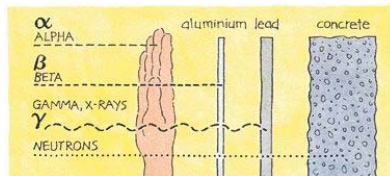
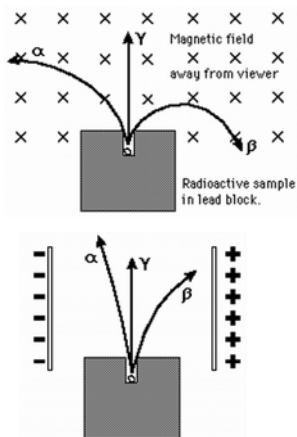


1. Az ionizáló sugárzások és az anyag kölcsönhatása (2-34)

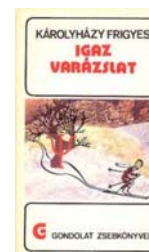
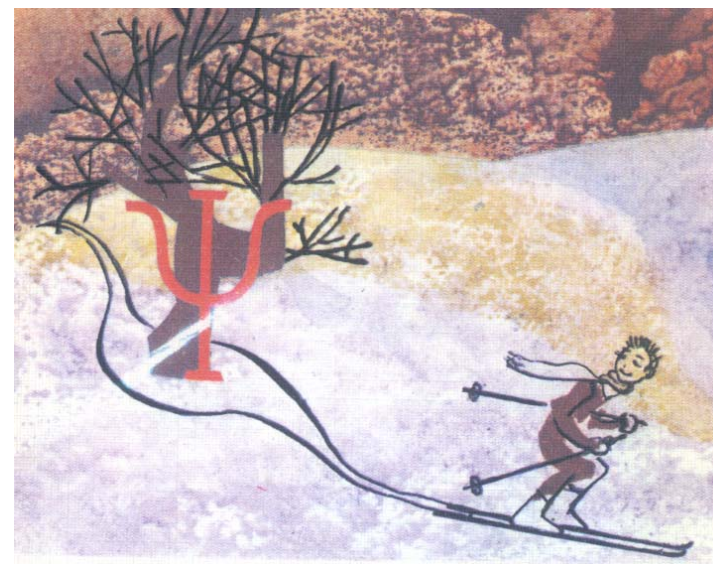


2. Fizikai dózis-fogalmak (35-41)

3. A sugárzás mérése (42-47)

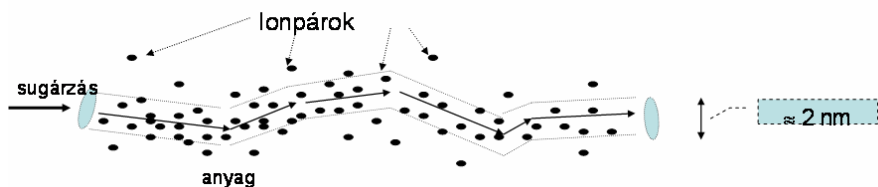


KAD 2010.09.15



Gondolat, 1976

Az ionizáló sugárzások a hatásukat elsősorban az anyagban keltett ionizáció révén fejtik ki



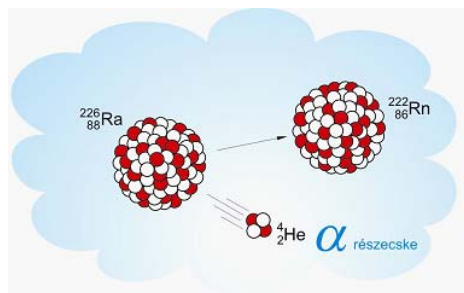
levegőben (átlagosan) 1 ionpár keltéséhez $34 \text{ eV} = 5.4 \text{ aJ}$ energia szükséges

Prefixumok

yotta	Y	10^{24}	} 3 nagyságrendenként külön prefixum
zetta	Z	10^{21}	
exa	E	10^{18}	
peta	P	10^{15}	} minden nagyságrendre külön prefixum
tera	T	10^{12}	
giga	G	10^9	
mega	M	10^6	} 3 nagyságrendenként külön prefixum
kilo	k	10^3	
hekto	h	10^2	
deka	da	10^1	
deci	d	10^{-1}	
centi	c	10^{-2}	
milli	m	10^{-3}	
mikro	μ	10^{-6}	
nano	n	10^{-9}	
piko	p	10^{-12}	
femto	f	10^{-15}	
atto	a	10^{-18}	
zepto	z	10^{-21}	
yocto	y	10^{-24}	

Alfa-sugárzás és az anyag kölcsönhatása

alfa-részecske: He atommag



elektromos töltése: $2e^+$

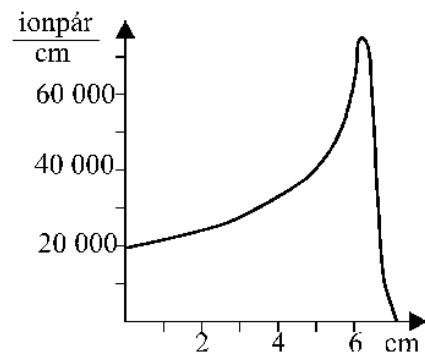
kezdő sebesség több mint 1000 km/s

kinetikus energia néhány MeV

ionizálóképesség jellemzése

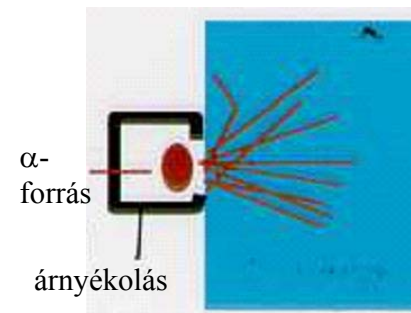
lineáris ionsűrűség (fajlagos v. specifikus ionizáció)
/ hosszúságú úton n db ionpárt hoz létre

5



^{214}Po α -részecskéjének fajlagos ionizációja (levegő esetén) a megtett út függvényében
(Rontó - Tarján 3.1 ábra)

pályája egyenes
(v. atommagon szóródás)



6

hatótávolság (R, Reichweite): az a távolság, amit egy részecske a közegben befut, míg energiája a termikus értékre nem csökken

pl. Ra: R (levegőben) = 3.4 cm, R (folyadékban) = 10-100 μm

fékezőképesség: egységnyi úthosszra vonatkoztatott energia veszteség (a közeg szempontjából)

lineáris energia átadás (**LET**, Linear Energy Transfer)
(a részecske szempontjából)

