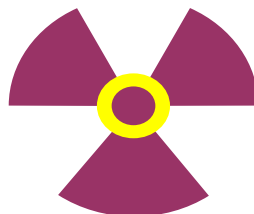


# *Ionizáló sugárzások dozimetriája*



## *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.  $\alpha$ -és  $\beta$ -sugárzás.



### *Közvetve (indirekt) ionizáló*

A sugárzás fotonjai által keltett elektronok hozzák létre a töltéseket Pl.  $\gamma$ -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 tényezőtől!

## Dózisfogalmak

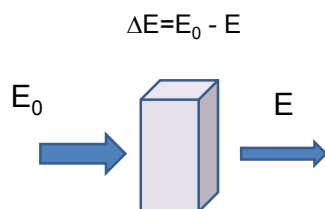
**Fizikai dózisok:**  
elnyelt dózis,  
besugárzási dózis

**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:  $[J / kg] \equiv Gy$

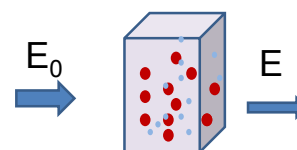
Mérés ????



Louis Harold Gray  
(1905-1965).

### Fizikai dózisok

#### 2. Besugárzási dózis



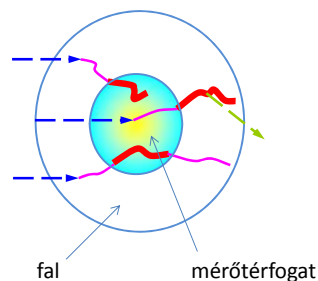
Egységnyi tömegű levegőben keltett pozitív, vagy negatív töltések mennyisége.

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

Érvényesség: levegőben, csak  $\gamma$ - és rtg.-sugárzásra, elektron-egyensúly\* esetében.

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

$\Delta Q$  – 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

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

$$D_{lev} = f_0 X \quad D = \frac{\Delta E}{\Delta m} [J / kg]$$

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

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

$E > 0.6 \text{ MeV}$

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

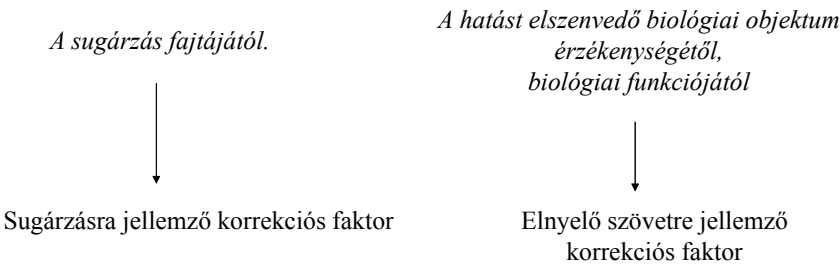
Elektron energia (MeV)	$s_{m,szén}/s_{m,lev.}$
1.0	0.985
3.0	0.946

$s$ : tömegfékezőképesség (LET)

Biológiai dózisok

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

A biológiai hatás mértéke függ:



Dózisegyenérték (H)

Rolf Sievert  
1896-1966



A sugárzások „hatékonysága” eltérő.

$$H_T = w_R D_T$$

Sugárzás hatékonyságára jellemző **sugárzási súlytényező**

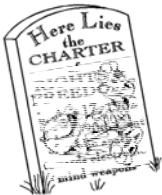
szövetben elnyelt dózis

H mértékegysége: Sievert (Sv)

sugárzás	W <sub>R</sub>
foton	1
elektron	1
neutron	5-20
proton	5
α-sugárzás	20

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

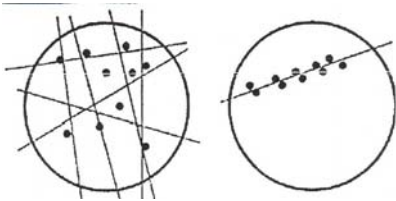
2 Gy elnyelt dózis - röntgen      2 Gy elnyelt dózis - α-sugárzás



Dózisegyenérték (H)

