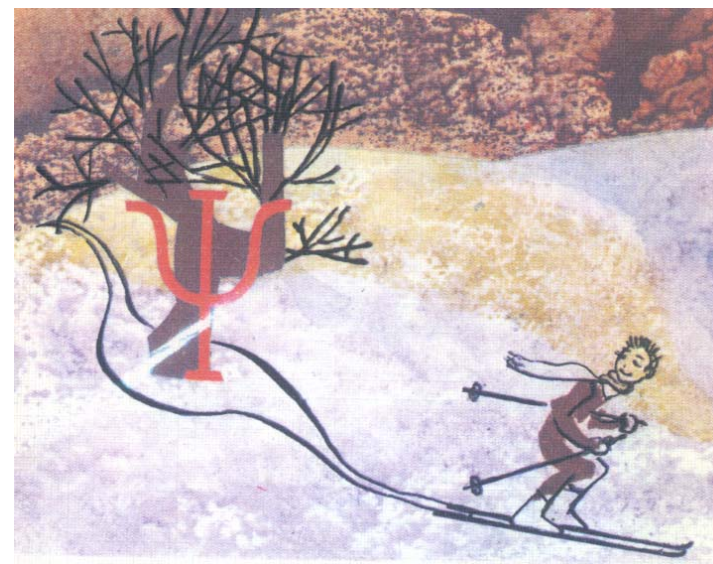
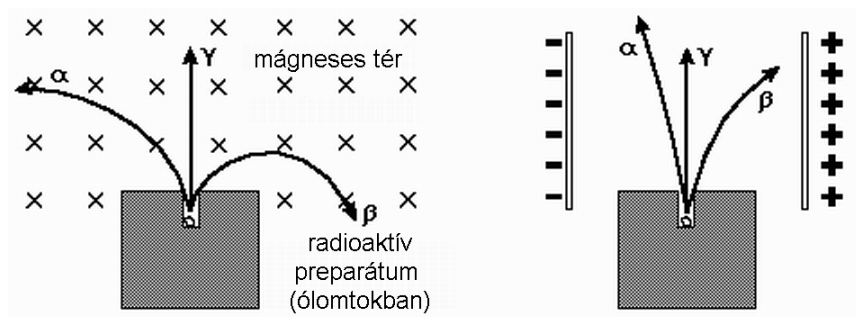
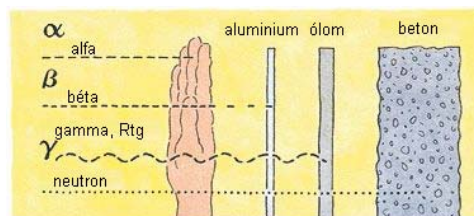


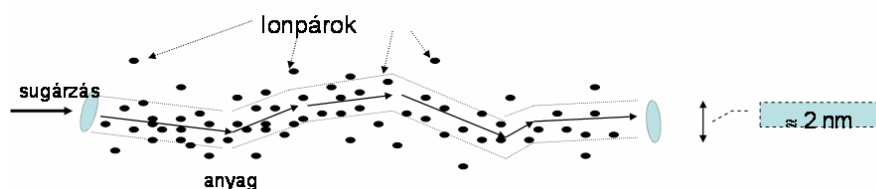
# 1. Az ionizáló sugárzások és az anyag kölcsönhatása



Gondolat, 1976

2

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

3

## Prefixumok

yotta	Y	$10^{24}$	3 nagyságrendenként külön prefixum
zetta	Z	$10^{21}$	
exa	E	$10^{18}$	
peta	P	$10^{15}$	3 nagyságrendenként 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	$10^1$	minden nagyságrendre külön prefixum
deci	d	$10^{-1}$	
centi	c	$10^{-2}$	
milli	m	$10^{-3}$	3 nagyságrendenként külön prefixum
mikro	$\mu$	$10^{-6}$	
nano	n	$10^{-9}$	
piko	p	$10^{-12}$	3 nagyságrendenként külön prefixum
femto	f	$10^{-15}$	
atto	a	$10^{-18}$	
zepto	z	$10^{-21}$	3 nagyságrendenként külön prefixum
yocto	y	$10^{-24}$	

4

## Alfa-sugárzás és az anyag kölcsönhatása

alfa-részecske: He atommag

elektromos töltése:  $2e^+$

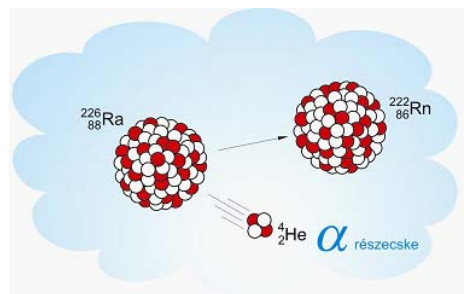
kezdő sebesség több mint 1000 km/s

kinetikus energia néhány MeV

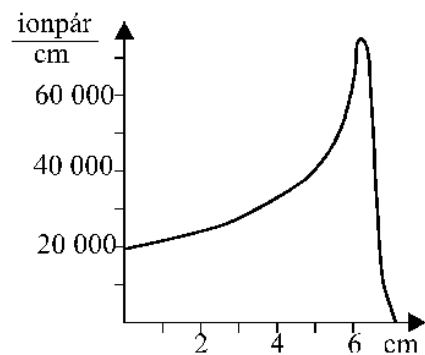
ionizálóképesség jellemzése

**lineáris ionsűrűség** (fajlagos v. specifikus ionizáció)

$l$  hosszúságú úton  $n$  db ionpárt hoz létre



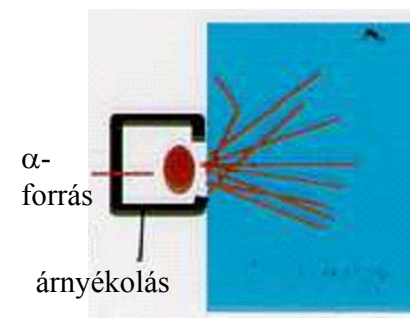
5



$^{214}\text{Po}$   $\alpha$ -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  $\mu\text{m}$

