

ÉRZÉKELŐK

Dr. Pődör Bálint

Óbudai Egyetem KVK Mikroelektronikai és Technológia Intézet

13. ELŐADÁS: SUGÁRZÁSÉRZÉKELŐK I



2010/2011 tanév 2. félév 1

1

13. ELŐADÁS: SUGÁRZÁSOK ÉS SUGÁRZÁSÉRZÉKELŐK I

1. Sugárzások általános ismertetése, radiaktivitás
2. A nukleáris és nagyenergiájú (ionizáló) sugárzások fajtái (α -, β -, neutron-, proton-, Röntgen- és γ -sugárzás).
3. Sugárzási intenzitás és besugárzás (dózis) mértékegységei.
4. Az (ionizáló) sugárzás (biológiai és élettani) hatásai.

2

2

<p>1896 – the birth of nuclear physics Becquerel discovered radioactivity in uranium compounds Rutherford showed the radiation had three types Alpha (He nucleus) Beta (electrons) Gamma (high-energy photons)</p> <p>1911 – Rutherford, Geiger and Marsden performed scattering experiments Established the point mass nature of the nucleus <i>Nuclear force</i> was a new type of force</p> <p>1919 – Rutherford and coworkers first observed nuclear reactions in which naturally occurring alpha particles bombarded nitrogen nuclei to produce oxygen</p> <p>1932 – Cockcroft and Walton first used artificially accelerated protons to produce nuclear reactions</p> <p>1932 – Chadwick discovered the neutron 1933 – the Curies discovered artificial radioactivity 1938 – Hahn and Strassman discovered nuclear fission 1942 – Fermi achieved the first controlled nuclear fission reactor</p>

SUGÁRZÁSOK FAJTÁI

A sugárzásérzékelők elektromos jelle alakítják át a rájuk beeső sugárzást, mely jel adatgyűjtés, adatfeldolgozás és adattárolás céljaira felhasználható.

Egy érzékelő kimenetén csak akkor jelenik meg kimenőjel, ha kölcsönhatás jön létre az érzékelő anyaga és az érzékelendő mennyiség között.

Ezért célszerű áttekinteni a sugárzások fajtáit és azok hatásait, tovább a detektoranyagok, elsősorban a félvezetők és a különféle sugárzások kölcsönhatásait.

4

4

SUGÁRZÁSOK FAJTÁI

Sugárzások csoportosítása:

elektromágneses (EM) sugárzás,
neutronok,
(gyors) elektronok (és pozitronok!),
töltött nehéz részecskék.

Az elektromágneses sugárzás (fotonok) és a neutronok semlegesek, nem szállítanak töltést, a (gyors) elektronok és a töltött nehéz részecskék töltéssel rendelkeznek, így töltést szállítanak.

5

5

SUGÁRZÁSOK FAJTÁI

Egy, némileg különböző csoportosítás:

Részecske- (korpuzkuláris) sugárzás: elektronok, protonok, neutronok, (ionizált) atomok.

Elektromágneses sugárzás: rádió (RF)- mikro- és mm-es hullámok, fény (infravörös (IR), látható, ultraibolya (UV)), Röntgen-sugárzás (lágy és kemény), γ -sugárzás.

Radioaktív sugárzás: a radioaktív bomlás során az atommagból kilépő sugárzás.

Mindenfajta sugárzás atomi vagy nukleáris folyamatokban keletkezik, és többnyire hasonló módszerek és technikák alkalmazhatók detektálásukra és érzékelésükre.

6

6

RADIOAKTÍV SUGÁRZÁS

A radioaktív sugárzások instabil atommagok bomlásakor keletkeznek.

α -sugarak: néhány MeV energiájú kétszeres töltésű 4He atommagok (két proton és két neutron).

β -sugarak: keV-MeV energiájú elektronok elektronok illetve pozitronok.

γ -sugarak: keV-MeV energiájú fotonok ($1 - 0,001 \text{ nm}$).

neutron-sugarak: nagyobb rendszámú elemek hasadásakor (tipikusan atomreaktor vagy atombomba).

