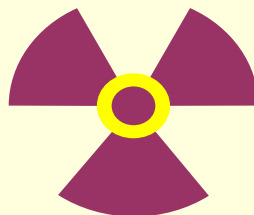


Ionizáló sugárzások dozimetriája



Ionizáló sugárzások



Ionizáló sugárzások

csoportosításuk a kiváltott hatás alapján.

Közvetlenül (direkt) ionizáló

A sugárzással töltések lépnek a közegbe, a sugárzást alkotó részecskék hozzák létre a töltéseket.

Pl. α -és β -sugárzás.



Közvetve (indirekt) ionizáló

A sugárzás fotonjai által keltett elektronok hozzák létre a töltéseket Pl. γ -sugárzás, röntgen.



A dozimetria feladata

Az egészségügyi kockázat becslése megelőzés céljából.

Az egészségkárosodás felmérése.

A terápiás folyamat tervezése.

*Megfelelő
mennyiségek
megfogalmazása*

Méréstechnika

Kockázatbecslés

1. Mennyiségek, azaz dózisok

- Legyen a károsodás, hatás mértékére jellemző sugármennyiség!
- Legyen arányos a károsodás mértékével, kockázatával!
- Legyen additív!
- Lehetőleg ne függjön más tényezőktől! ?

Dózisfogalmak

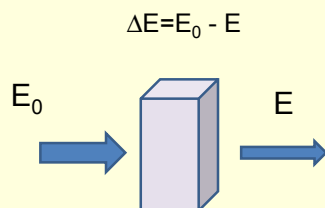
Fizikai dózisok:
elnyelt dózis,
besugárzási dózis

Biológiai dózisok:
egyenértékdózis,
effektív dózis

Származtatott dózisok:
kollektív dózisok,
dózisteljesítmény

Fizikai dózisok

1. Elnyelt dózis



Egységnyi tömegben elnyelt energia

$$D = \frac{\Delta E}{\Delta m} [J / kg]$$

Érvényesség: minden abszorbeáló anyagra és mindenfajta sugárzásra.

Mértékegység: $[J / kg] \equiv Gy$

Mérés ????



Louis Harold Gray
(1905-1965).

80 g tömegű pajzsmirigyben 0,2 GBq aktivitású ^{131}I izotóp 7,5 nap effektív felezési idővel bomlik. Számítsuk ki a pajzsmirigy által az izotóp teljes lebomlásáig elnyelt dózist, ha a kibocsátott β -részecskék átlagos energiája 0,18 MeV.

$$\Lambda = \frac{\ln 2}{T} N \quad N = \frac{0,2 * 10^9 [Bq] * 6,48 * 10^5 [s]}{0,693} = 1,87 * 10^{14}$$

$$E = 0,18 * 10^6 [eV] = 2,88 * 10^{-14} [J]$$

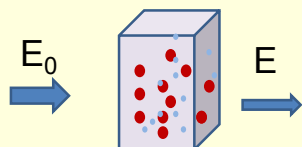
$$E_{\text{össz}} = N * E \quad E_{\text{össz}} = 1,87 * 10^{14} * 2,88 * 10^{-14} = 5,38 [J]$$

$$D = \frac{E_{\text{össz}}}{m} \quad D = \frac{5,38}{0,08} = 67,28 \left[\frac{J}{kg} \right] \equiv 67,25 [Gy]$$

Fizikai dózisok

2. Besugárzási dózis

Egységnyi tömegű levegőben keltett pozitív, vagy negatív töltések mennyisége.

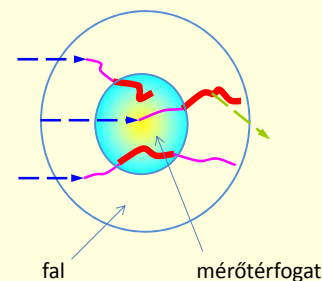


$$X = \frac{\Delta Q}{\Delta m} [C / kg]$$

Érvényesség: levegőben, csak γ - és rtg.-sugárzásra, elektron-egyensúly* esetében.

$$X = \frac{\Delta Q}{\Delta m} [C / kg]$$

ΔQ – szekunder elektronok!!



Elektron-egyensúly : A határfelületen átlépő szekunder elektronok nettó mennyisége nulla.

Befolyásolja:

- a környezet (a kamra falának) anyaga – **levegőekvivalens**
- a kamra falának vastagsága
- a foton energiája

$$E < 0.6 \text{ MeV}$$

Az elnyelt dózis és a besugárzási dózis kapcsolata

$$X = \frac{\Delta Q}{\Delta m} [C / kg]$$

$$D_{lev} = f_0 X$$

$$D = \frac{\Delta E}{\Delta m} [J / kg]$$

$\sim 34 \text{ J/C}$

Levegőben az átlagos ionizációs energia
 $\sim 34 \text{ eV}$.