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

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

$\text{LET} = (\text{lineáris ionsűrűség}) \cdot (1 \text{ ionpár keltésére jutó energia})$

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  $1e^+$ )

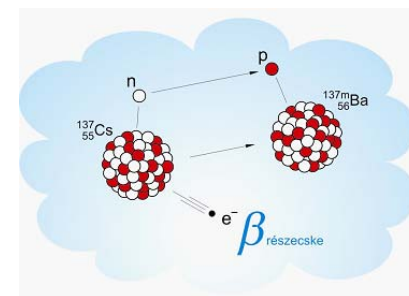
lineáris ionsűrűség: az alfáénál 1000-szer kisebb

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

spektruma folytonos (antineutrínó!), így nincs egységes hatótávolság

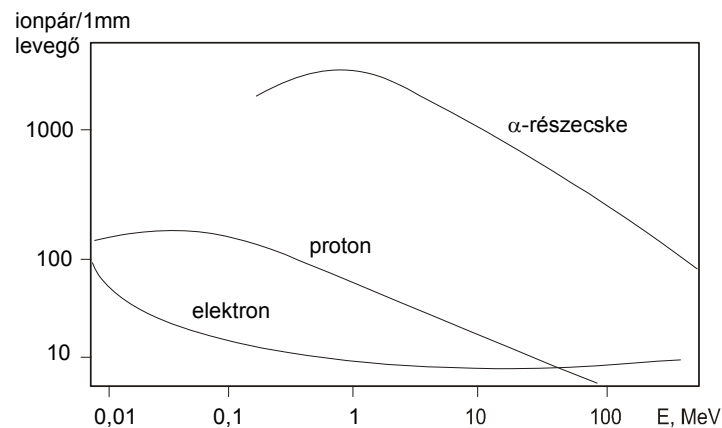
levegőben: 10 cm- 1 m

víz (szövet): 1 mm-1cm



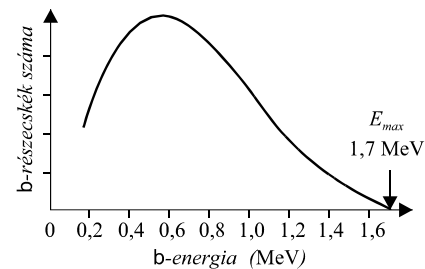
8

## Töltéssel rendelkező részecskék fajlagos ionizációja levegőben

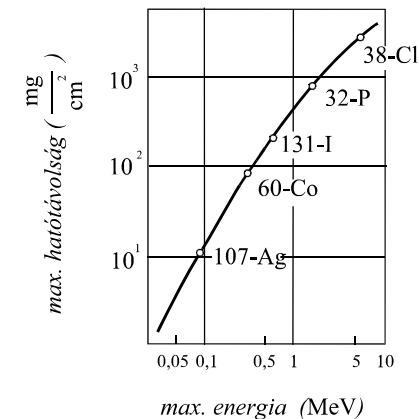
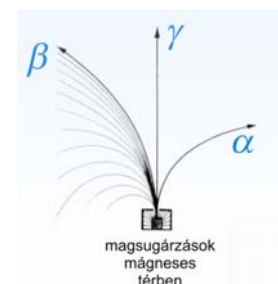


Az  $\alpha$ -, a  $\beta$ - és a proton sugárzás átlagos fajlagos ionizációja a részecske energia függvényében, a levegőben

9



$^{32}\text{P}$   $\beta$ -spektruma  
(Rontó - Tarján 3.2 ábra)

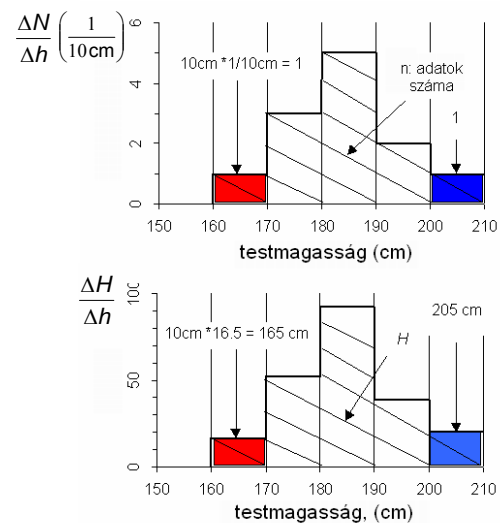


$\beta$  sugárzás maximális hatótávolsága a maximális energia függvényében  
(Rontó - Tarján 3.3 ábra)