LET = (lineáris ionsűrűség) \cdot (1 ionpár keltésére jutó energia)

egyéb hatások: (ionizáció/gerjesztések)

karakterisztikus röntgen-sugárzás

szcintilláció

biológiai: funkcionális és morfológiai elváltozások

végül: hő

atommaggal való ütközés: magreakció (kis valószínűséggel)

Béta-sugárzás és az anyag kölcsönhatása

béta-részecske: elektron
(vagy pozitron)

elektromos töltése: $1e^-$ (vagy $1e^+$)

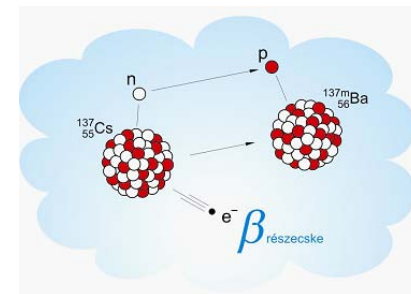
lineáris ionsűrűség: az alfáénál 1000-szer kisebb

pályája zezugos (az elektron szóródik az elektronokon),
visszaszórás is lehet

spektruma folytonos (antineutrínó!), így nincs egységes hatótávolság

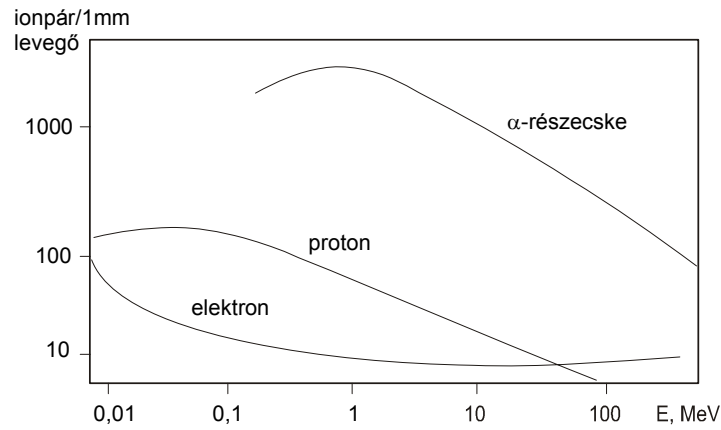
levegőben: 10 cm- 1 m

víz (szövet): 1 mm-1cm



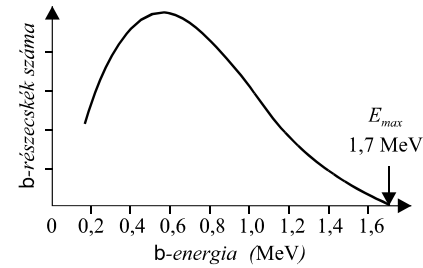
8

Töltéssel rendelkező részecskék fajlagos ionizációja levegőben

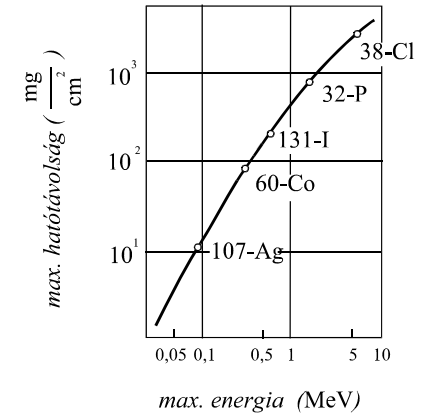
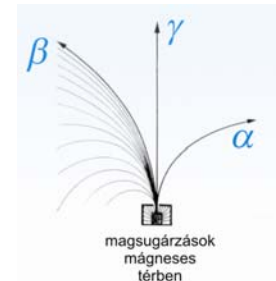


Az α -, a β - és a proton sugárzás átlagos fajlagos ionizációja a részecske energia függvényében, a levegőben

9



^{32}P β -spektruma
(Rontó - Tarján 3.2 ábra)

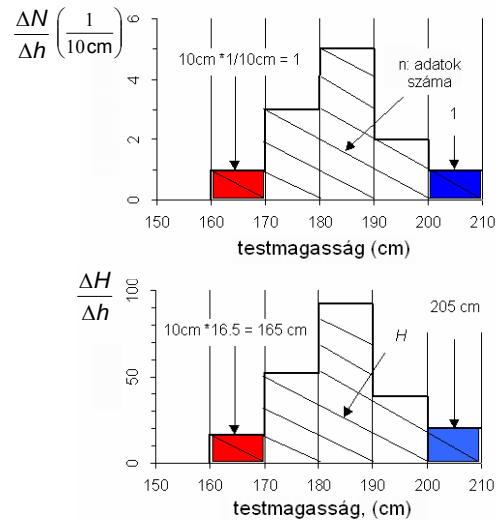


β sugárzás maximális hatótávolsága a maximális energia függvényében
(Rontó - Tarján 3.3 ábra)