A szövetben elnyelt dózis

$$\frac{\Delta E}{\Delta m} \approx \mu_m \cdot J$$

$$D_{lev} = \frac{\Delta E}{\Delta m} [J / kg]$$

$$\frac{D_{lev}}{D_{szövet}} = \frac{\mu_{m,levegő}}{\mu_{m,szövet}}$$

Fotonenergia (MeV)	$\mu_{m,lev.}/\mu_{m,szövet}$ (lágyszövetek)	$\mu_{m,lev.}/\mu_{m,szövet}$ (csont)
0,1	1,07	3,54
0,2	1,08	2,04
0,4	1,10	1,24

A szövetben elnyelt dózis

$E > 0.6 \text{ MeV}$

$$\frac{D_{\text{lev}}}{D_{\text{szövet}}} = \frac{s_{m,\text{levegő}}}{s_{m,\text{szövet}}}$$

Elektron energia
(MeV) $s_{m,\text{szén}}/s_{m,\text{lev.}}$

1.0	0.985
3.0	0.946

s : tömegfékezőképesség (LET)

Biológiai dózisok

Az elnyelt energia (abszorbeált dózis) nem jellemzi egyértelműen a biológiai következmények mértékét.

A biológiai hatás mértéke függ:

A sugárzás fajtájától.

A hatást elszenvedő biológiai objektum érzékenységtől, biológiai funkciójától

Sugárzásra jellemző korrekciós faktor

Elnyelő szövetre jellemző korrekciós faktor

Dózisegyenérték (H)

Rolf Sievert
1896-1966



A sugárzások „hatékonysága” eltérő.

$$H_T = w_R D_T$$

Sugárzás hatékonyságára jellemző **sugárzási súlytényező** szövetben elnyelt dózis

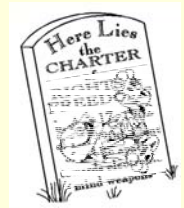
H mértékegysége: **Sievert (Sv)**

sugárzás	w_R
foton	1
elektron	1
neutron	5-20
proton	5
α -sugárzás	20

Miért hal meg az egyik nyuszi, míg a másik..

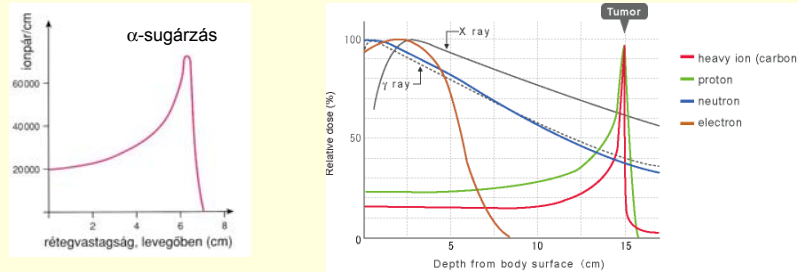
2 Gy elnyelt dózis - röntgen

2 Gy elnyelt dózis - α -sugárzás



Dózisegyenérték (H)

A sugárzások „hatékonysága” eltérő.

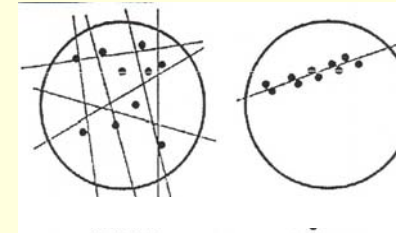


LET (Linear Energy Transfer) v. linearis energiaátadás:
egységnyi úthosszon leadott energia ($nE_{ionpár/l}$)

Dózisegyenérték (H)

A sugárzások „hatékonysága” eltérő.

$$H_T = w_R D_T$$

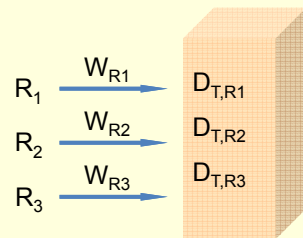


Alacsony LET
Pl. γ , rtg

Magas LET
pl. α , proton

sugárzás	w_R
foton	1
elektron	1
neutron	5-20
proton	5
α -sugárzás	20

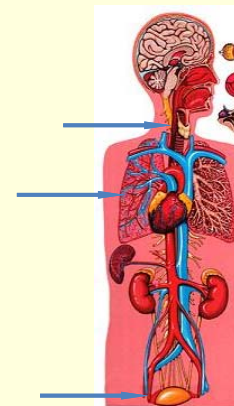
Többféle egyidejű sugárzás esetén az egyes sugárzások elnyelt dózisa súlyozottan adódnak össze.



$$H_T = \sum_R w_R D_{T,R}$$

Effektív dózis (E)

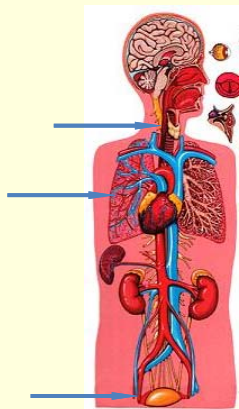
A szövetek eltérő érzékenységét megfelelő súlyozással vehetjük figyelembe.



$$E = \sum_T w_T H_T$$

E mértékegysége: **Sievert (Sv)**

$$E = \sum_T w_T H_T$$



szövet	W_T	szövet	W_T
gonádok	0,2	emlő	0,05
vörös csontvelő	0,12	máj	0,05
vastagbél	0,12	nyelőcső	0,05
tüdő	0,12	pajzsmirigy	0,05
gyomor	0,12	bőr	0,01
hugyhólyag	0,05	csontfelszín	0,01

$$\sum_T w_T = 1$$

Dózisteljesítmény

Egységnyi idő alatt elszenvedett dózis.