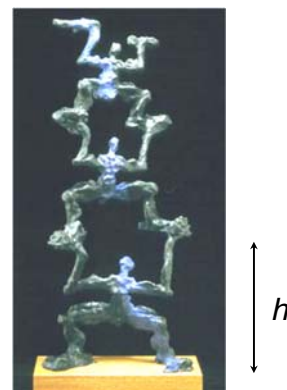
10

kitérő

## Eloszlás sűrűségfüggvény



$h$ : testmagasság  
 $H$ : kollektív magasság

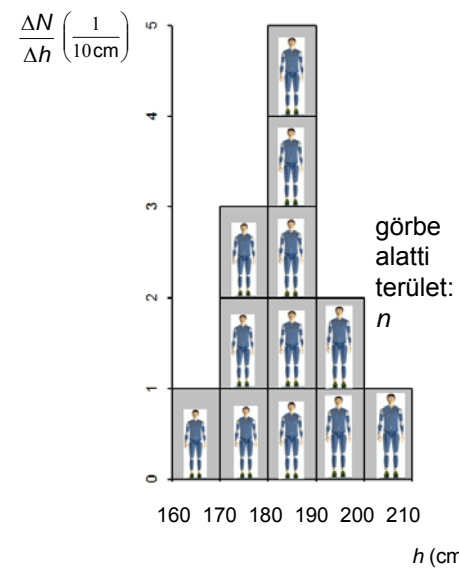


**Spektrum mint speciális eloszlás sűrűségfüggvény**

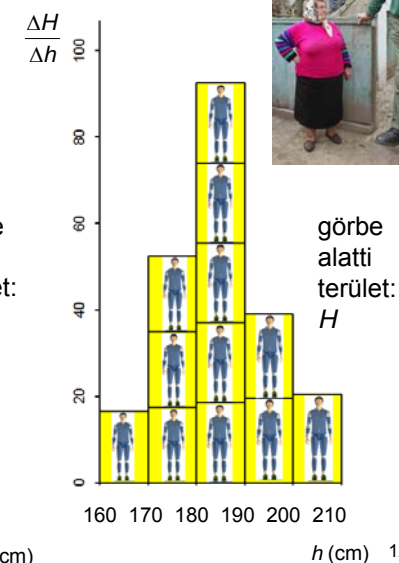
11

kitérő

## Eloszlás sűrűségfüggvény

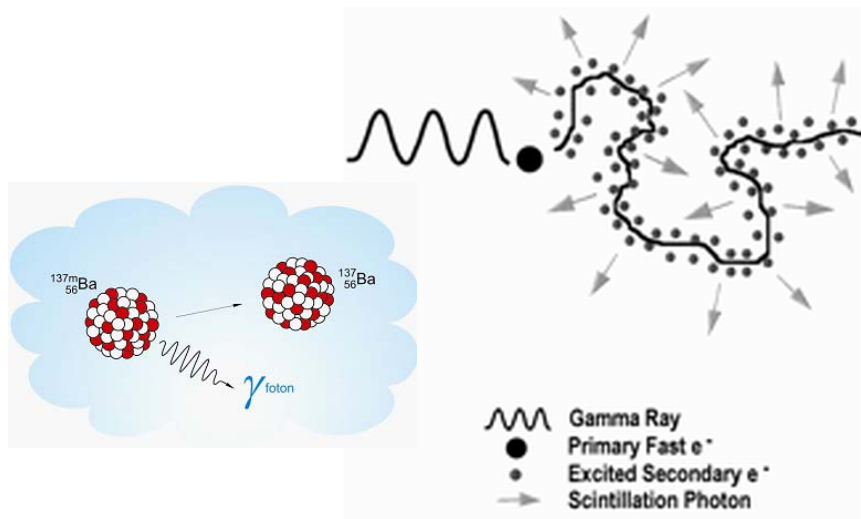


## Spektrum

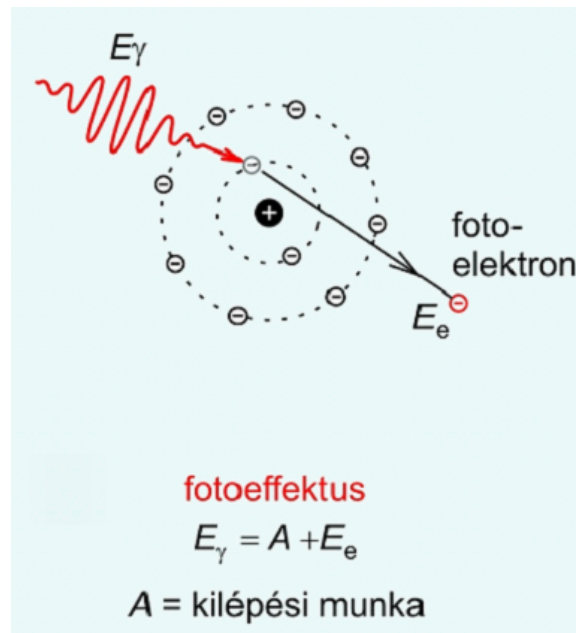
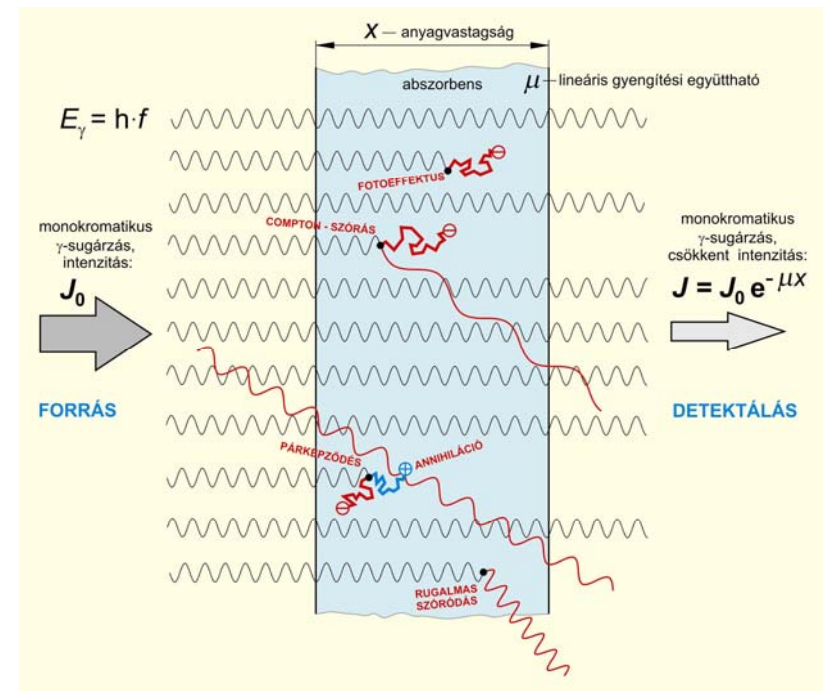


