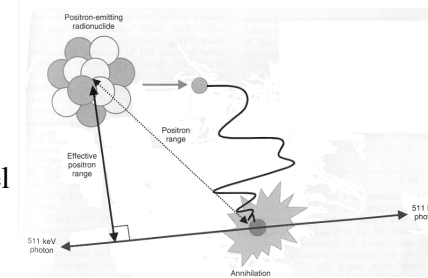
## CT (Computed Tomography)

- Az izotóppal nyomjelzett szervről különböző irányokból készítenek felvételt
- A kapott eredményekből a számítógép kiszámítja az átvilágított testrész eredeti 3D képét



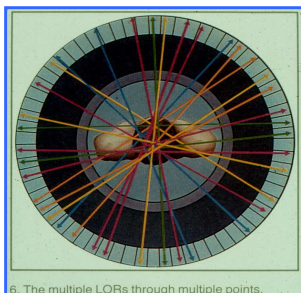
## Pozitron-emissziós tomográf (PET)

- Elv:
  - pozitron-sugárzó izotópot juttatnak a vizsgálandó szövetbe (C-11, N-13, O-15, **F-18**, Ga-68)
  - A pozitron annihilációjakor két 511 keV-es  $\gamma$ -foton keletkezik, ezeket detektálják
  - A detektorok körben helyezkednek el, így nemcsak az izotóp mennyiségét, hanem az annihiláció helyét is tudják mérni, ebből megfelelő szoftverrel 3D kép rekonstruálható

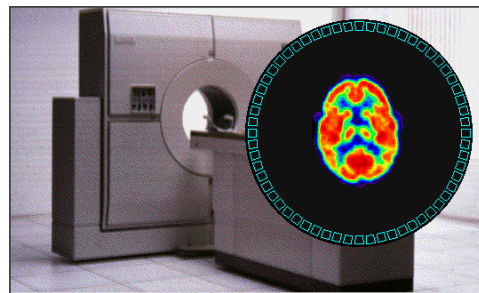


## Pozitron-emissziós tomográf (PET)

- Részecskegyorsító (tipikusan ciklotron) szükséges a pozitron-sugárzó izotópok előállításához (Mo.: 2)
- Összesen 9 gép (orvosi): Debrecen: 2, Bp: 3, Kecskemét, Szeged, Pécs, Kaposvár: 1-1
- Az ENSZ ajánlásai szerint 1 millió lakosra kellene jutnia egy ilyen eszköznek

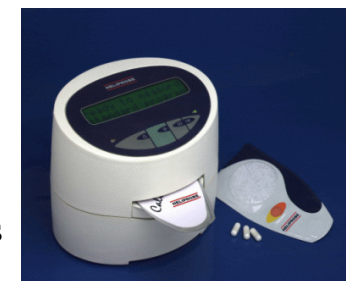


8. The multiple LORs through multiple points.



## $^{14}\text{C}$ -kapszula Helicobacter fertőzés kimutatására

- A Helicobacter pylori fertőzés felelős a gyomor- és nyombélfekélyek többségéért
- A páciens  $^{14}\text{C}$ -tartalmú kapszulát vesz be. Ha a baktérium a gyomorban jelen van, akkor az a kapszula tartalmát lebontja.
- A bomlástermék 10 perc múlva a tüdőben kiválasztódik.
- Ekkor a páciens egy kis tasakba (légzési kártya) fújja ki a levegőt, amit a mérőkészülékbe helyeznek és megméri a  $^{14}\text{C}$  aktivitást.
- Magyarországon évi 20 000 vizsgálat!