Mértékegysége változatos, a dózistól és az időtartamtól függ (pl. Gy/hónap, mSV/év stb.)

Kollektív dózisok

Az emberek egy meghatározott csoportjában, meghatározott időre vonatkozóan összegzett dózismennyiségek.

Kollektív dózisok

Az emberek egy meghatározott csoportjában, meghatározott időre vonatkozóan összegzett dózismennyiségek.

$$S = \sum_i N_i E_i$$

N_i személy

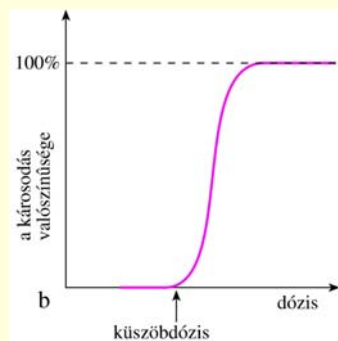
E_i effektív dózist

Sugárhatások típusai

Determinisztikus hatás

Stochasztikus hatás

Determinisztikus hatás

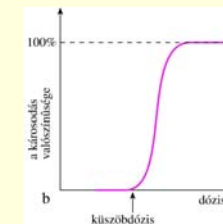


Küszöbdózis: alatta nem lép fel.

Gy

Küszöbdózis felett a súlyosság arányos a dózissal.

Determinisztikus hatás



Küszöbdózis fölött a károsodás mértéke arányos a dózissal.

Rövid idővel a hatás után megjelenik.

Diagnosztikai eljárások kapcsán nem várható.

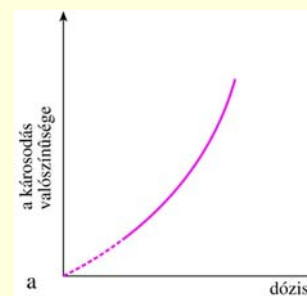
Pl. eritéma, hajhullás, katarakta, sejtek pusztulása, az egyed halála

*1% halálozás 60 nappal az esemény után

Dózis (Gy)	Biológiai hatás
0,15-0,2	A kimutatható sugársérülés küszöbdózisa.
0,5	Hematológiai módszerekkel kimutathatóság határa.
0,8	Az akut sugárbetegség küszöbdózisa
2,0	Minimális halálos dózis (LD1/60)*
4,0	Félhalálos dózis (LD50/60)
7,0	Minimális abszolút letális dózis LD99/60.

Mellkasi röntgenfelvétel: kb. 160 μ Gy a bőrben

Stochasztikus hatás



A károsodás bekövetkeztének **valószínűsége függ** a dózistól.

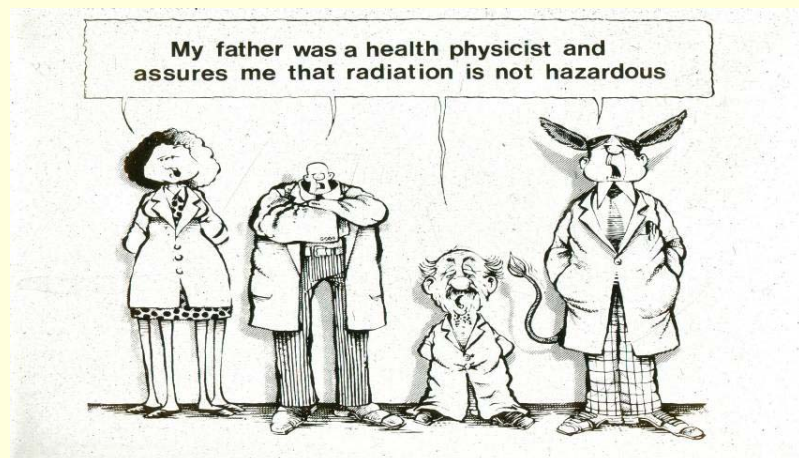
A károsodás bekövetkeztének **mértéke/súlyossága nem függ** a dózistól.

A károsodás megjelenése időben elhúzódó is lehet.

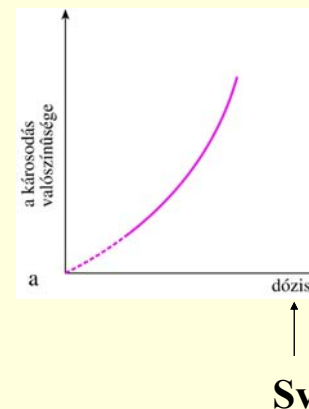
Nincs küszöbdózis.

Pl.daganatok, magzati fejlődési rendellenességek

Apám egy egészséges fizikus volt, és biztosított arról
hogy a sugárzás nem veszélyes



Stochasztikus hatás



Az egyenérték ill. *effektív* dózis alapján **becsülhetjük** a stochasztikus sérülések **valószínűségét**.

Ezek tartománya a determinisztikus sérülések küszöbdózisai alatt van.

vizsgálat	becsült effektív dózis mSv
Mellkasi átvilágítás	0,04
Mellkasi CT	7,8
Koponya CT	1,8
Hasi átvilágítás	1,2
Hasi CT	7,6
Háti gerinc átvilágítás	1,0
Ágyéki gerinc átvilágítás	2,1
Vastagbél kontrasztanyag vizsgálat	8,7

Sugárterápia

Determinisztikus hatások **kiváltása**. (pl. Daganatsejtek elpusztítása.) Stochasztikus mellékhatások lehetnek.