12

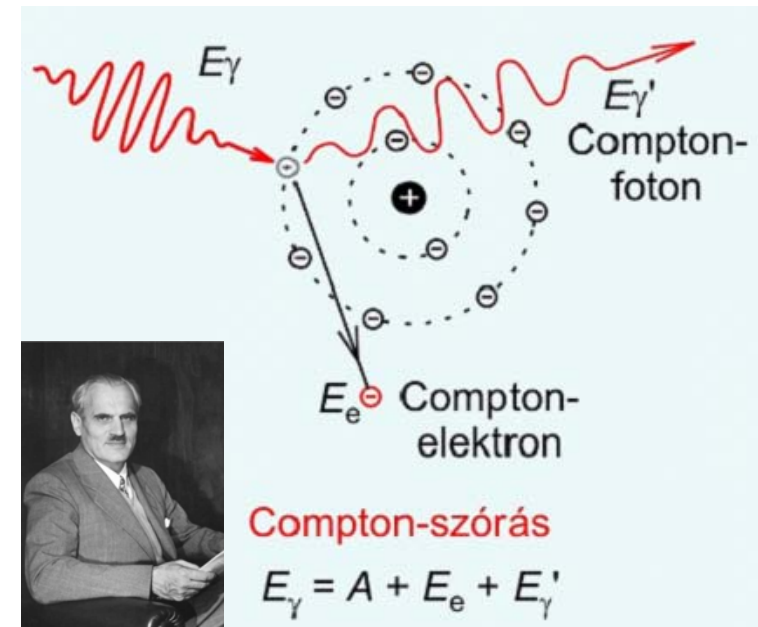
## Gamma/röntgen-sugárzás anyaggal való kölcsönhatása



13

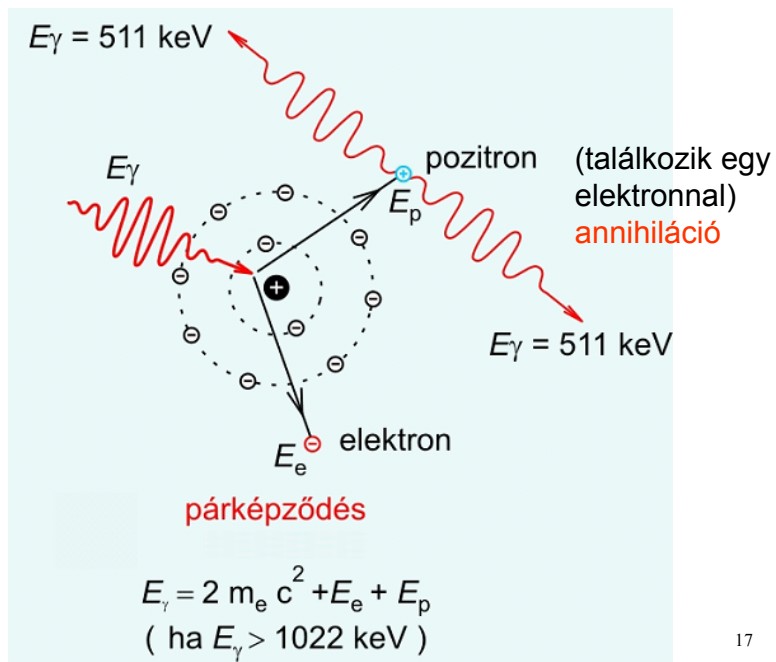


15

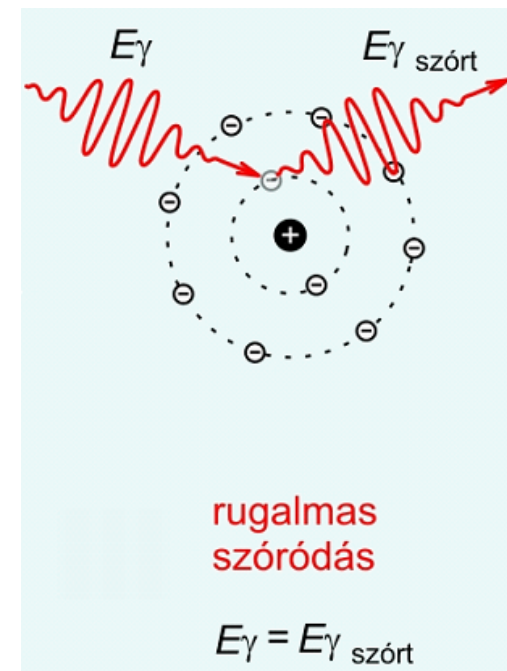


16





17



18

## A sugárzás leírására használható fizikai mennyiségek

energia

$E \text{ [J]}$

teljesítmény

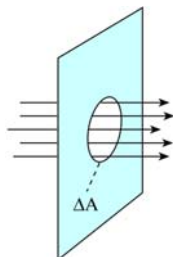
$$P = \frac{\Delta E}{\Delta t} \left[ \frac{\text{J}}{\text{s}} = \text{W} \right]$$

intenzitás

$$J = \frac{\Delta P}{\Delta A} \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right]$$

energia áram

(Power)