10

kitérő

Eloszlás sűrűségfüggvény



h : testmagasság
 H : kollektív magasság

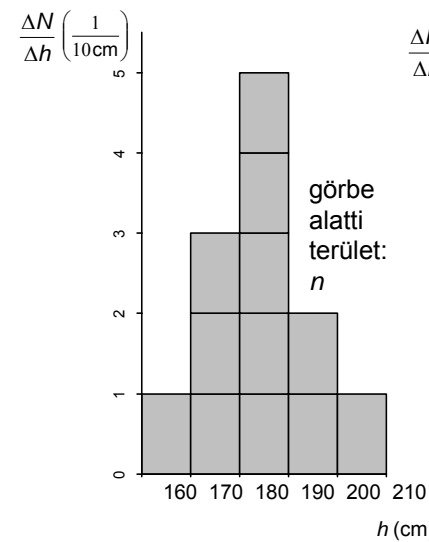


Spektrum mint speciális eloszlás sűrűségfüggvény

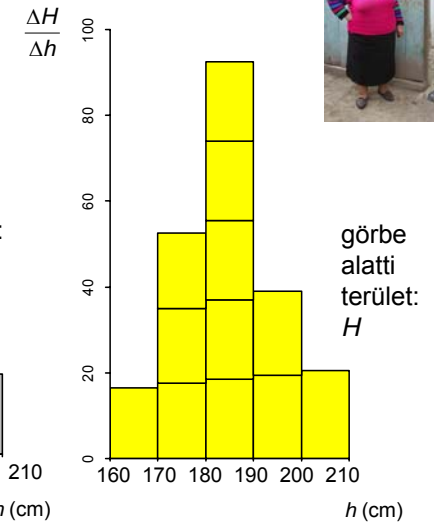
11

kitérő

Eloszlás sűrűségfüggvény

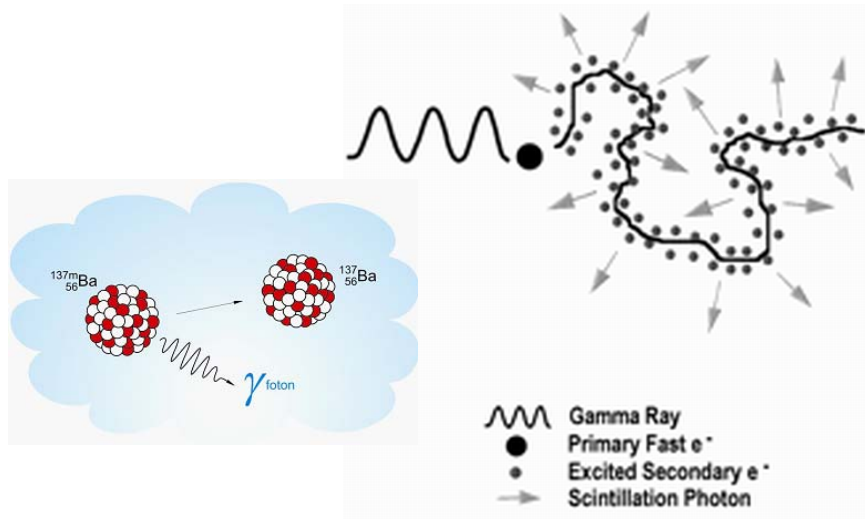


Spektrum

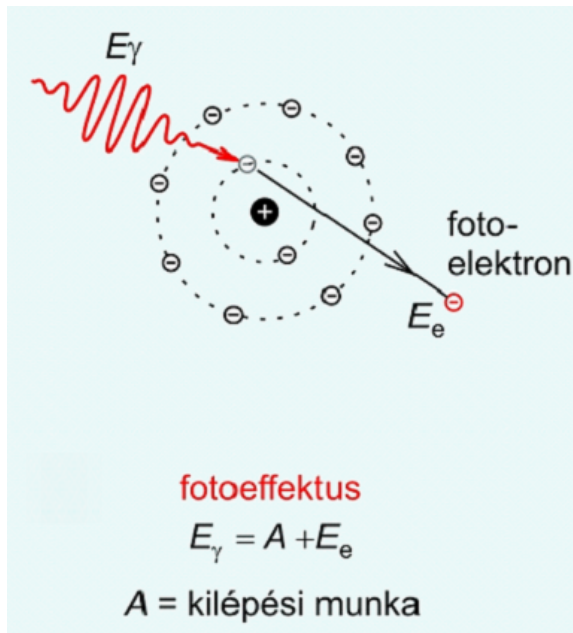
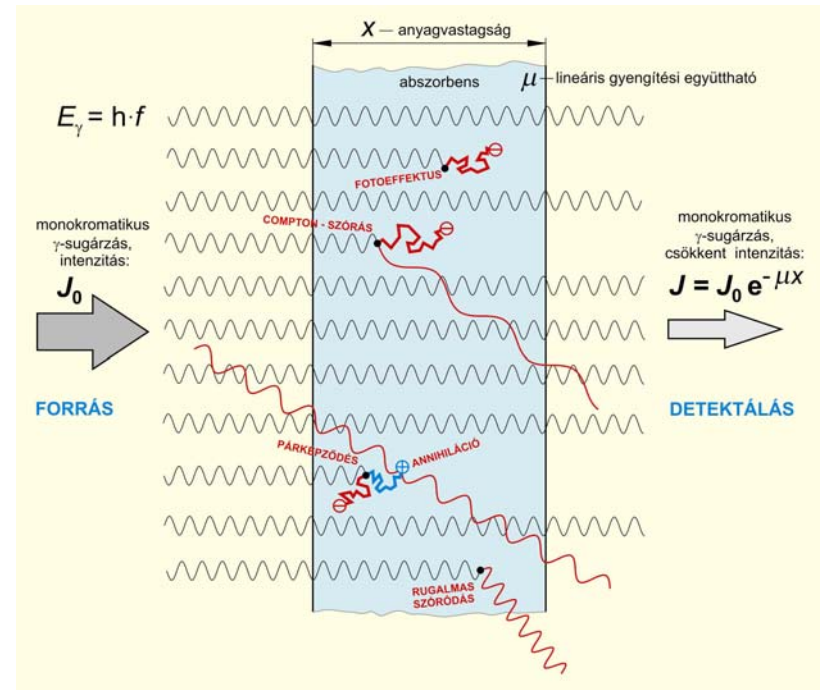


12

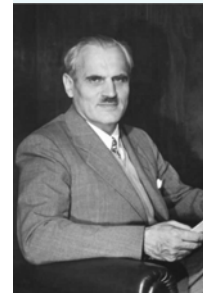
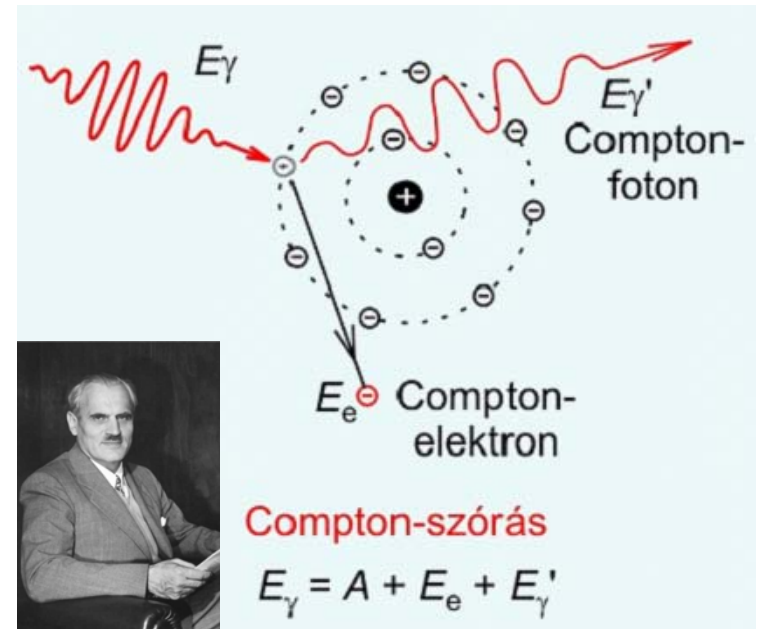
Gamma/röntgen-sugárzás anyaggal való kölcsönhatása