Sugárvédelem

Determinisztikus hatások **kizárása**.
Stochasztikus mellékhatások valószínűségének csökkentése.

A becsült átlagos évi dózis természetes és mesterséges forrásokból 3.6 mSv.

környezeti



foglalkozási

katonai

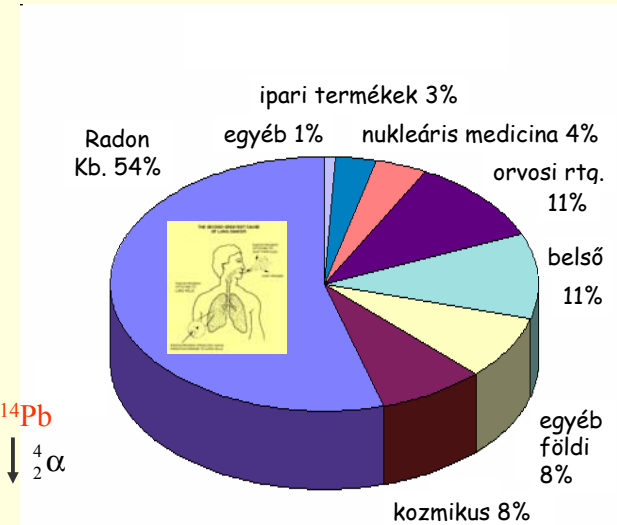
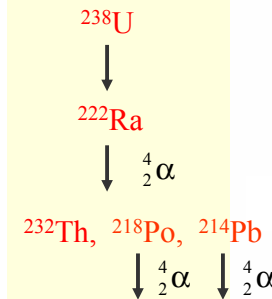


orvosi

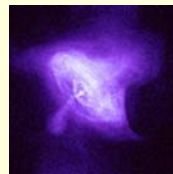


nukleáris ipari

A terhelés megoszlása a források között



Környezeti források

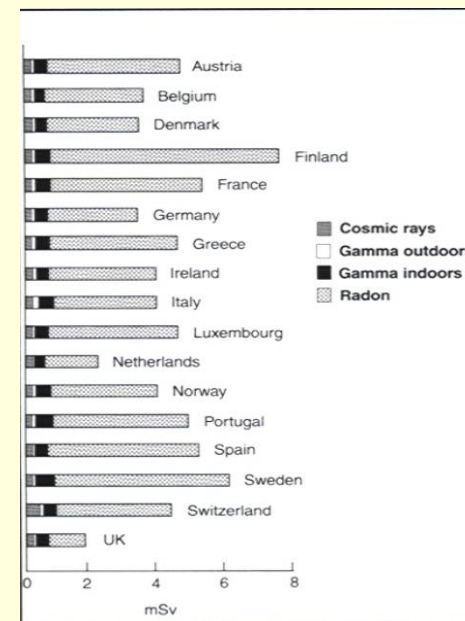


kozmosz sugárzás:
~ 0,4 mSv/év

radon: kb. 1,8 mSv/év



kálium: néhány tized mSv



Természetes
környezeti
sugárzásból adódó
terhelés alakulása
Európában

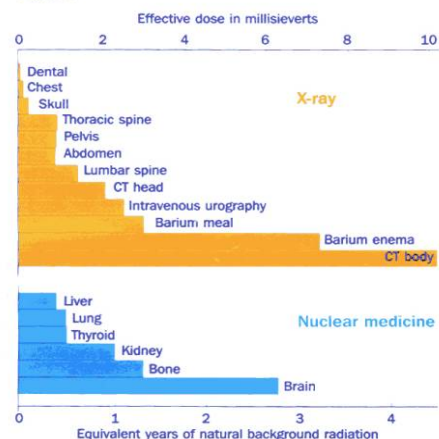
Kockázati tényezők összehasonlítása

a várható átlagos élettartam csökkenése napokban

házas társ nélküli élet (férfiaknak)	3500
dohányzás (1 csomag naponta)	2250
házas társ nélküli élet (nőknek)	1600
szénbányász munkakör	1100
25% túlsúly	777
alkoholizmus	365
építőmunkás munkakör	227
közlekedés motorkerékpárral	207
1 mSv/év effektív dózis 70 éven át	10
kávézás	6

Tipikus effektív dózis értékek

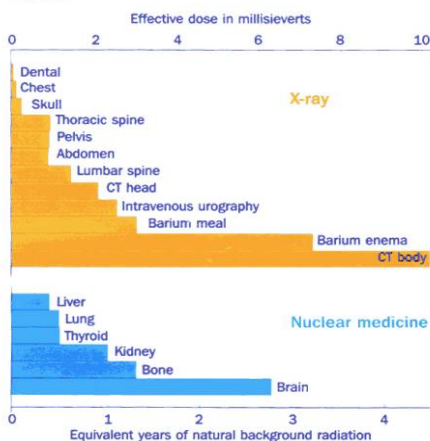
Typical doses for X-ray and nuclear medicine examinations in millisieverts (mSv) and as equivalent years of natural background radiation