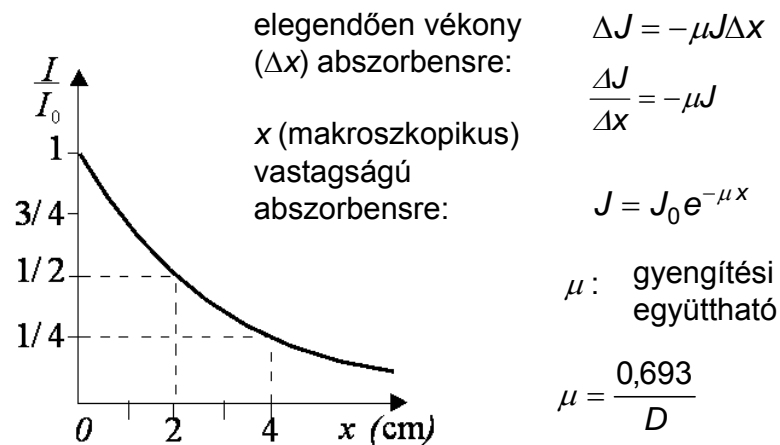


spektrum is!

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

19

## A sugárintenzitás gyengülése



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

$D$  felezési rétegvastagság

20

## 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, cm<sup>2</sup>/g

$$\varepsilon^*$$

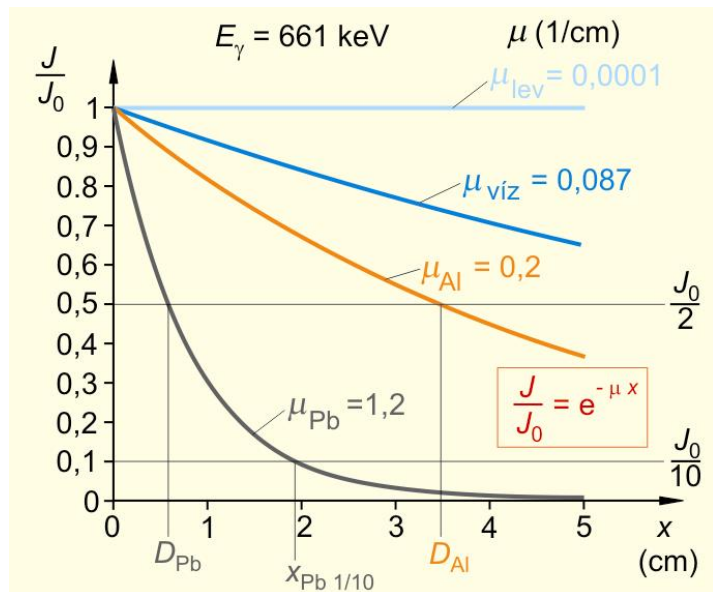
moláris extinkciós együttható,  
L/(mol\*cm)