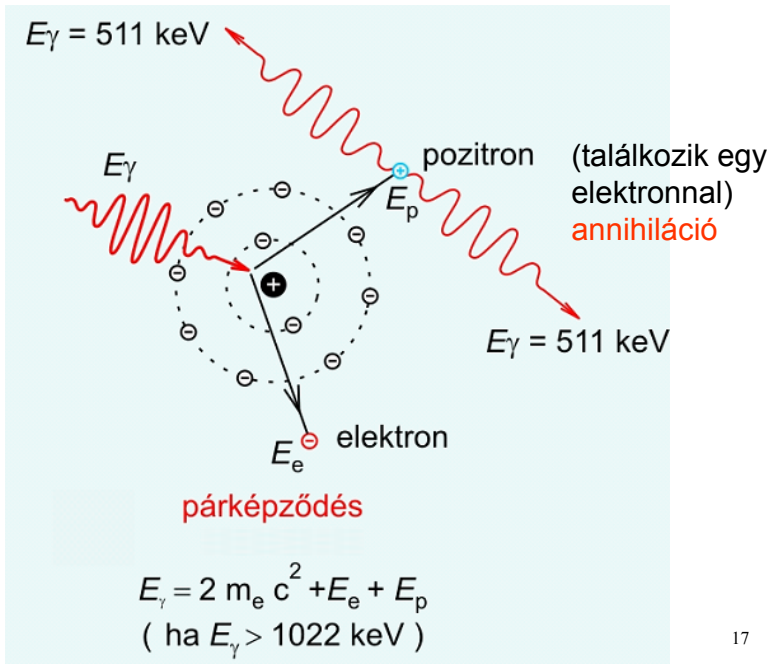
13



15



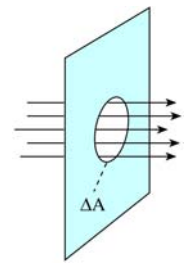
16



A sugárzás leírására használható fizikai mennyiségek

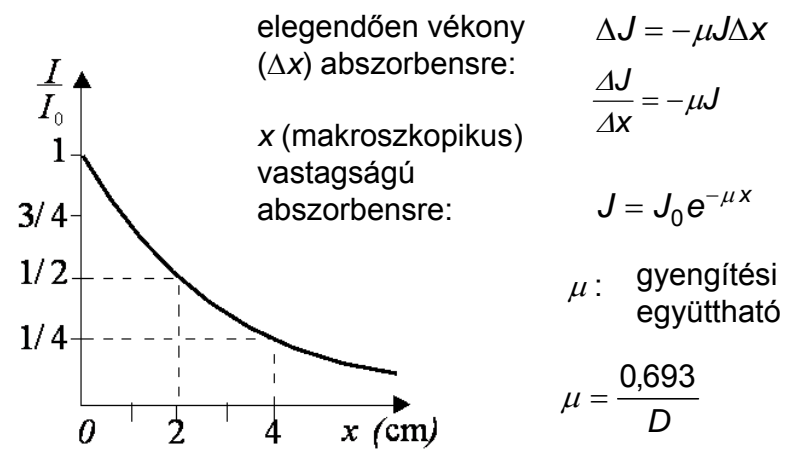
energia	teljesítmény	intenzitás
$E \text{ [J]}$	$P = \frac{\Delta E}{\Delta t} \left[\frac{\text{J}}{\text{s}} = \text{W} \right]$	$J = \frac{\Delta P}{\Delta A} \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right]$

energia áram
(Power)



spektrum is!
 $2.6 \cdot 10^{21} \cdot 1 \text{ eV} = 2.6 \cdot 10^{17} \cdot 10^4 \text{ eV}$

A sugárintenzitás gyengülése



pl. $D = 2 \text{ cm}$ D felezési rétegvastagság

A sugárintenzitás gyengülése

$$J = J_0 e^{-\mu x}$$

$$J = J_0 e^{-\mu_m x_m}$$

$$\mu = \mu(Z, \rho; \varepsilon)$$

$$\mu_m = \mu_m(Z; \varepsilon)$$

$$\mu_m = \frac{\mu}{\rho}$$

gyengítési
együttható

tömeg-
gyengítési
együttható

$$\mu = \frac{0,693}{D}$$

$$\mu_m = \frac{0,693}{D_m}$$

részleges gyengítési eh.-k

$$\mu_m = \tau_m + \sigma_m + \kappa_m$$

21

$$J = J_0 e^{-\mu x}$$

a kitevő:

$$-\mu x = -\mu_m \rho x = -\varepsilon^* C x = -\sigma n x$$

\uparrow sűrűség \uparrow moláris konc. \uparrow részecske konc.

$$\mu = \mu(Z, \rho; \varepsilon)$$

gyengítési együttható, 1/cm

$$\mu_m = \mu_m(Z; \varepsilon)$$

tömeggyengítési együttható, cm²/g

ε^*

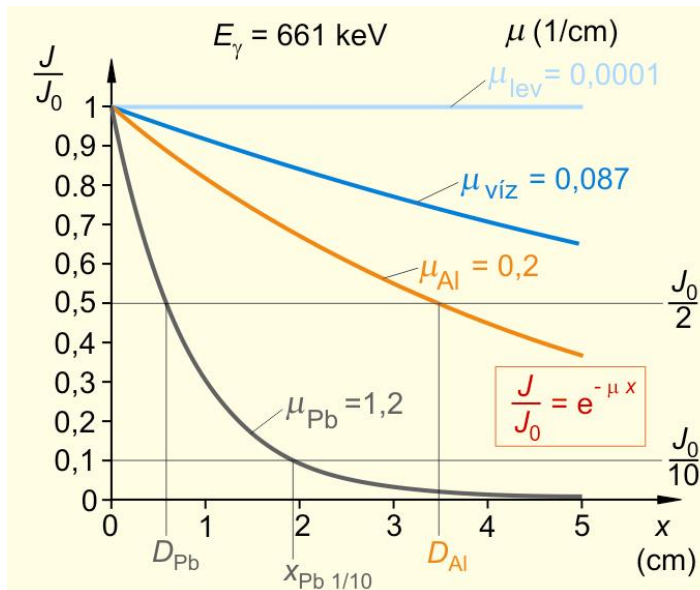
moláris extinkciós együttható,
L/(mol*cm)