	Effektív dózis (mSv)	Egyenértékű természetes háttér:
Röntgen		
mellkas	0.02	3 nap
medence	1.0	6 hónap
IVP	4.6	2.5 év
Barium kontraszt	9.0	4.5 év
CT (mellkas)	8.0	4 év
Izotópdiaгностика		
pajzsmirigy	1.0	6 hónap
csont	3.6	1.8 év

Tipikus effektív dózis értékek

Typical doses for X-ray and nuclear medicine examinations in millisieverts (mSv) and as equivalent years of natural background radiation



	Effektív dózis (mSv)	Egyenértékű természetes háttér:
Röntgen		
mellkas	0.02	3 nap
medence	1.0	6 hónap
IVP	4.6	2.5 év
Barium kontraszt	9.0	4.5 év
CT (mellkas)	8.0	4 év
Izotópdiaгностика		
pajzsmirigy	1.0	6 hónap
csont	3.6	1.8 év

Orvosi tevékenység

- Laboratóriumi alkalmazás – radioaktív nyomjelzők
- Képalkotó eljárások
- Sugárterápia

Minden alkalmazás sugárterheléssel jár!

A várható előny és a kockázat mérlegelése fontos!

Sugárvédelem

A sugárvédelem célkitűzései:

biztosítani, hogy az ionizáló sugárzás alkalmazásával kapcsolatban determinisztikus hatások ne léphessenek föl

sugárveszélyes tevékenységet folytató személyek foglalkozási kockázata ne legyen nagyobb, mint az egyéb foglalkozási ártalmak kockázata (10^{-4} eset/év)

a lakosság sugárterhelésből adódó kockázata ne haladja meg az egyéb civilizációs ártalmakból eredő kockázatot (10^{-5} eset/év).

A sugárvédelem alapelvei

- **Indokoltság** – az ionizáló sugárzás alkalmazásának *hasznosnak* kell lennie: az alkalmazás kockázata kisebb, mint az alkalmazás elhagyásának kockázata
- **Optimálás** – az alkalmazás által okozott dózis az észszerűen elérhető legkisebb legyen – *tervezési dózis* – ALARA
- **Korlátozás** – a tervezés révén a személyek dózisa az átlag körüli *eloszlást* mutat, a valószínű kimenetek nem léphetik túl a biztonságot adó *egyéni* dóziskorlátot

Foglalkozással összefüggő

A dózist olyan alacsonyra csökkenteni, hogy a kockázat mértéke „elfogadható” legyen.

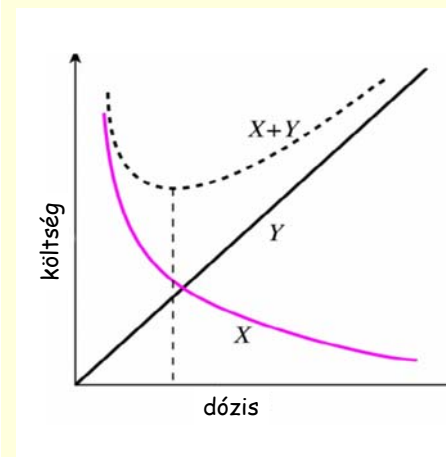


Teljes sugárvédelem nincs!

Sugárvédelmi szabályok dóziskorlátokat írnak elő.

ALARA-elv

As Low As Reasonably Achievable



X : sugárvédelmi kiadások

Y : sugárkárosodás kezelésének költségei

Optimum a minimum

Foglalkozással összefüggő



Sugárvédelmi dóziskorlátok

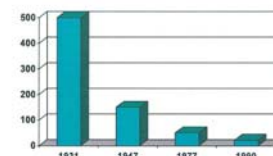
	Foglalkozási (mSv/év)	Lakossági (mSv/év)
Effektív dózis	20 *	1
Egyenérték- dózis (szemlencse)	150	15
Egyenérték- dózis (végtag/bőr)	500	50

* 5 éves átlagban évi 20 mSv, feltéve, hogy egy évben sem haladja meg az 50 mSv-et.



Sugárvédelmi dóziskorlátok

A foglalkozási egészsztest
dóziskorlátok (mSv/év) változása
(ICRP ajánlás)

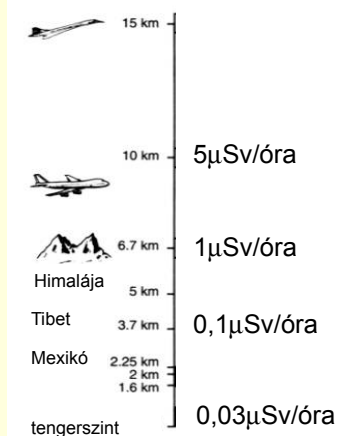


*International Commission on Radiological Protection

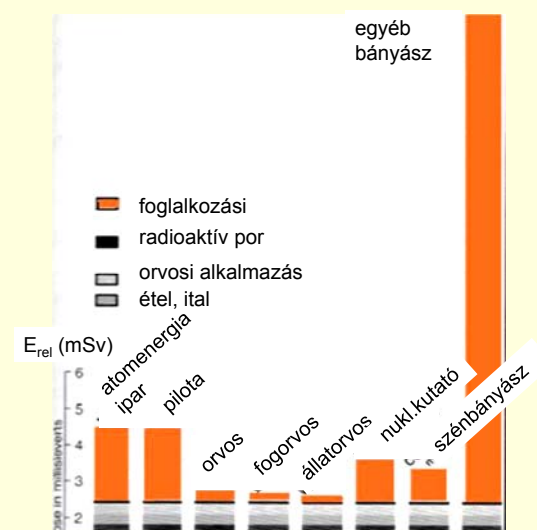
	Foglalkozási (mSv/év)	Lakossági (mSv/év)
Effektív dózis	20 *	1
Egyenérték- dózis (szemlencse)	150	15
Egyenérték- dózis (végtag/bőr)	500	50

* 5 éves átlagban évi 20 mSv, feltéve, hogy egy évben sem haladja meg az 50 mSv-et.