$$\sigma$$

hatáskeresztmetszet, cm<sup>2</sup>

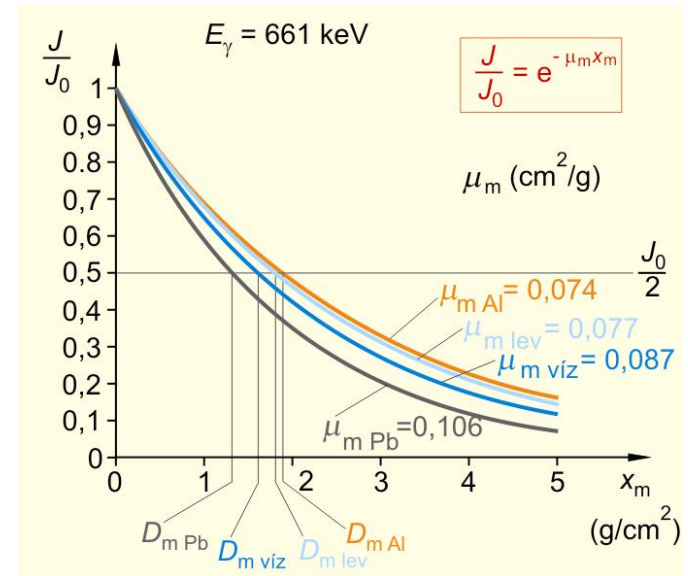
22

## Gyengítési együttható



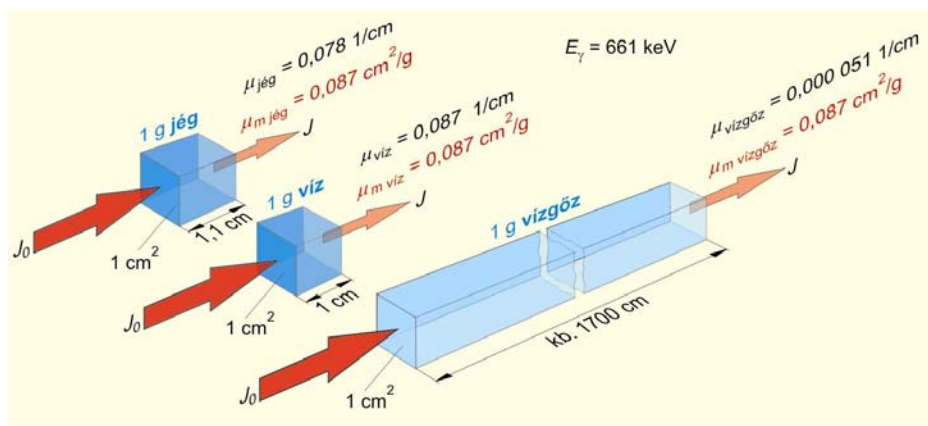
23

## Tömeggyengítési együttható



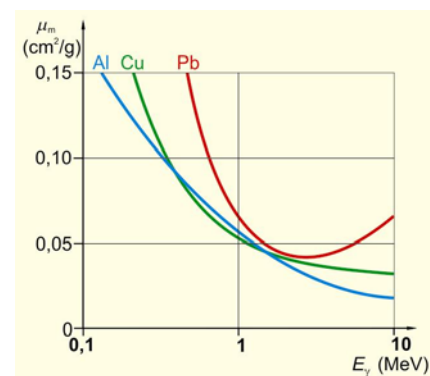
24

## Gyengítési/tömeggyengítési együttható

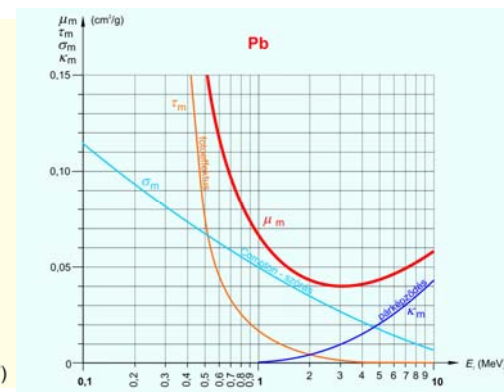


25

## $\mu_{\text{m}}$ fotonenergiától és az abszorbens minőségétől való függése

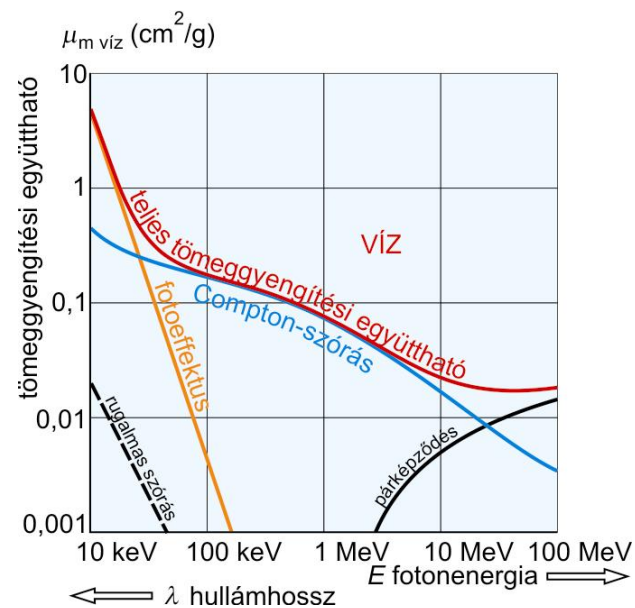


## $\mu_{\text{m}}$ részfolyamatainak fotonenergiától való függése ólom esetén

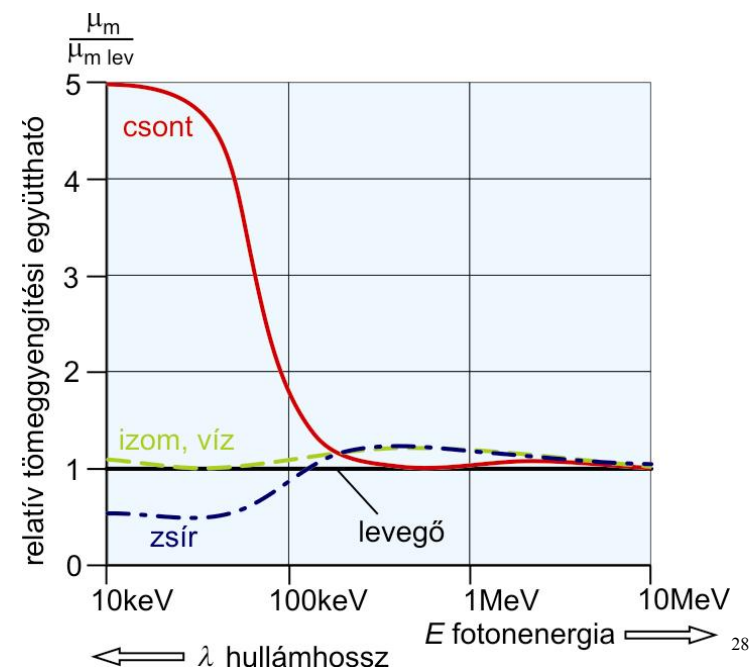


26

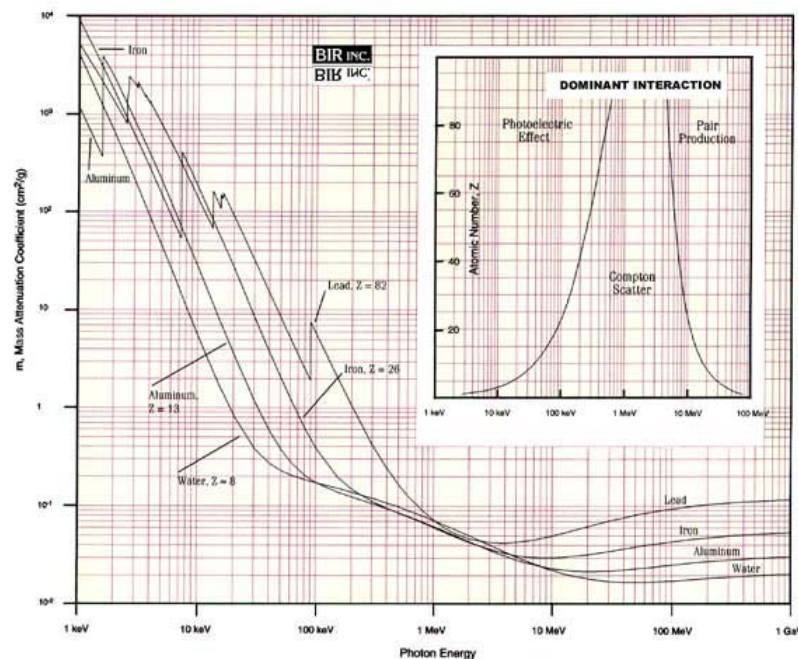
## $\mu_{\text{m}}$ részfolyamatainak fotonenergiától való függése víz esetén