σ

hatáskeresztmetszet, cm²

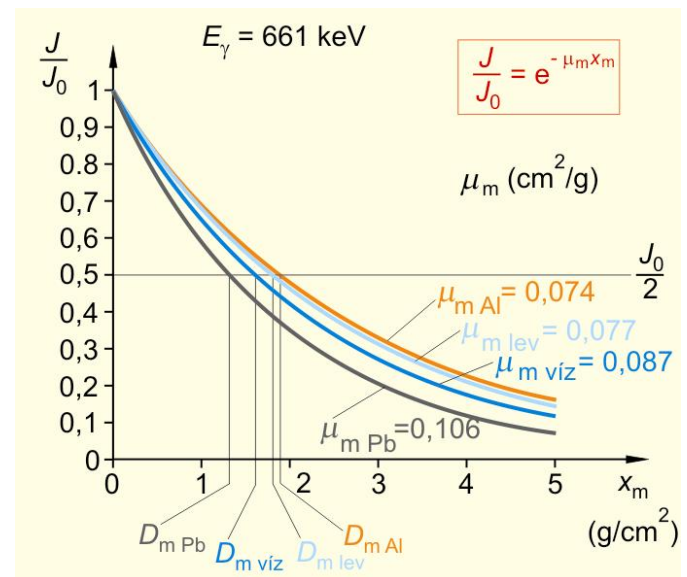
22

Gyengítési együttható



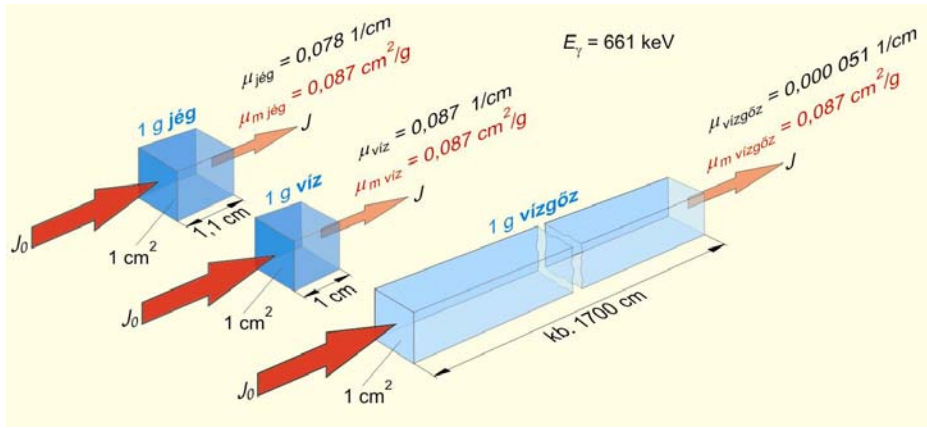
23

Tömeggyengítési együttható



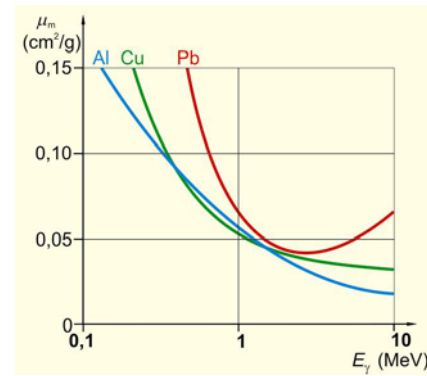
24

Gyengítési/tömeggyengítési együttható

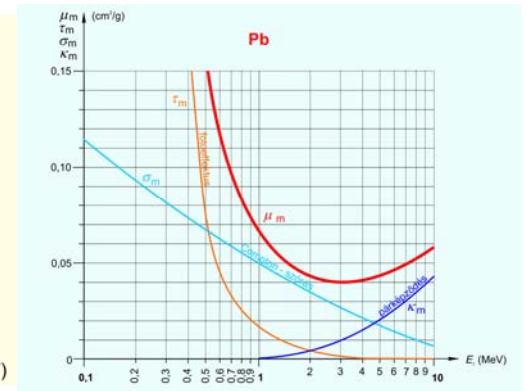


25

μ_m fotonenergiától és az abszorbens minőségétől való függése

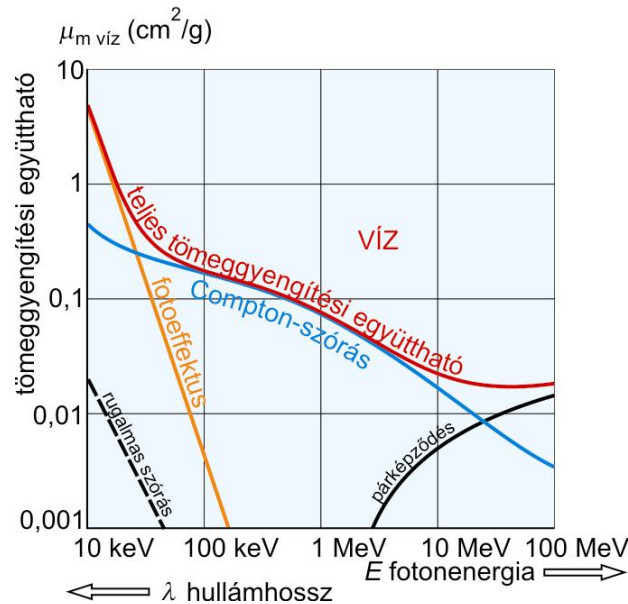


μ_m részfolyamatainak fotonenergiától való függése ólom esetén

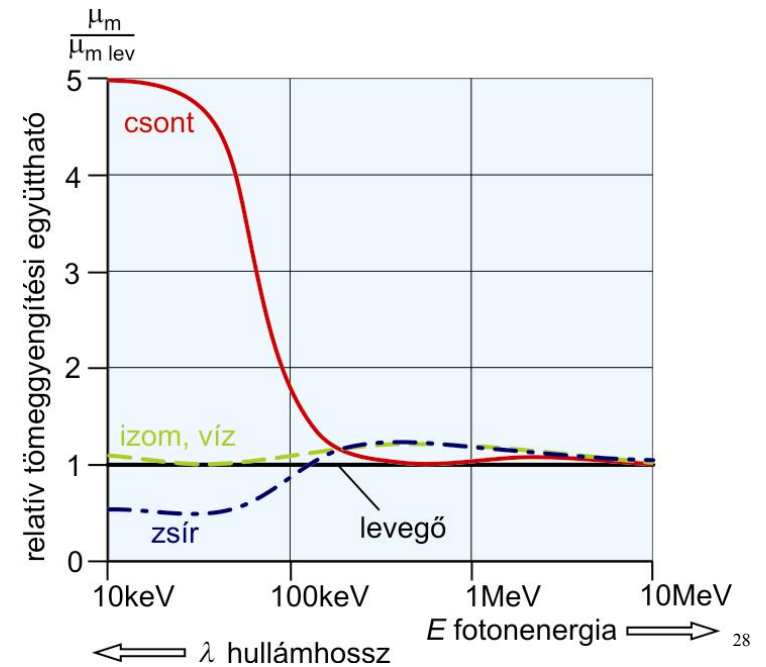


26

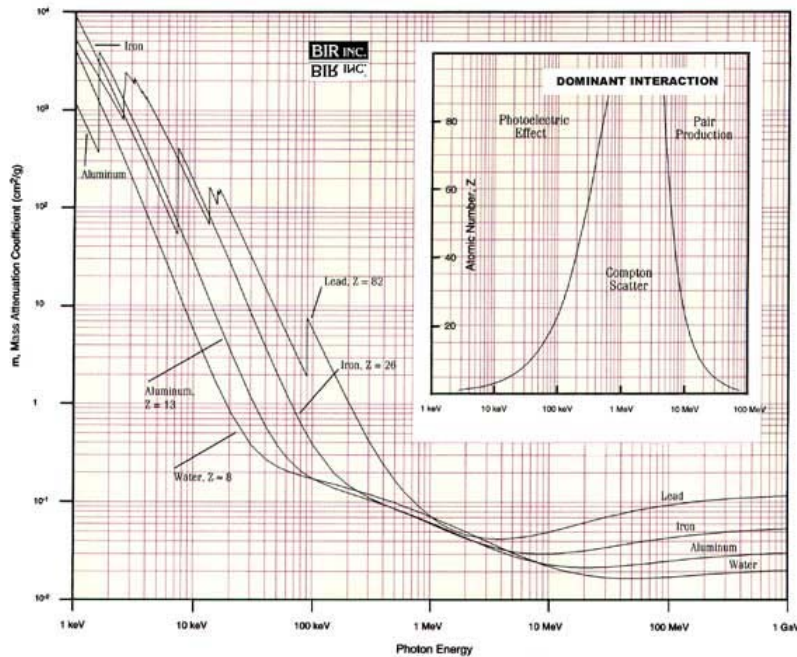
μ_m részfolyamatainak fotonenergiától való függése víz esetén



27



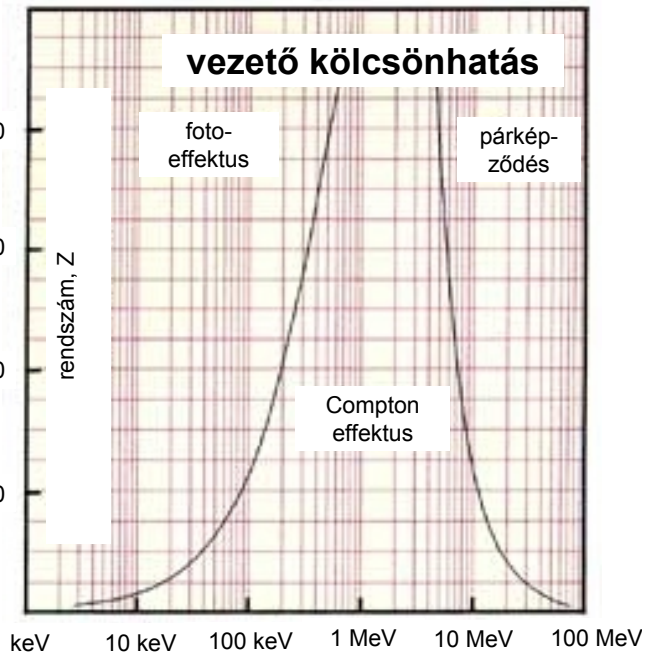
28



$$Z_{\text{eff}} = \sqrt[3]{\sum (f_i Z_i^3)}$$

Effektív rendszámok

anyag	Z_{eff}
zsír	6-7
levegő	7.26
víz	7.5
lágyszövet	7-8
csont	12-14
jód	53
bárium	56
ólom	82



Neutronsugárzás