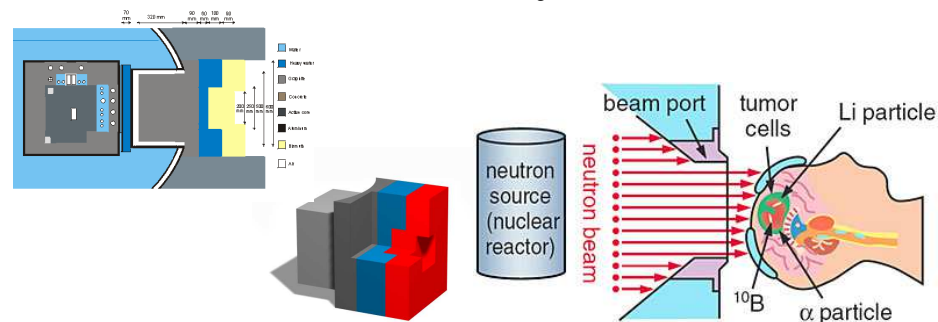
## Sugárterápia

- Daganatos sejtek, szövetek elpusztítása radioaktív sugárzással
- Nehézség: egészséges szövetek megóvása
- Besugárzás lehetséges:
  - röntgen-,
  - gamma-,
  - proton-,
  - neutron-sugárzás segítségével



## BNCT – Bór neutronbefogásos rákterápia

- Közvetlenül a daganatban keltenek  $\alpha$ -sugárzást
- A daganatos szövetben bórt halmoznak fel
- Ezt neutronokkal sugározzák be (reaktor!)
- $^{10}\text{B} + n \rightarrow ^7\text{Li} + ^4\text{He}$  reakcióból  $\alpha$ -sugárzás keletkezik
- Kísérleti stádiumban van az eljárás



## Radiógyógyszerek

- Daganatos szövetek kezelése
  - Elv: a sugárzó anyagot közvetlenül a kezelendő területre juttatjuk
  - $^{131}\text{I}$ : Pajzsmirigy terápia, neuroendokrin tumorok terápia
  - Speciális ízületi sejtburjánzások kezelése
- Fájdalomcsillapítás
  - $^{90}\text{Y}$  és  $^{153}\text{Sm}$  ( $\beta$ -sugárzók): csontfájdalmak csillapítására csont metastázis esetén (csonttáttét az emlő-, a prosztata- és a tüdőrákos esetek 80%-ánál)

## Régészet - Neutron Aktivációs Analízis

- A radioaktív anyagok nagyon kis mennyiségben is kimutathatók.
- Radioaktív sugárzások segítségével stabil atommagok is radioaktívvá tehetőek, így a lelet összetétele pontosan meghatározható.



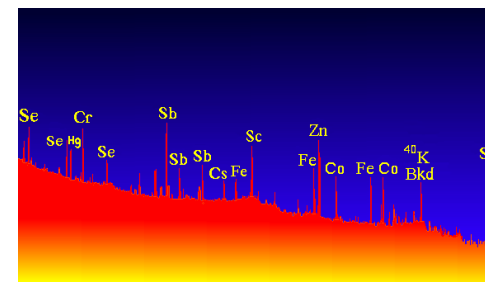
## Régészet - Neutron Aktivációs Analízis

- Régészeti leletek eredetvizsgálata:
  - A legcélravezetőbb vizsgálati módszer: a kémiai összetétel meghatározása
  - Minden kerámiatárgy speciális, a készítés helyére jellemző „kémiai ujjlenyomatot” visel, amelyet a nyersanyag tulajdonságai és az adott műhelytechnika együttesen alakítja ki. Az „ujjlenyomat” meghatározói főként a nyomelemek.
  - Olyan módszerre van szükség, amely:
    - sokelemes
    - érzékeny
    - roncsolásmentes
    - átfogó képet ad a periódusos rendszerről
    - sorozatvizsgálatra alkalmas

**Neutron  
Aktivációs  
Analízis**

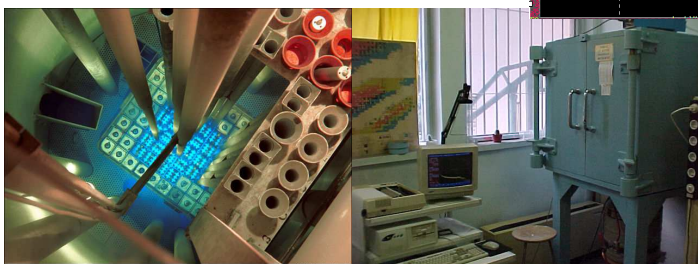
## Régészet - Neutron Aktivációs Analízis