27



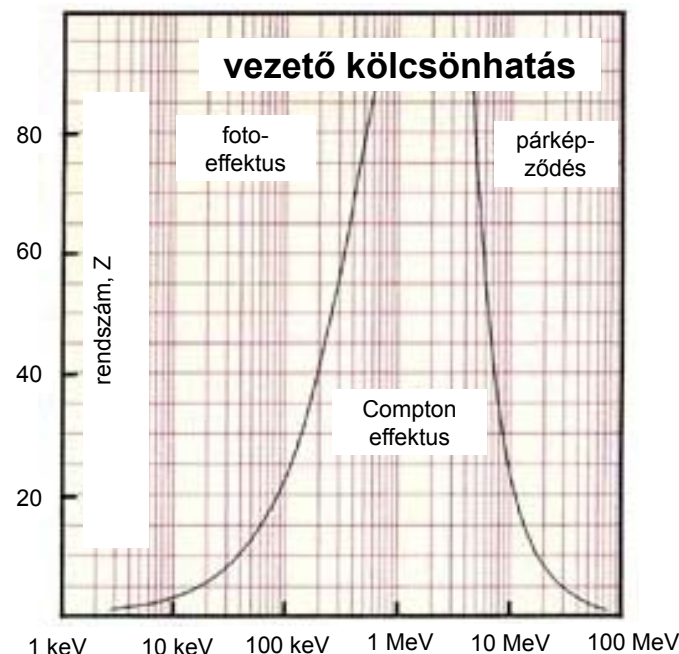
28



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

### 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 rendelkezik, 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  $\gamma$  vagy alfa kibocsátás

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

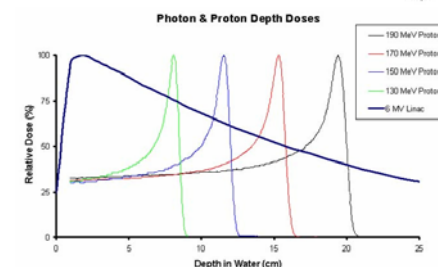
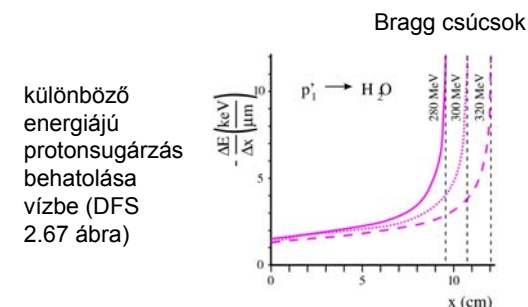
**maghasítás** (>100 MeV): magtöredékek, n-ok,  $\gamma$ -sugárzás

## Protonsugárzás

protonok közegbeli kölcsönhatása nagyon hasonló az alfa sugárzáséhoz

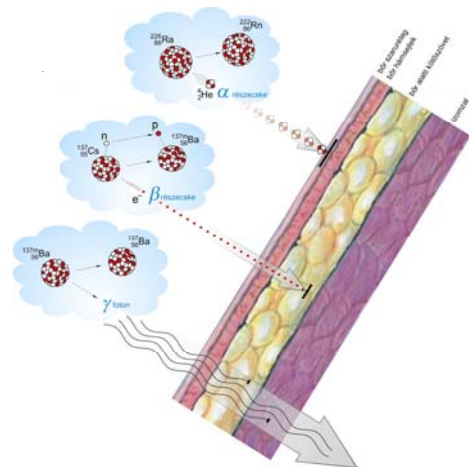
a felülethez közeli rétegekben csak kicsi a lefékezés

a Bragg csúchoz tartozó behatolási mélység: hatótávolság  
terápiás felhasználás!

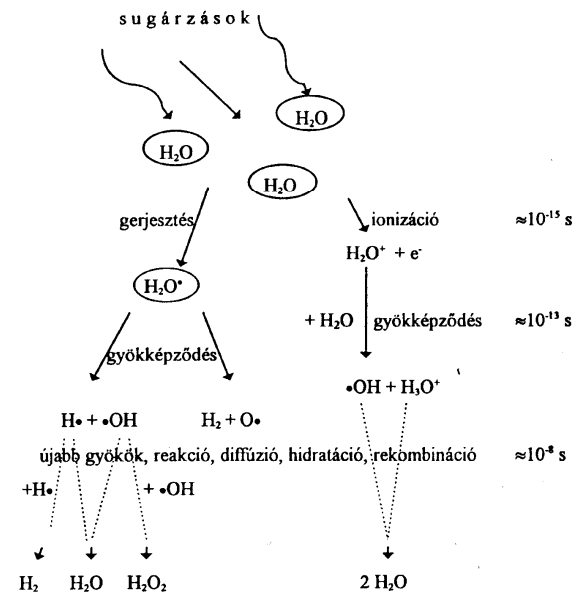




	alfa	béta	gamma	neutron
áthatolóképesség	nagyon kicsi	kicsi	nagyon nagy	nagyon nagy
veszélyesség	belső	belső/külső	külső	külső
védelem	papír	műanyag	ólom, beton	víz, beton