7

7

RADIOAKTIVITÁS FELFEDEZÉSE

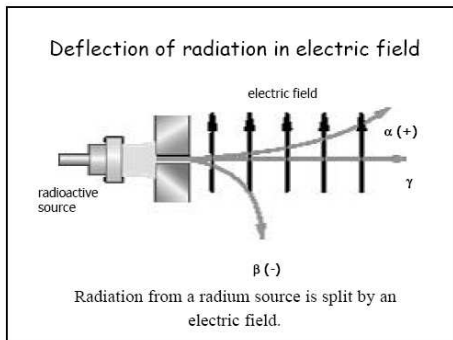


Antoine Becquerel
1903 Nobel Prize in Physics
for discovering radioactivity

Image of Becquerel's photographic plate which has been fogged by exposure to radiation from a uranium salt. The shadow of a metal Maltre Cross placed between the plate and the uranium salt is clearly visible. (1896)

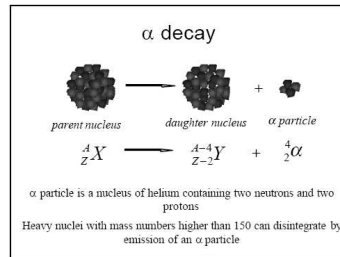
8

RADIOAKTÍV SUGÁRZÁSOK FAJTÁI



9

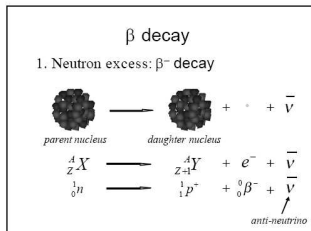
ALFA-BOMLÁS ÉS SUGÁRZÁS



α -sugarak: néhány MeV energiájú kétszeres töltésű ${}^4\text{He}$ atommagok (két proton és két neutron). Hatótávolsága levegőben kb. 4 cm. Csekély áthatolóképeség, már egy papírlap is felfogja, illetve leárnyékolja.

10

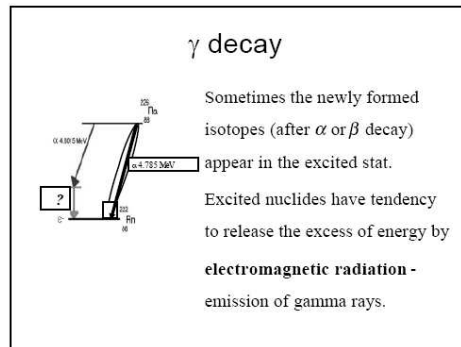
BETA-BOMLÁS ÉS SUGÁRZÁS



β -sugarak: keV-MeV energiájú elektronok elektronok illetve pozitronok. Hatótávolsága lényegesen nagyobb (mint az α -é) könnyű elemekből álló közegben (pl. testszövet). Nehéz elemekből álló anyagban (vas, ólom) csak néhány mm. Alumínium lemez felfogja illetve, leárnyékolja.

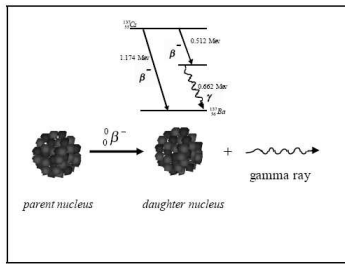
11

GAMMA-BOMLÁS ÉS SUGÁRZÁS



12

GAMMA-BOMLÁS ÉS SUGÁRZÁS

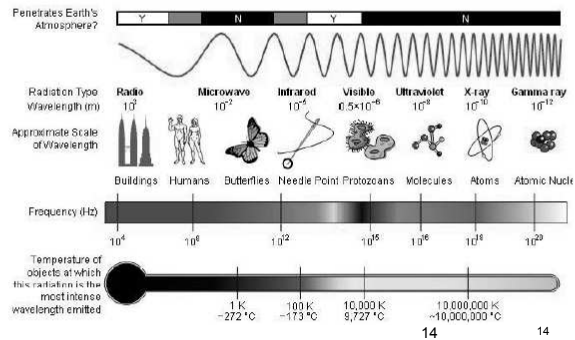


γ -sugarak: keV-MeV energiájú fotonok (EM sugárzás
 $\lambda = 1 - 0,001 \text{ nm}$).

Mivel semleges, gyengén lép a közeggel kölcsönhatásba, hatótávolsága nagy. Pl. betonfaln is áthatol.

13

EM SPEKTRUM (EMLÉKEZTETŐ)



14

NEUTRON SUGÁRZÁS

neutron-sugarak: nagyobb rendszámú elemek hasadásakor keletkezik (tipikusan atomreaktor vagy atombomba).