A sugárzások „hatékonysága” eltérő.

$$H_T = w_R D_T$$

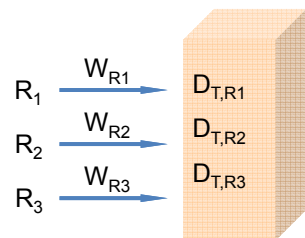


Alacsony LET  
Pl. γ, rtg

Magas LET  
pl. α, proton

sugárzás	W <sub>R</sub>
foton	1
elektron	1
neutron	5-20
proton	5
α-sugárzás	20

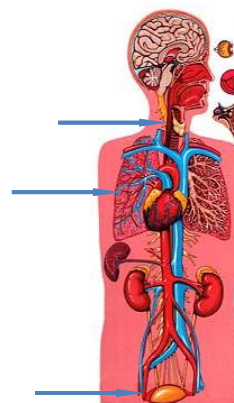
Többféle egyidejű sugárzás esetén az egyes sugárzások elnyelt dózisa súlyozottan adódnak össze.



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

## Effektív dózis (E)

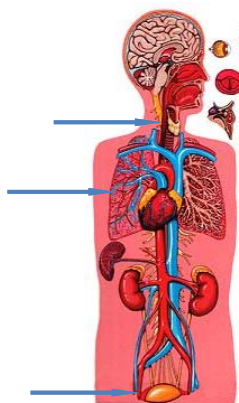
A szövetek eltérő érzékenységét megfelelő súlyozással vehetjük figyelembe.



$$E = \sum_T w_T H_T$$

$E$  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

## Ionizáló sugárzások elnyelődésének következményei

### 1. Fizikai történések

Direkt vagy indirekt ionizáció

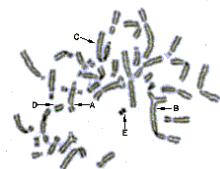
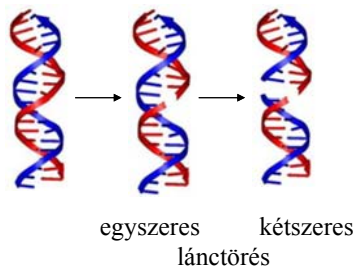
### 2. Kémiai reakciók

Direkt vagy indirekt sugárhatás

## Direkt sugárhatás

**Közvetlenül** a biológiai szempontból fontos molekulában létrejövő sérülés.

Legfontosabb a **DNS károsodása!**



kromoszóma törés

## Indirekt sugárhatás

Reaktív ionok (pl.  $\text{OH}^-$ ) és gyökök (pl.  $\cdot\text{OH}$ )  
keletkezése elsősorban vízből.  
(Az emberi test kb. 65-70%-a víz)



Általuk kiváltott kémiai reakciók a  
makromolekulákban vagy  
membránszerkezetekben.

## 1. Biológiai következmények

Makromolekulák, sejtalkotók károsodása.

Sejtek pusztulása, szervek működésképtelensége.

Súlyos egészségkárosodás, halál.

## A különböző események az időskálán

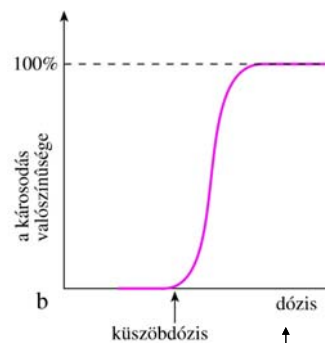
Fizikai	$10^{-20} - 10^{-8}$ s	Ionizáció, gerjesztés
Kémiai	$10^{-18} - 10^{-9}$ s	Direkt/indirekt kémiai reakciók
	$10^{-3} - \text{néhány óra}$	Sérülések reparációja
Korai biológiai	órák – hetek	Setdestrukció, az egyed halála
Késői biológiai	évek	Daganatok, genetikai elváltozások

## Sugárhatások típusai

*Determinisztikus hatás*

*Stochasztikus hatás*

## Determinisztikus hatás



**Gy**

**Küszöbdózis:** alatta nem lép fel.

## Determinisztikus hatás

Küszöbdózis fölött a károsodás mértéke arányos a dózissal.