egyes magreakciók terméke, bombázott atommagok gerjesztett állapotba kerülnek, felesleges energiájuktól neutronkibocsátással szabadulnak meg

elektromos töltéssel nem rendelkeznek, ezért csak közvetve ionizál; a kölcsönhatások fajtái:

rugalmas szóródás (rugalmas ütközés, proton és neutron tömege egyenlő), a proton ionizál

rugalmatlan szóródás (jellemzően 5 MeV felett): a neutronnal kölcsönható atommag gerjesztett állapotba kerül, majd γ vagy alfa kibocsátás

neutronbefogás (a termikus neutron beépül az atommagba): radioaktív izotóp keletkezik

maghasítás (>100 MeV): magtöredékek, n-ok, γ -sugárzás

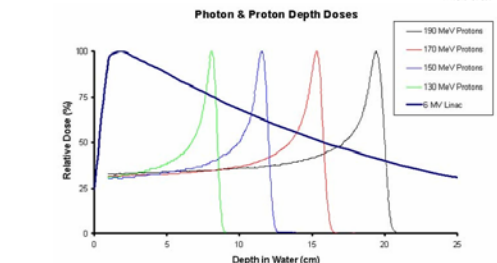
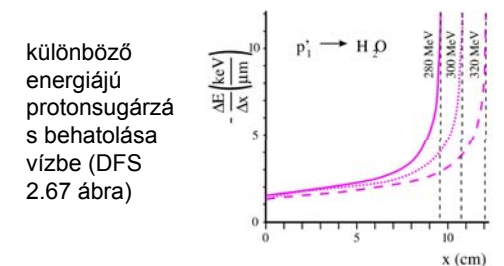
Protonsugárzás

protonok közegbeli kölcsönhatása nagyon hasonló az alfa sugárzáséhoz

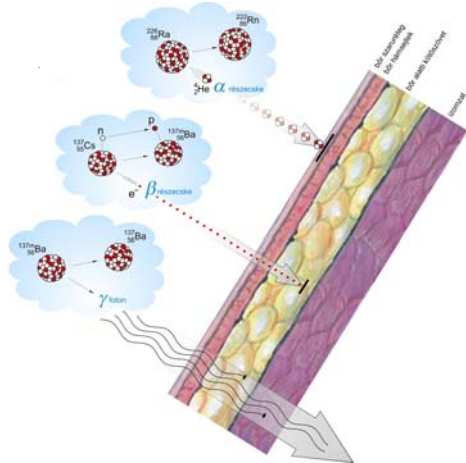
a felülethez közeli rétegekben csak kicsi a lefékezés

a Bragg csúchoz tartozó behatolási mélység: hatótávolság
terápiás felhasználás!