Energiatartomány igen széles,
 néhány 10 meV (termikus neutronok),
 néhány MeV (magreakciók),
 néhány 10 MeV (részecskegyorsítók).

15

15

SUGÁRZÁSOK ENERGIATARTOMÁNYA

Az atommagokban az egy nukleonra eső átlagos kötési energia 5-8 MeV, ez korlátozza a radioaktív bomlásnál kilépő, illetve a magreakcióknál keletkező sugárzások energiáját. A kozmikus sugárzásban lényegesen nagyobb energiájú részecskék és γ -fotonok is vannak.

16

16

SUGÁRZÁSMÉRÉS, MÉRTÉKEGYSÉGEK

1. A sugárzás forrására vonatkozó mértékegységek.
2. A sugárzás elnyelésére (dózis) vonatkozó mértékegységek.

SI és tradicionális (ma már nem szabványos) mértékegységek egyaránt használatosak.

17

17

AKTIVITÁS

Egy sugárforrás erősségét az *aktivitás* jellemzi, ez az egységnyi idő (1 sec) alatt lejátszódó bomlások száma, SI egysége a *becquerel* (Bq), (Henri Becquerel francia fizikus 1852-1908, a radioaktivitás felfedezője).

$$1 \text{ Bq} = 1 \text{ bomlás/sec.}$$

Régi egysége a *curie* (Ci):

$$1 \text{ Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{ bomlás/sec} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Bq} = 37 \text{ GBq.}$$

A becquerel nagyon kis egység!

Fajlagos aktivitás (radiológiai koncentráció) Bq/m³ illetve Ci/lit vagy Ci/cm³.

18

18

RADIOAKTÍV BOMLÁSI TÖRVÉNY

A radioaktív bomlás törvénye (az aktivitás időbeli csökkenése)

$$a(t) = a_0 \exp(-\lambda t)$$

Felezési idő: a T_f felezési idő elteltével az aktivitás a kiindulási érték felére csökken.

$$T_f = \ln 2 / \lambda$$

Részecskeszámláló műszerrel való mérés esetén (η a berendezés számlálási határfoka):

$$1 \text{ Bq} = 60\eta^{-1} \text{ impulzus/min}$$

$$1 \text{ Ci} = 2.22 \times 10^{12} \eta^{-1} \text{ impulzus/mir}^9$$

19

RADIOAKTÍV BOMLÁSI TÖRVÉNY

Radioactive decay law

$$\text{Differential form } \frac{dN}{dt} = -\lambda N$$

λ : decay constant (measure: 1/s)
constant for a certain isotope

Activity depends both on the

- size of the population of radioactive atoms
- type of the isotope

20

RADIOAKTÍV BOMLÁSI TÖRVÉNY

$$\left| \frac{dN}{dt} \right| = -\lambda N$$

Solution of this equation yields

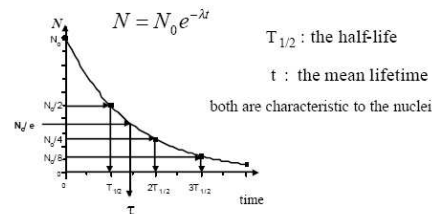
$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad \text{Integral form}$$

N_0 : number of radioactive nuclei at $t = 0$,
 N : the number radioactive of nuclei remaining after a period t

21

RADIOAKTÍV BOMLÁSI TÖRVÉNY

Graphical representation



22

FELEZÉSI IDŐ: PÉLDÁK

$^{137}\text{Cs}^{55}$ (γ -forrás):	33 év
$^{60}\text{Co}_{27}$ (γ -forrás):	5,27 év
$^{131}\text{I}_{53}$ ("kritikus" szennyező, felhalmozódik a pajzsmirigyben)	8,04 nap
$^{90}\text{Sr}_{38}$ ("kritikus" szennyező, beépül a csontba a Ca helyébe)	28,8 év
Ra (rádium)	1600 év
Pu(238,239,240,241 izotópok)	15 -25000 év

Jód, cézium, stroncium: mesterséges radioaktív izotópok, atomreaktor szivárgásánál v. balesetnél, illetve atombomba robbanás után a fő (és veszélyes) sugárzó izotópok (ld. Csernobil 1986 és Fukushima 2011).