Rövid idővel a hatás után megjelenik.

Diagnosztikai eljárások kapcsán nem várható.

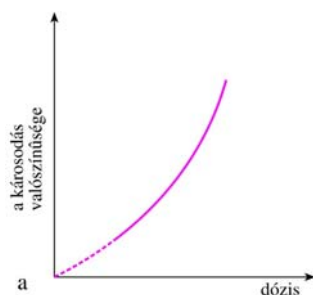
Pl. eritéma, hajhullás, katarakta

\*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  $\mu$ Gy a bőrben

## Stochasztikus hatás



Nincs küszöbdózis.

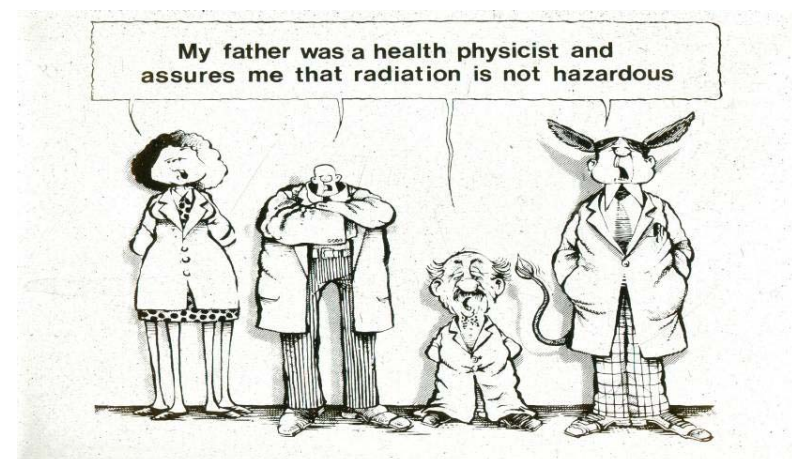
A károsodás bekövetkeztének **valószínűsége függ** a dózistól.

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

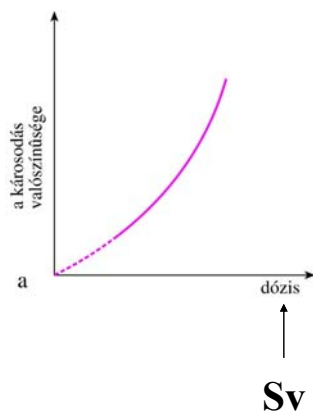
A károsodás megjelenése időben elhúzódó is lehet.

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

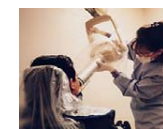
**Determinisztikus** hatások **kiváltása**. (pl. Daganatsejtek elpusztítása.) Stochasztikus mellékhatások lehetnek.