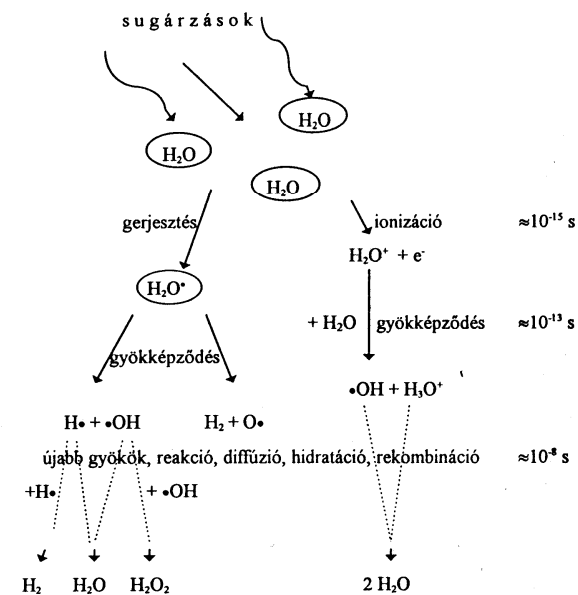
Bragg csúcsok



	alfa	béta	gamma	neutron
áthatolóképesség	nagyon kicsi	kicsi	nagyon nagy	nagyon nagy
veszélyesség	belső	belső/külső	külső	külső
védelem	papír	műanyag	ólom, beton	víz, beton



33



34

2. Fizikai dózis-fogalmak

$$\text{elnyelt dózis} = \frac{\text{elnyelt energia}}{\text{tömeg}}$$

$$D = \frac{\Delta E}{\Delta m} = \frac{\Delta E}{\rho \Delta V}$$

$$[D] = \frac{\text{J}}{\text{kg}} = \text{Gy} \quad (\text{Gray})$$

érvényesség:

minden ionizáló sugárzásra
korlátozás nélkül

régi egység: 1 rad = 0,01 Gy



Louis Harold Gray angol fizikus
(1905–1965).

35

Sugárterhelés és dózisszintek

halálos dózis (LD):

az a dózismennyiség, amely 30 napon belül a besugárzott személyek 100 %-ának a halálához vezet, LD_{> 8 Gy} teljes test besugárzás esetén

félhalálos dózis (LD₅₀):

az a dózismennyiség, amely 30 napon belül a besugárzott személyek 50 %-ának a halálához vezet, LD_{50 > 5-8 Gy} teljes test besugárzás esetén

36

besugárzási dózis = $\frac{(\text{létrehozott pozitív}) \text{ töltés}}{(\text{levegő}) \text{ tömeg}}$

$$X = \frac{\Delta Q}{\Delta m_{\text{levegő}}} = \frac{\Delta Q}{\rho_{\text{levegő}} \Delta V}$$

$$[X] = \frac{C}{kg}$$

érvényesség:

- Röntgen és gamma sugárzásra
- levegőben
- 3 MeV alatt
- elektronegyensúly esetén

37

A besugárzási és az elnyelt dózis kapcsolata

levegőben átlagosan 34 eV szükséges egy ionpár keltéséhez $D_{\text{lev}} = f_0 \cdot X$, ahol $f_0 = 34 \text{ J/C}$

kis részecskeenergia esetén $<0.6 \text{ MeV}<$ nagy részecskeenergia esetén

$$\Delta J \sim \mu \cdot J \cdot \Delta x$$

$$\frac{\Delta E}{A \cdot \Delta t} \sim \mu \cdot J \cdot \Delta x$$

$$\frac{\Delta E}{\rho \cdot A \cdot \Delta t} \sim \frac{\mu}{\rho} \cdot J \cdot \Delta x$$

$$\frac{\Delta m}{\Delta V} \cdot A \cdot \Delta x \sim \mu_m \cdot J \cdot \Delta t$$

$$D \sim \mu_m \cdot J \cdot \Delta t \quad \text{tömeggyengítési együttható}$$

$$\frac{\Delta E}{\Delta x} = s$$

$$\Delta E = s \cdot \Delta x$$

$$\frac{\Delta E}{\Delta m} = s \cdot \frac{\Delta x}{\Delta m}$$

$$D = s \cdot \frac{\Delta x}{\rho \cdot \Delta V}$$

$$D = s \cdot \frac{1}{\rho \cdot A}$$

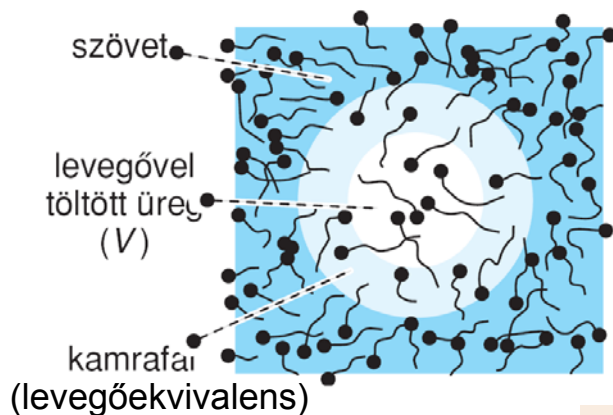
$$s_m = \frac{s}{\rho}$$

$$D = s_m \cdot \frac{1}{A} \quad \text{tömegfékező képesség}$$



Elektronegyensúly

kis fotonenergia esetén $< 0.6 \text{ MeV}$



a V térfogatból kilépő és az abba belépő elektronok száma megegyezik

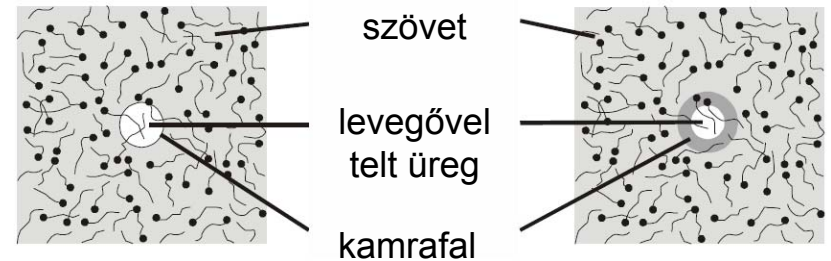
fekete pontok: primer elektronok
fekete vonalak: szekunder elektronok