23

23

GYÓGYÁSZATI IZOTÓPOK

Half-lives in medical uses

Iodine - 131 (^{131}I) - $T_{1/2} = 8 \text{ days}$
Thyroid treatment

Technetium-99m ($^{99\text{m}}\text{Tc}$) - $T_{1/2} = 6 \text{ hours}$
Isotope diagnostics

Gold-198 (^{198}Au) - $T_{1/2} = 2.7 \text{ days}$
Tumor therapy

24

AKTIVITÁS: TERMÉSZETES ÉS MESTERSÉGES KÖRNYEZET

Forrásvizek természetes rádióaktivitása: közepesen aktív források ($10\text{-}100 \times 10^{-10}$ Ci/lit (40-400 Bq/lit).

Magyarország legerősebb radioaktív forrása: Rudas fürdő, *Juventus-forrás*, fajlagos aktivitása kb. 56×10^{-10} Ci/lit (kb. 200 Bq/lit), rádium tartalma 245×10^{-7} mgr/lit.

C-szintű izotóp labor (hatósági szabályozás): 20 mCi (kb. $7,4 \times 10^8$ Bq azaz kb. 1GBq) aktivitás felett.

Gyógyászat: "kobaltágyú" $^{60}\text{Co}^{27}$ γ -forrás, 10-100 Ci (4×10^{11} - 4×10^{12} Bq) (igen erős védelem!)

25

25

Typical activities in the practice

kBq, natural background
MBq, *in vivo* diagnostics
GBq, laboratory practice
TBq therapy



AKTIVITÁS: CSERNOBILI KATASZTRÓFA ÉS ATOMKÍSÉRLETEK

Csernobil-katasztrófa: a kiszóródott radioaktív anyagok becsült teljes aktivitását 50 millió és 140 millió curie (2×10^{18} , illetve 5×10^{18} Bq) közé teszik.

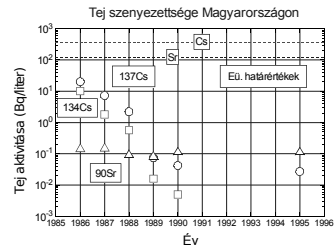
Szatmáry Zoltán és Aszódi Attila: *Csernobil: tények, okok, hiedelmek*, Typotex, Budapest, 2005 a NAÜ számára készített jelentésre hivatkozva 3×10^{18} Bq adatot közöl.

Egyéb összehasonlítások: A csernobili katasztrófában kibocsátott radioaktivitás kb. 400-szorosa volt a Hirosimára ledobott atombombáénak, ugyanakkor az 1950-1960-as években végzett magaslégköri atombomba-kísérletek 100-1000-szer több radioaktivitást szórtak szét a légkörben, mint a csernobili robbanás.

27

27

CSERNOBIL: MAGYAROSZÁG SZENYEZŐDÉSE: PÉLDA A TEJ



A tej I (jód) szennyezettsége kb. két hónap alatt gyakorlatilag megszűnt, azonban a Cs (cézium) több évig is megmaradt. Számottevő maradt még a Sr (stroncium) de ez jelentős részben még az atombomba-kísérletek maradványa.

28

FUKUSIMA: ELŐZETES

2011 március: 9-e magnitúdójú földrengés (epicentrum Sendai közelében) és szökőkár Japánban.

Fukusimai atomerőmű (4x1000 Mw, Tokyótól északra súlyosan megsérült (5-ös fokozatú baleset a 7-fokú skálán,).

Kb. 10 nappal-2 héttel a katasztrófa után Tokyóban és több más prefektúrában radioaktív jód és cézium az ivóvízben.

Legmagasabb értékek (Tocsigi prefektúra)

Radioaktív jód 77 Bq/lit (e.ü. határérték: max 300 Bq/lit)

Radioaktív cézium 1,6 Bq/lit (e.ü. határérték: max 200 Bq/lit)

29

29

FUKUSIMA KATASZTRÓFA



Fire at Fukushima Daiichi following earthquake and tsunami

The number 3 nuclear reactor of the Fukushima Daiichi nuclear plant is seen burning on this satellite image taken on 14 March 2011. Reactors 1-4 can be seen from bottom to top. Reactor 1 suffered an explosion on Saturday. Reactor 3 suffered a blast on Monday. (REUTERS)

30

FUKUSIMA

Governments around the globe are planning to review their nuclear programmes in light of the ongoing crisis at the Fukushima Daiichi nuclear-power plant. The situation follows the 8.9 magnitude earthquake (on the Richter scale) and subsequent tsunami that struck Japan last Friday, leaving thousands dead and causing significant damage to the nation's infrastructure. Today (*március 18, péntek*), Japanese authorities have upgraded the emergency at Fukushima from four to five on a seven-point scale, placing it on a par with 1979's Three Mile Island accident in the US.