- Roncsolásmentes nyomelem-analitikai eljárás 35-40 elem meghatározására, ppm, ppb tartományban.
- A módszer elve:
  - a mintát neutron-besugárzásnak tesszük ki, majd a keletkező radioizotópok gamma emisszióját mérjük
- Előnyei:
  - sokelemes
  - érzékeny
  - roncsolásmentes
  - a minta-előkészítés egyszerű és gyors
  - mátrixhatás nincs
  - automatizálható



## Régészet - Neutron Aktivációs Analízis

1. Mintavétel (kb. 50mg porminta)
2. Mintaelőkészítés (tömegmérés, tokozás)
3. Besugárzás
4. Gamma spektrometriás mérés
5. Koncentráció számítás



100 kW teljesítmény  
 $\Phi_{th} : 2 * 10^{12} \text{ ncm}^{-2}\text{s}^{-1}$   
8 órás besugárzás

## Régészet - Neutron Aktivációs Analízis

- Példák:
  - A rómaiak porcelánja a Terra sigillata
  - Dörzstálak a gázgyári római fazekastelepről és Aquincum polgárvárosából
  - Korai kelta pecsételt kerámiák a Keleti Alpok előterében: műhelytevékenység és kereskedelem



## Régészet - NAA



- Példa: a holt-tengeri tekercsek tartóedényének vizsgálata a BME Oktatóreaktorában
- A pusztába kivonult aszketikus népcsoport írta, másolta, használta a héber szentírás könyveit, más vallásos szövegeket, közösségi iratokat, majd a római légiók támadása elől menekülve azokat saját, helyi készítésű agyagkorsókba zárva a település környékén lévő barlangokba rejtették.
  - Igazolható ez? - A településhez tartoznak, de a korsók készítésének helye nem tisztázott.
  - Vajon minden kerámiatárgy helyben készült? - **NEM**
  - A település és a barlangok kerámiaanyaga megegyezik? - **IGEN**
  - Mennyire volt zárt a közösség, van-e tárgyi emlékegyéb más népekkel való kapcsolatnak? - **Még nem tudjuk.**



## Régészet - Neutron Aktivációs Analízis

- Példa: a koronázási palást egyes részeinek kormeghatározása



Hímzőfonalak összetétele:

	Palást	Keresztpánt	Gallér	Folt	Szegő	Bojt
Au%	97,6	99,4	88,7	98,4	10,5	2,9
Ag%	2,6	0,5	9,1	1,2	80,9	96,5
Cu%	0,4	0,04	2,1	0,4	4	0,3

- XI. századi** a palást, vele egykorú a keresztpánt és a javítás Szt. Lőrinc alakján
- XII. századi** a gallér
- XIX. században** került rá a paszománt és a bojt (aranyozott ezüst) (a kort művészettörténeti módszerekkel határozták meg).

## Régészet - Neutron Aktivációs Analízis

- Példa: a polgárdi tripus és a Seuso kincs kapcsolata
  - A tripus (1,15 m magas ezüst háromláb) a Seuso kincs tárgyaihoz hasonlóan nagytisztaságú ezüsből készült (~90%).
  - Az ötvöző- és nyomelemek minősége és mennyisége is igen hasonló.
  - A 14 Seuso tárgyat tartalmazó réz üstön talált talajmaradvány összetétele gyakorlatilag azonos a polgárdi pincében vett talajmintáéval.



2017-re a Seuso-kincsek összes darabját visszavásárolta Magyarország, összesen kb 13 milliárd Ft-ért  
<http://tinyurl.com/y9aoz8gz>  
 Nemzeti Múzeum:  
<https://mnm.hu/hu/muzeum/hirek/hazatert-seuso-kincs>



## Régészet - művészettörténet

- Festmények eredetiségének vizsgálata (pl. Vermeer-hamisítvány leleplezése: ólomizotóp-arányának meghatározása).
- Festmények, szobrok, múmiák sterilizálása, baktériumok, kártevők kiirtása.
- Szabad szemmel nem látható részletek vizsgálata (átfestett részek vizsgálata aktivációval stb.).