## Sugárvédelem

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

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

környezeti



foglalkozási

katonai

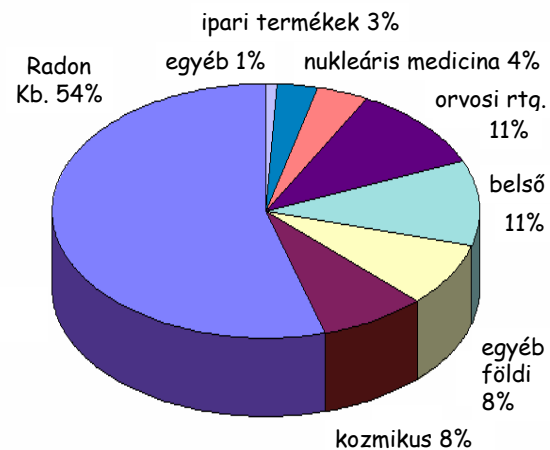


orvosi

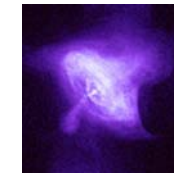


nukleáris ipari

## A terhelés megoszlása a források között



## Környezeti források



kozmos sugárzás:  
~ 0,4 mSv/év

radon: kb. 1,8 mSv/év



kálium: néhány tized mSv

## Kockázati tényezők összehasonlítása

### a várható átlagos élettartam csökkenése napokban

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

## Orvosi tevékenység

**Minden alkalmazás sugárterheléssel jár!**

*A várható előny és a kockázat  
mérlegelése fontos!*

## Foglalkozással összefüggő

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

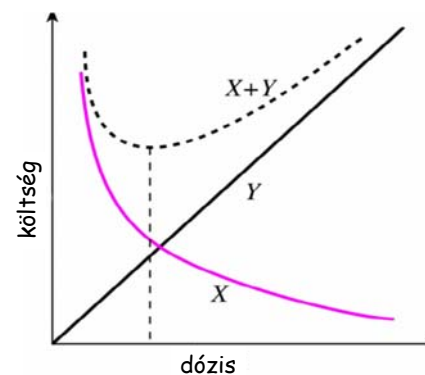


**Teljes sugárvédelem nincs!**

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

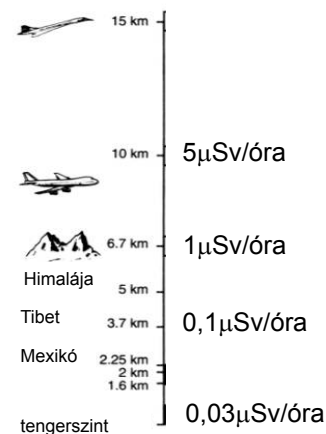
	Foglalkozási (mSv/év)	Lakossági (mSv/év)
Effektív dózis	20 *	1
Egyenérték-dózis (szemlencse)	150	15
Egyenérték-dózis (végtag/bőr)	500	50



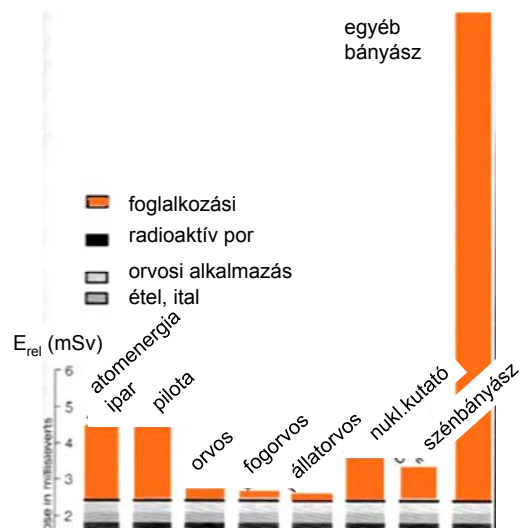
\* 5 éves átlagban évi 20 mSv, feltéve, hogy egy évben sem haladja meg az 50 mSv-et.



A kozmikus sugárzásból származó dózisteljesítmény változása a tengerszint feletti magassággal



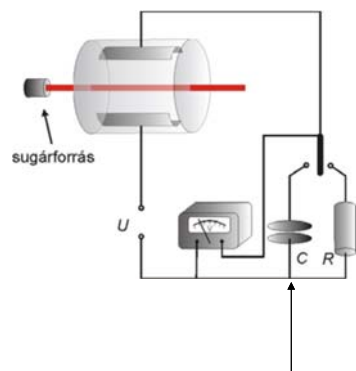
## Különböző foglalkozásokkal járó relatív dózisterhelés



## Dozismérés

fizikai jel változása ~ elnyelt dózis

### Ionizációs kamra



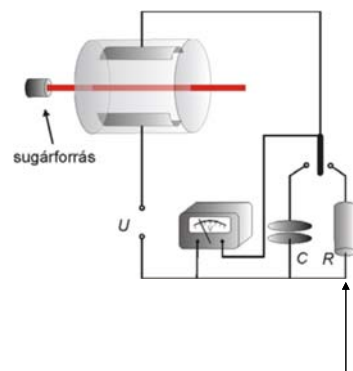
**Dózismérés:** a kondenzátoron felhalmozódik a keletkezett töltés.