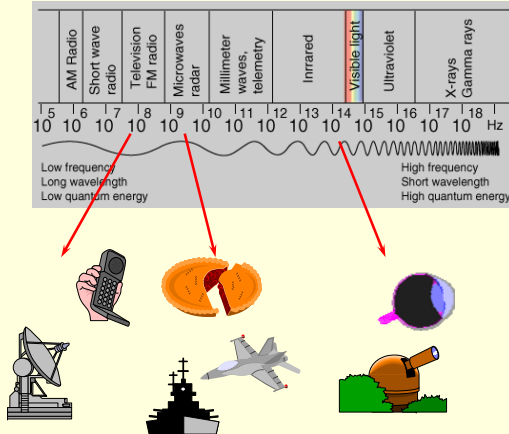
A kozmikus sugárzásból származó dózisteljesítmény változása a tengerszint feletti magassággal



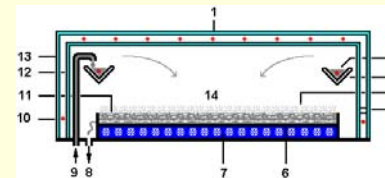
Különböző foglalkozásokkal járó relatív dózisterhelés



Sugárzásdetektorok - Dózismérő eszközök

- Mit? α^{++} p^+ (n) β γ ν
 - Milyen energiáját?
 - Mennyit?
 - Milyen pontosan?
- 

Egyszerű részecske**detektorok**



• ionizációs (köd-)kamra

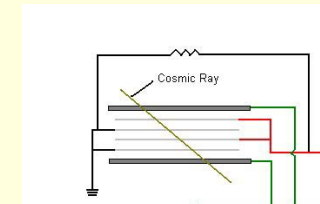
- | | | |
|-----------------------|-------------------------|-------------------|
| 1- fűtés, ion kivonás | 6- fekete fém alaplap | 11- alkohol |
| 2- fűtés | 7- hűtés | 12- belső üvegfal |
| 3- alkohol csatorna | 8- alkohol visszafolyás | 13- külső üvegfal |
| 4- túltelített gőz | 9- alkohol bevitel | 14- alkoholgőz |
| 5- nyílás forrásnak | 10- fűtés | |

• szikrakamra

– nagyfeszültségű vezetékek

• buborékkamra

- folyadék (H_2 , Ar, Xe) a forráspont körül
- hűtés/fűtés ciklusok



Dozismérés

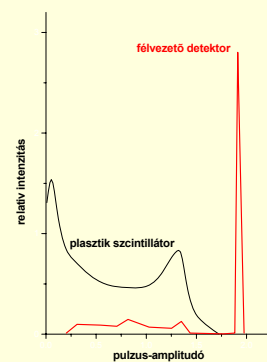
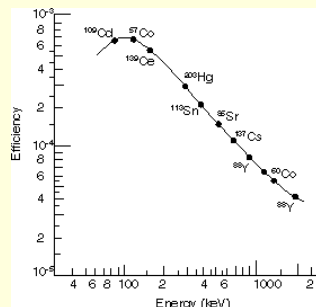
fizikai jel változása ~ elnyelt dózis

Dózis- és dózisteljesítmény-mérők fajtái

- * elektronikus működésű detektorok – az elnyelt sugárzási energia közvetlenül szabad töltéshordozókat hoz létre
gáztöltésű detektorok – utólagos és azonnali kiértékelésre is alkalmasak
- szcintillációs detektorok** – szerves kristály és folyadék
- félvezető detektorok** – szilícium, germánium
- * kémiai dózismérők – a válaszjel kialakításához vegyi folyamat vezet el
FILM – utólagos kiértékelés
- * szilárdtest-dózismérők – kristályok fizikai tulajdonságait használják ki
termolumineszcens detektor – **TLD** (LiF , CaF_2 , BeO , Al_2O_3)

A detektorok jellemzői

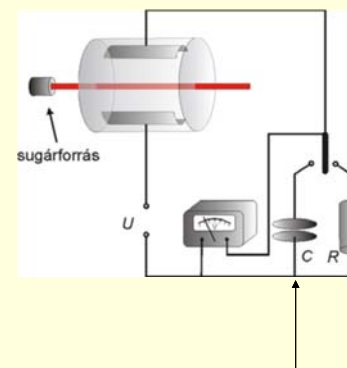
- információ
 - nyom, energia, szám
- reakcióidő
 - 100 ps-tól néhány ms-ig
- hatások



- érzékenység
- válaszfüggvény
- háttér
 - árnyékolás: aktív, passzív

Elektronikus működésű detektorok

Gázionizációs detektorok - Ionizációs kamra



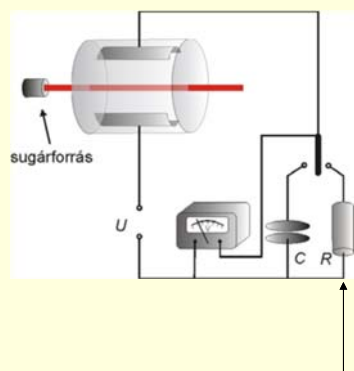
Dózismérés: a kondenzátoron felhalmozódik a keletkezett töltés.