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

37

Bragg-Gray elv

nagy fotonenergia esetén $> 0.6 \text{ MeV}$



olyan vékony kamrafal, hogy az elektronok akadály nélkül behatolnak

az ionsűrűség a mérőüregben megegyezik a szövetivel

szövetekvivalens kamrafal

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

40

dózisteljesítmény

$$P_D = \frac{\Delta D}{\Delta t}$$

$$[P_D] = \frac{mGy}{h}, \frac{\mu Gy}{h}$$

dózis kiszámítása
pontoszerű gamma
sugárforrás
esetén levegőben

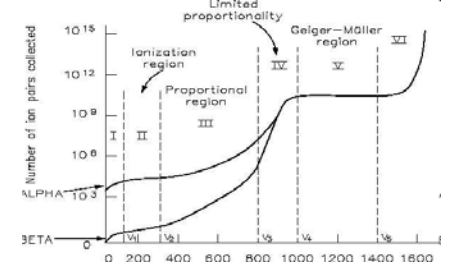
$$P_D = K_\gamma \frac{A}{r^2} \Rightarrow D = K_\gamma \frac{A \cdot t}{r^2}$$

néhány
sugárforrás
dóziskonstansa

forrás	$K_\gamma \frac{\mu Gy \cdot m^2}{GBq \cdot h}$
^{60}Co	305
^{131}I	54
^{137}Cs	80

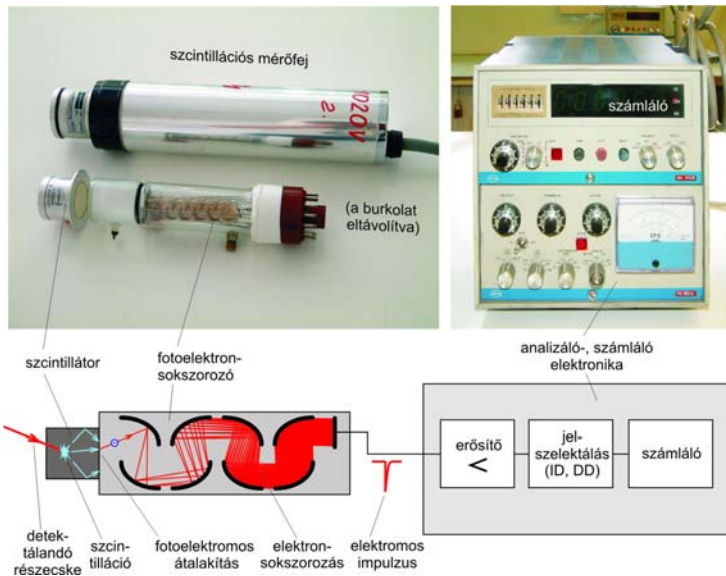
41

3. A sugárzások mérése

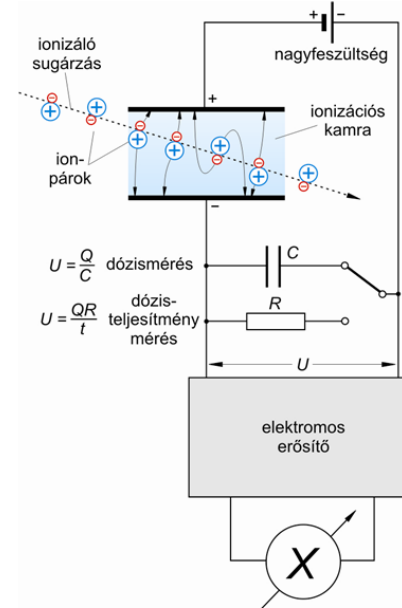


42

Szcintillációs számláló

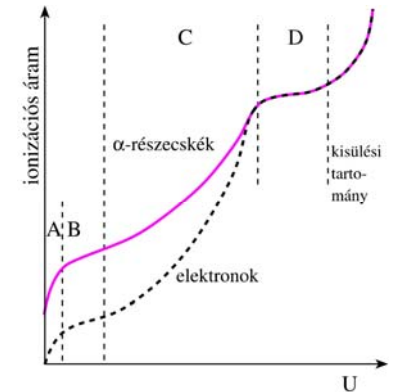


43

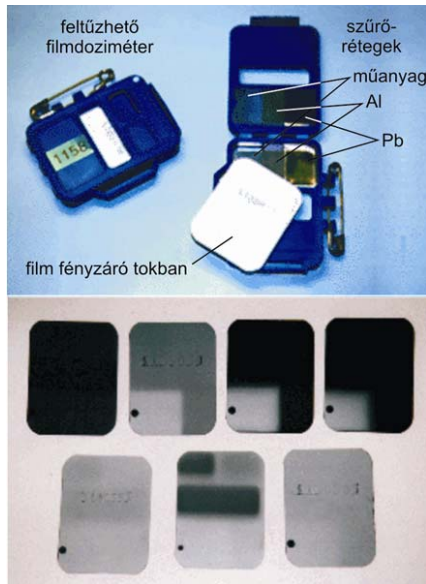


Orvosi fizika gyakorlatok, 2005

Ionizációs kamra



- A: rekombináció
- B: ionizációs kamra (összegyűjti az összes iont, a sugárzás ionizáló hatását méri)
- C: proporcionális tartomány
- D: Geiger tartomány (lavina effektus)



Filmdoziméter

film fényzáró tokban megfeketedése arányos az ionizáló sugárzás dóziséval

két réteg:
 érzékenyebb (50 mSv-50 mSv)
 érzéketlenebb (50 mSv-10 Sv).

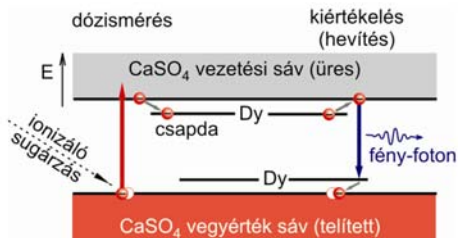
szűrők:
 műanyag, Al, Pb, stb.
 lehetővé teszik a sugárzás fajtájának és energiájának megállapítását,

hátrányok:
 csekély pontosság,
 utólagos kiértékelés (pl. 1 hónap).

Zsebkamra doziméter



GM-csőves számlálók



Termolumineszcens dózismérő

az elektronok” csapdába” kerülnek



gyűrűbe foglalt TLD-kapszula (a kéz sugárterhelésének detektálására), ill. a magyar fejlesztésű „PILLE” nevű termolumineszcens doziméter kiértékelő egysége az űrben (Sally Ride 1984).