A kondenzátor feszültsége a dózissal arányos.

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

Mérés a kondenzátoron keresztül

### Ionizációs kamra



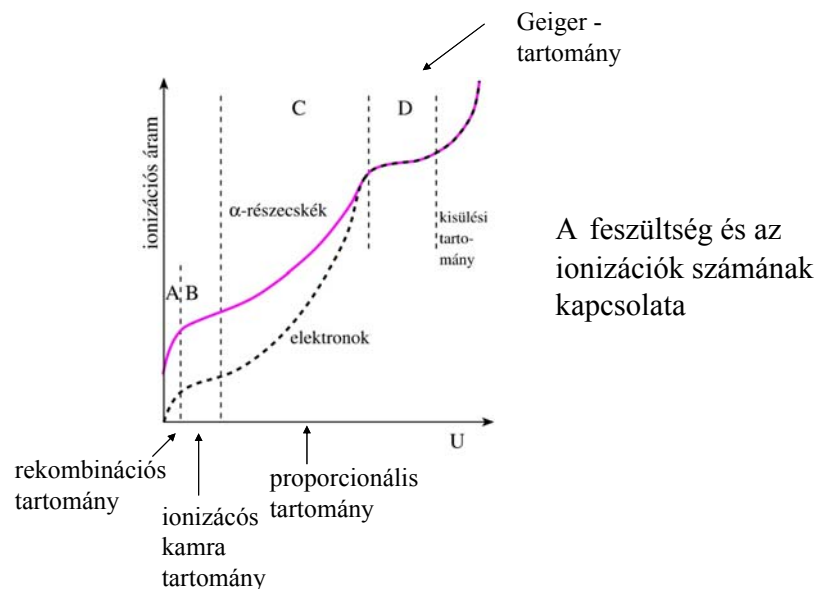
**Dózisteljesítmény mérése:** az időegység alatt keletkezett töltés mennyisége = áramerősség.

Az ellenálláson mért feszültség a dózisteljesítménnyel arányos.

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

Mérés az ellenálláson keresztül

## *Ionizációs kamra*



## *Egyéni dózismérő eszközök*

### *Filmdoziméter*



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

A fotófilm megfeketedésén alapuló eszközök.

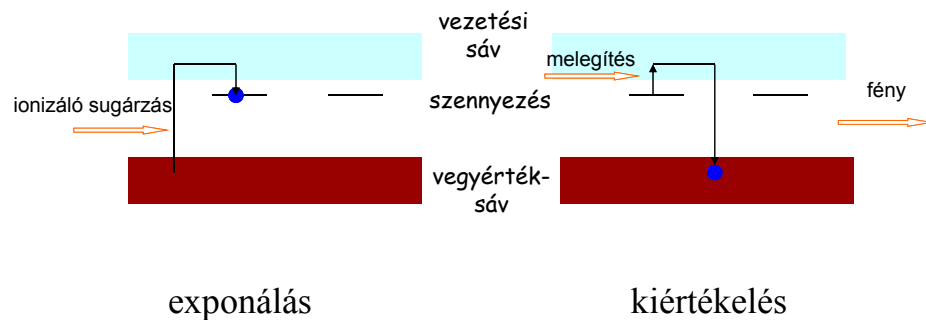
A feketedési rajzolat alapján értékelhető.

## *Egyéni dózismérő eszközök*

### *Termolumineszcens dózismérő*



Jellegzetes sávszerkezetű anyagok



## *Dózisszámolás*

Csak a  $\gamma$ -sugárzással kapcsolatos dózist veszi figyelembe

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

$\Lambda$ : a forrás aktivitása

$t$ : az expozíció ideje

$r$ : forrástól mért távolság

$K_{\gamma}$ : dóziskonstans  
izotópra jellemző arányossági tényező

Kapcsolódó fejezetek:

*Damjanovich, Fidy, Szöllősi: Orvosi Biofizika*

II. 4.

4.1

4.2

4.3

4.4

4.5

4.6

keretes: 184. 186.