A kondenzátor feszültsége a dózissal arányos.

$$U = \frac{Q}{C}$$

Mérés a kondenzátoron keresztül

Ionizációs kamra



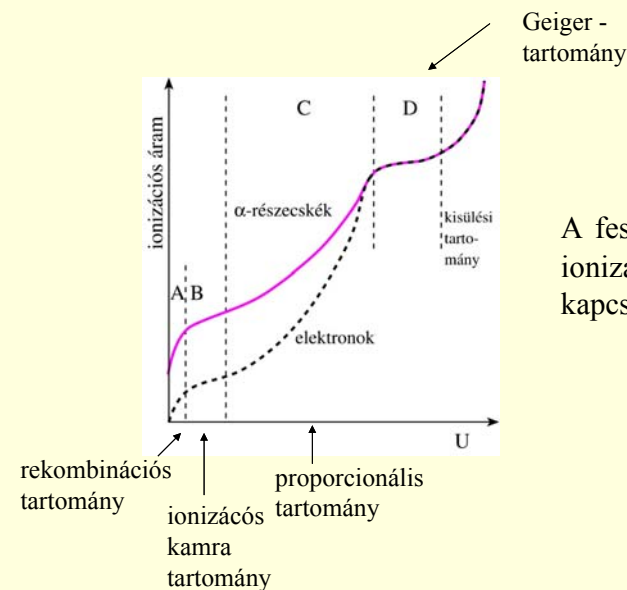
Dózisteljesítmény mérése: az időegység alatt keletkezett töltés mennyisége = áramerősség.

Az ellenálláson mért feszültség a dózisteljesítménnyel arányos.

$$U = \frac{QR}{t}$$

Mérés az ellenálláson keresztül

Ionizációs kamra



Geiger -
tartomány

A feszültség és az ionizációk számának kapcsolata

Ionizációs kamra – Geiger-Müller számláló

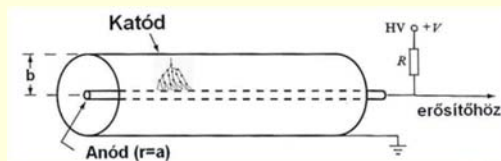
- Nemesgáz töltés
- Nagy gyorsító feszültség



Lavinaszerű ionizáció

áramimpulzus

Áramimpulzus száma ~ ionizáló részecske száma



Multiwire chamber - sokszálas proporcionális kamra



Fizikai
Nobel-díj
2002

Georges Charpak

1924 -2010

- töltött részecskéket és fotonokat detektál
- pozícióérzékeny!
- általában gáztöltésű
- nagy részecskegyorsítók környezetében alkalmazzák

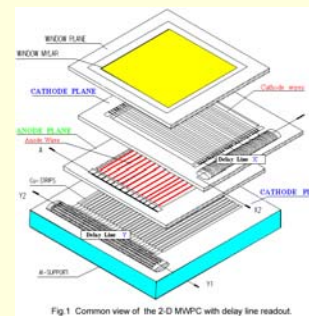


Fig.1 Common view of the 2-D MWPC with delay line readout.

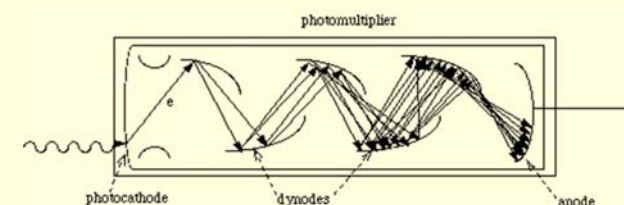
Szcintillációs detektorok



- folyadékszcintillátorok
 - fénykibocsátó molekulák oldata
 - oldatok többnyire előre keverték
 - először az oldat, majd a szcintillátor molekulái gerjesztődnek
 - végül fénykibocsátás
- szilárd oldatok
- szervesetlen kristályok
 - a kristályrács nyeli el az energiát
 - szennyező atomok → energiaszintek a tiltott sávban

Szcintillációs detektorok

- szcintillátor → sugárzásból látható fény
- fény nem jó → mérhető elektromos jel kell
- megoldás: fotoelektromos effektus, majd elektronok sokszorozása
- anódelektronok = áram „elektronikus trükk”: mérhető feszültségjel