## Régészet - művészettörténet

Jan Vermeer: A gyöngysor  
(Nő gyöngysorral)



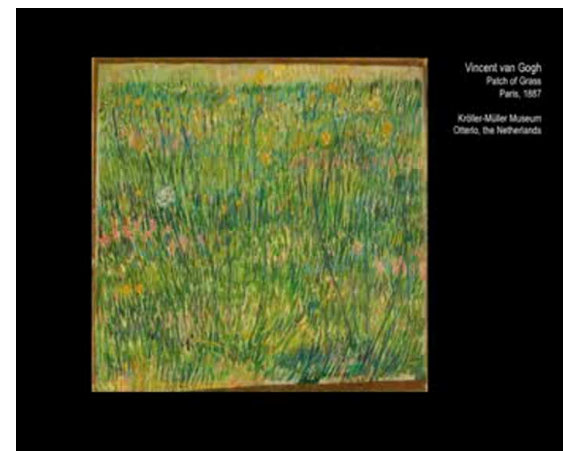
Fenntartható fejlődés és atomenergia

Yamaji Bogdán, BME NTI

81

## Régészet - művészettörténet

Van Gogh: Patch of Grass



Joris Dik et al.: Visualization of a Lost Painting by Vincent van Gogh Using Synchrotron Radiation Based X-ray Fluorescence Elemental Mapping; Anal. Chem. 2008, 80, 6436–6442

[http://hasylab.desy.de/news\\_events/research\\_highlights/archive/visualizing\\_a\\_lost\\_painting\\_by\\_vincent\\_van\\_gogh/index\\_eng.html](http://hasylab.desy.de/news_events/research_highlights/archive/visualizing_a_lost_painting_by_vincent_van_gogh/index_eng.html)

Fenntartható fejlődés és atomenergia

Yamaji Bogdán, BME NTI

82

## Főbb ellenőrző kérdések

1. Az izotóp fogalma
2. Radioaktív sugárzások fajtái (alfa, béta, gamma)
3. Az exponenciális bomlástörvény, bomlási állandó, felezési idő, aktivitás
4. Dózisfogalmak
5. A természetes eredetű sugárterhelés összetétele, mértéke
6. Természetes eredetű sugárterhelés forrásai: radon
7. Természetes eredetű sugárterhelés forrásai: kozmikus eredetű sugárzások
8. A mesterséges eredetű sugárterhelés összetétele, mértéke
9. A radioaktív sugárzások determinisztikus hatásai, a hatások jellemzői, a dózis-hatás görbe
10. A lokális sugársérülés és a sugárbetegség ismertetése
11. A halálos és félhalálos dózis
12. A goiániai radiológiai baleset részletei
13. A radioaktív sugárzások sztochasztikus hatásai, a hatások jellemzői, a dózis-hatás görbe
14. Radioaktív sugárzások alkalmazása az iparban, mezőgazdaságban, élelmiszeriparban
15. Ipari és mezőgazdasági besugárzók
16. A sugárzás alkalmazása a járvány megelőzésben

Fenntartható fejlődés és atomenergia

Yamaji Bogdán, BME NTI

83

## Főbb ellenőrző kérdések

17. Képkalkáló eljárások alkalmazása
18. Izotópos nyomjelzés
19. Computed tomography – orvosi, régészeti, ipari alkalmazások
20. Pozitron-emissziós tomográfia
21. C-14 orvosi alkalmazása, a Helicobacter fertőzés kimutatása
22. Sugárterápia
23. BNCT módszer elve
24. Radiógyógyszerek alkalmazási példái
25. Neutron aktivációs analízis elve
26. Neutron aktivációs analízis régészeti alkalmazása

Fenntartható fejlődés és atomenergia

Yamaji Bogdán, BME NTI

84