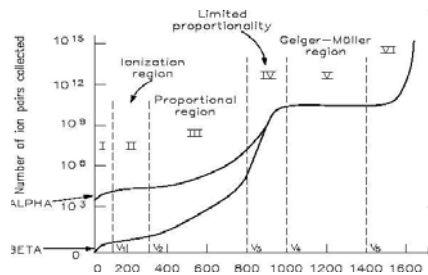


33



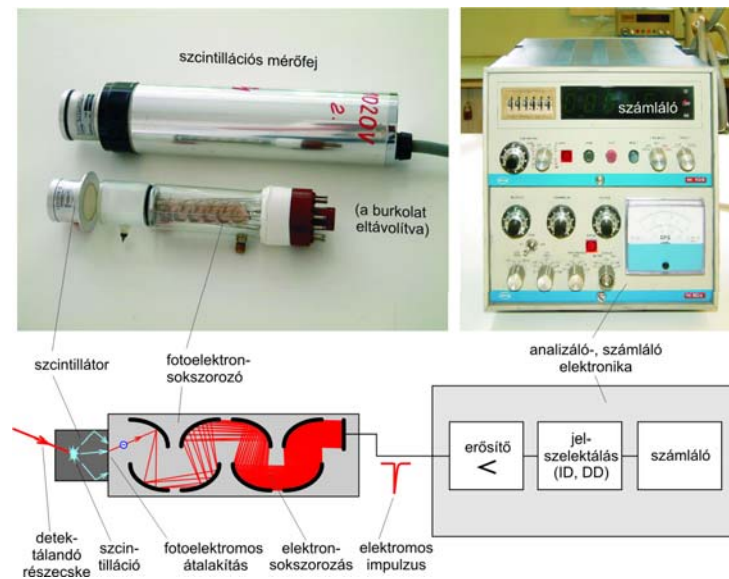
34

## 2. A sugárzások mérése

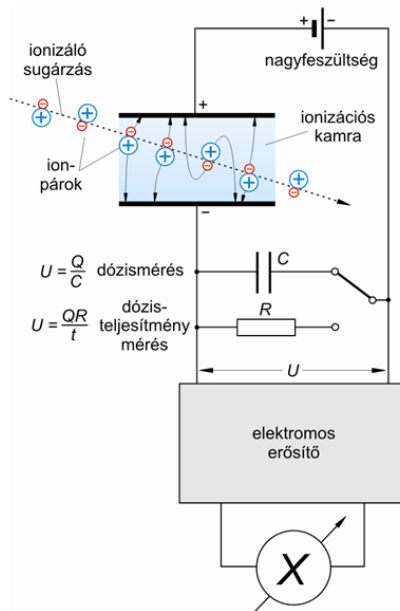


35

## Szcintillációs számláló

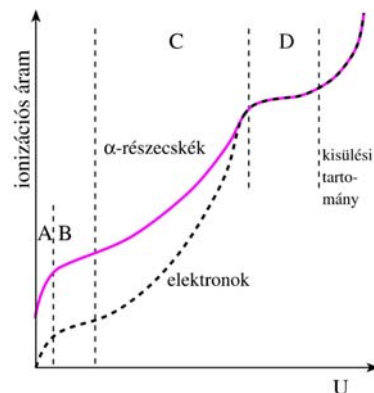


36



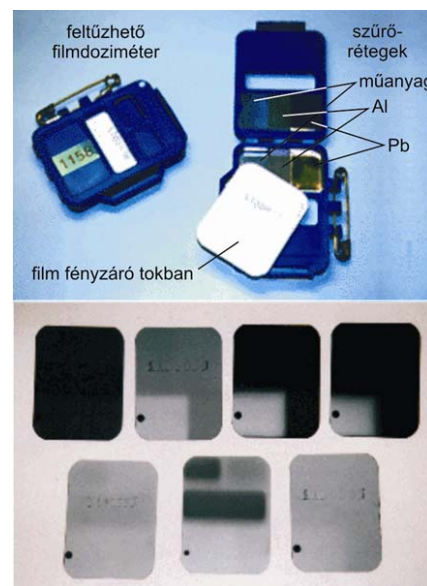
Orvosi fizika gyakorlatok, 2005

## 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 dózisával

két réteg:  
érzékenyebb (50  $\mu$ Sv-50 mSv)  
érzékletlenebb (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).

38

Orvosi fizika gyakorlatok, 2005

## Zsebkamra doziméter

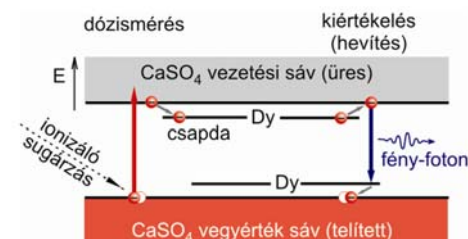


## GM-csöves számlálók



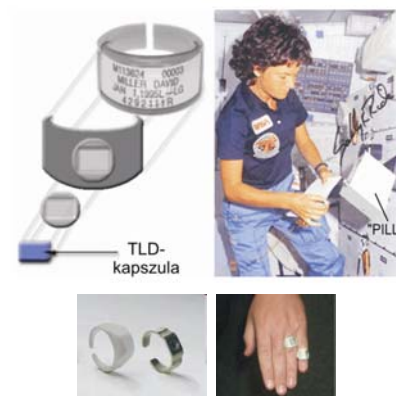
39

Orvosi fizika gyakorlatok, 2005



## Termolumineszcens dózismérő

az elektronok”  
csapdába” kerülnek



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

40