31

31

FUKUSIMA

Early reports suggest that the emergency at Fukushima stemmed from a failure of cooling systems associated with the plant's six reactors. When the earthquake struck, damage to power supplies meant that cooling water could no longer be circulated within the reactor core, causing fuel rods to overheat and their metal casings to partially melt. This released chemicals that reacted with water vapour to produce hydrogen, which escaped and exploded, damaging the reactor buildings.

32

32

FUKUSIMA

As an emergency response, Japanese authorities drenched the reactor compound with seawater but there are still fears that further explosions could release dangerous levels of radioactive substances into the local environment. On Tuesday the UK government's chief scientific officer John Beddington responded to concerns that the Japanese authorities were unwilling to release information about the developing emergency. "What they're putting out is pretty comprehensive and it's going to the appropriate international organizations," he told the British embassy in Toyko. "In fact we are getting information through the international energy agencies and we do have pretty detailed knowledge of what these plants are like."

Forrás: PhysicsWorld, IOP, London, március 18 (péntek). 33

ELNYELT SUGÁRZÁS (DÓZIS) MÉRTÉKEGYSÉGEI

Az atomokkal való kölcsönhatás útján a sugárzások energiát adnak át annak a közegnek, amelyen áthaladnak. A közeg egységnyi tömegével közölt energia a *dózis*.

Elnyelt dózis: egységnyi tömegnek az ionizáló részecskék által átadott energia. Si egysége a *gray* (Gy) (L. H. Gray brit fizikus és radiológus, 1905-1965):

$$1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}$$

A gray nagy egység, inkább a törtrészeit használják, mGy, μ Gy, nGy.

34

34

DÓZISEGYENÉRTÉK

Az energiaátadás módja és mértéke függ a sugárzás fajtájától, emiatt a különböző sugárzások másképp hatnak az élő szervezetre. A neutronsugárzás például a sugárzásból elnyelt azonos dózis mellett jóval nagyobb szövetkárosodást idéz elő, mint a γ -sugárzás.

A Q.F. annak a mértéke, hogy az adott sugárzás hányszor nagyobb biológiai hatékonyságú, illetve hányszor nagyobb károsodást okoz, mint az alapul vett Röntgen- vagy γ -sugárzás.

35

35

DÓZISEGYENÉRTÉK

Dózisegyenérték: a sugárzás biológiai hatását jellemzi, az elnyelt dózison kívül függ a sugárzás fajtájától és a besugárzás körülményeitől, egysége a *sievert* (Sv) (Rolf Sievert svéd fizikus, 1896-1966):

$$1 \text{ Sv} = 1 \text{ J/kg}$$

$$H = QF \times D$$

dózisegyenérték (vagy biológiai dózis) = QF x elnyelt dózis

Sugárzások élettani hatására jellemző QF minőségi tényező (quality factor), a γ -sugárzás hatására vonatkoztatva.

36

36

ÉLETTANI HATÁS

Sugárzás fajtája	Q.F.
Röntgen- és γ -sugárzás	1
Elektronok (β -sugárzás)	1
He atommagok (α -sugárzás)	10-20
Lassú neutronok	4-5
Gyors neutron- és proton-sugarak	10
Nehéz ion sugárzás	20

A Q.F. annak a mértéke, hogy az adott sugárzás hányszor nagyobb biológiai hatékonyságú, illetve hányszor nagyobb károsodást okoz, mint az alapul vett Röntgen- vagy γ -sugárzás.

37

37

DÓZISINTENZITÁS

Sugárkárosodás és sugárvédelem: a fő tényező, hogy a sugárzási térben időegység alatt mekkora dózist kap egy személy.

Dózisintenzitás: időegység alatt elnyelt dózis, illetve dózisegyenérték: Gy/óra, Gy/év, illetve Sv/óra, Sv/év.