Félvezető detektorok

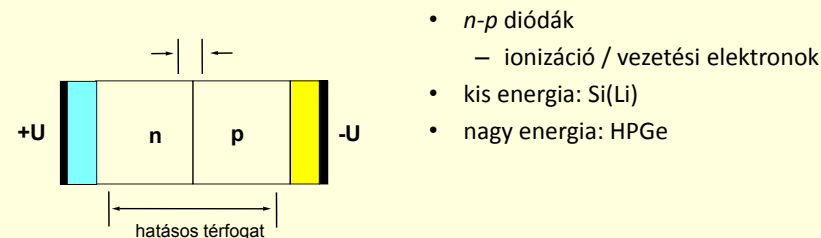


$$\frac{n}{n_0} = e^{\frac{\Delta\epsilon}{kT}}$$

$$\sigma \approx e \frac{\Delta\epsilon}{2kT}$$

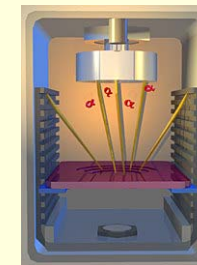
Fajlagos vezetőképesség

Félvezető detektorok



- *n-p* diódák
 - ionizáció / vezetési elektronok
- kis energia: Si(Li)
- nagy energia: HPGe

- töltött részecskék: surface barrier detektorok
 - nem *n/p*, hanem fém/*n*
 - többnyire szilícium
 - jó hatásfok



Egyéni dózismérő eszközök

Kémiai dózismérés - Filmдозимéter

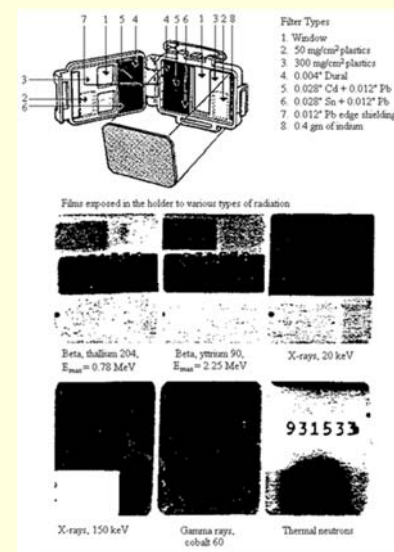


A feketedés mértéke függ a sugárzás fajtájától, energiájától, az abszorbens vastagságától, anyagától.

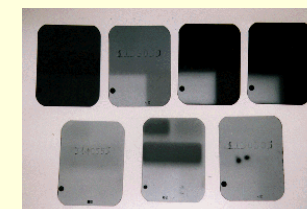


A fotófilm megfeketedésén alapuló eszközök.
A feketedési rajzolat alapján értékelhető.

Filmдозимéter



A feketedés mértéke függ a sugárzás fajtájától, energiájától, az abszorbens vastagságától, anyagától..



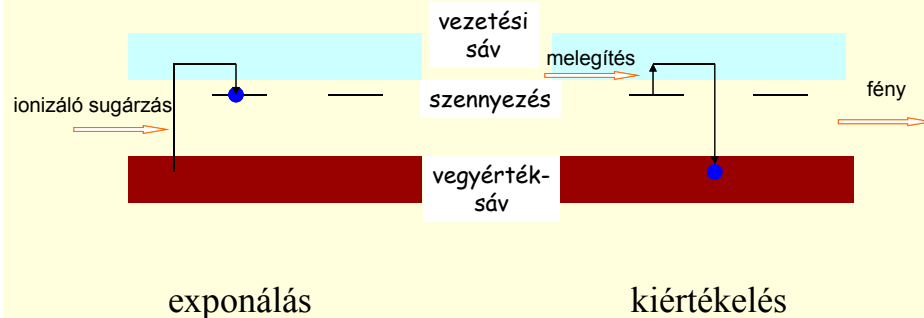
doses measured down to 10 μSv.

Szilárdtest detektorok

Termolumineszcens dózismérő



Jellegzetes sávszerkezetű anyagok



Dózisszámolás

Csak a γ -sugárzással kapcsolatos dózist veszi figyelembe

$$D_{lev} = K_{\gamma} \frac{\Lambda t}{r^2}$$

Λ : a forrás aktivitása

t: az expozíció ideje

r: forrástól mért távolság

K_{γ} : dóziskonstans

izotópra jellemző arányossági tényező

izotóp	γ -energia (MeV)	K_{γ}
^{24}Na	2,754; 1,369	444
$^{52/59}\text{Fe}$	0,5; 1,3; 1,1	160
^{60}Co	1,33; 1,17	305
^{131}I	0,364; 0,08; 0,723	54
^{137}Cs	0,661	80

75 MBq ^{24}Na izotóptól 30 cm távolságban dolgozunk. Milyen vastag ólomfalat kell alkalmaznunk, hogy helyünkön 15 mGy_{lev}/h értékre csökkenjen a dózisteljesítmény?

$$\left(\frac{D}{t}\right)_0 = K_{\gamma} \frac{\Lambda}{r^2} \quad \left(\frac{D}{t}\right)_0 = 444 \frac{75 \cdot 10^{-3}}{0,3^2} = 370 [\mu\text{Gy} / \text{h}]$$

$$\left(\frac{D}{t}\right) = \left(\frac{D}{t}\right)_0 e^{-\mu_m x \rho} \quad x = 5,7 \text{ cm}$$

A hét kérdése

Az ionizációs kamra melyik feszültségtartományát (tartományait) használná dózismérésre? Miért?

Kapcsolódó fejezetek:

Damjanovich, Fidy, Szöllősi: Orvosi Biofizika

II. 4.

4.1

4.2

4.3

4.4

4.5

4.6

keretes: 184. 186.

Gyakorlati jegyzet: Dozimetria