Dóziskorlát (jogszabály háttér), a nem természetes forrásokból eredő dózisokra:

Jelenleg a lakosságra személyenként 1 mS/év
Sugárveszélyes helyen dolgozókra 20 mS/év

38

38

TERMÉSZETES ÉS MESTERSÉGES HÁTTÉRSUGÁRZÁS

Természetes háttérsugárzás: kozmikus sugárzás, a Földön lévő radioaktív anyagok sugárzása (elősorban a radon gáz és az emberi szervezetben lévő természetes radioizotópok a jelentősek).

Emberi tevékenységből eredő háttérsugárzás: ipar, gyógyászat, atomerőművek, atombomba-kísérletek.

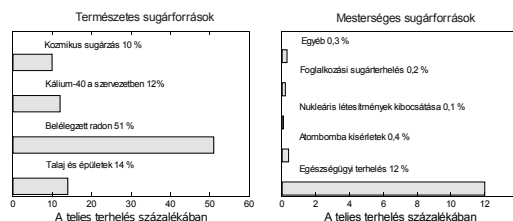
Magyarországon: 2,4 mS/év (87 % 2,1 mS/év természetes eredetű, 13 % 0,3 mS/év emberi tevékenységből eredő).

Csernobil hatása Magyarországon: a ma élő generáció által kapott és még várható többletdózis személyenként nem több mint 1 mSv (70 éves átlagéletkorral). Ez kevesebb mint a természetes háttérsugárzási terhelés 1 %-a.

39

39

HÁTTÉRSUGÁRZÁSI DÓZISOK MAGYARORSZÁGON



Teljes terhelés: 2,4 mS/év.

A fenti százalékos eloszlás általában jellemző a világ többi országaira is. A természetes háttérsugárzás túlnyomó része a természetben található radon gáztól származik.

40

HÁTTÉRSUGÁRZÁSI DÓZISOK AUSZTRÁLIÁBAN

Forrás	Dózis (mSv/év)
Természetes:	
Kozmikus sugárzás tengerszintén	0,3
Talaj, kőzet, épületek anyaga	0,3
Testszövetek (40K, 226Ra)	0,4
Légköri radon (222Rn)	2
Természetes összesen:	3
Mesterséges:	
Orvosi és fogászati Röntgen	0,4
Nukleáris medicina	0,1
Atomerőművek	0,01
TV képcső, ipari tevékenység	0,02
Légköri atombombabarobantások	0,04
Mesterséges összesen:	0,6
Minden forrásból összesen:	3,6

Dózis terhelés Ausztráliában (3,6 mSv/év)

41

REPÜLÉS: DÓZISTERHELÉS

Kozmikus sugarak által okozott besugárzási dózis és repülés

Magasság	Tengerszint	Repülő 10 km magasság	Repülő 17 km magasság	Úrhajós*
Dózis mSv/év	0,5	26	100	200
Dózis mSv/óra	0,0001	0,003	0,01	0,02
"Repülési" idő 1 mSv eléréséhez	2 év	300 óra	100 óra	50 óra

* Csak a galaktikus kozmikus sugárzásból, nem tartalmazza a van Allen övezet hatását (3 mSv egy áthaladásra) és a napkitörések hatását (1000 mSv).

Egy évben kb. 400-szor kell átrepülni az Atlanti óceánt ahhoz, hogy valaki a foglalkozási egészségügyi limitnek (20 mSv) megfelelő dózist elérje.

42

42

HÁTTÉRDÓZIS A VILÁGBAN

Ország, táj	Háttérdózis (mS/év)
Francia. (Burgundia)	3,5
USA (átlag)	3,6
Egyiptom (Nílus delta)	4,0
Brazília (tengerpart)	5,0
Niue Island (Csendes ó.)	10,0
India (Kerala állam)	13,0

A különbségeknek nincs semmiféle egészségügyi hatása!

43

43

SUGÁRZÁS: EGÉSZSÉG, BETEGSÉG, HALÁL

Sugárterhelés	Következmény
5 Sv/alkalom felett	Halálos sugárbetegség
3,5 Sv/alkalom	50 %-ban halálos sugárbetegség
1 Sv/alkalom	Klinikai tünetekkel járó enyhe sugárbetegség alsó határa
0,15 Sv/alkalom	Kimutatható, de még tünetmentes sugárátalom alsó határa
0,02 Sv/év	Foglakozási dóziskorlát

Félhalálos dózis: ennek hatására az emberk 50 %-a meghal. Ennek nagysága 3-4 Sv.

44

44

VÉGE

45

45