

Πυρηνική Φυσική και Φυσική Στοιχειωδών Σωματιδίων (5ου εξαμήνου, χειμερινό 2015-16)

Τμήμα Τ3: Κ. Κορδάς & Σ. Ε. Τζαμαρίας

Μάθημα 18

Αλληλεπίδραση ακτινοβολίας με την ύλη.

Κώστας Κορδάς

Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

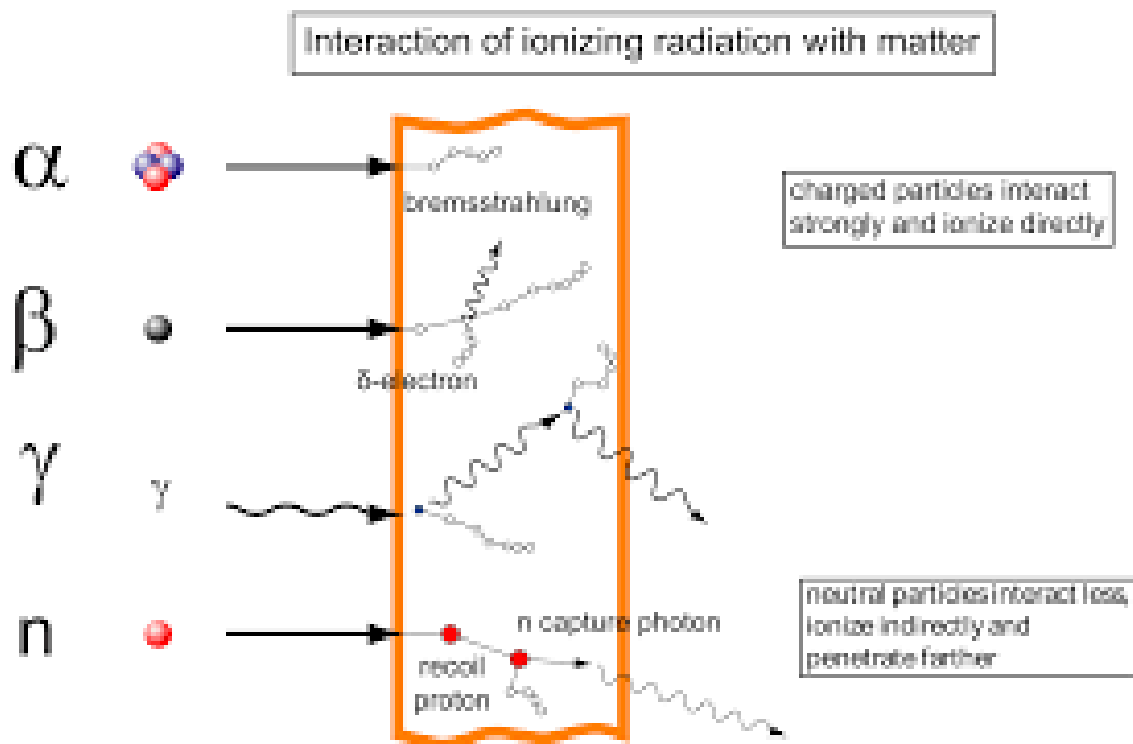
Πυρηνική & Στοιχειώδη Ι, Αριστοτέλειο Παν. Θ/νίκης, 23 Οκτωβρίου 2015

Τι θα συζητήσουμε

- Κεφ. 13 βιβλίο C&G :
 - Διέλευση σωματιδίων από την ύλη
- Παράρτημα Ε βιβλίο C&G:
 - ενεργότητα και μονάδες ραδιενέργειας

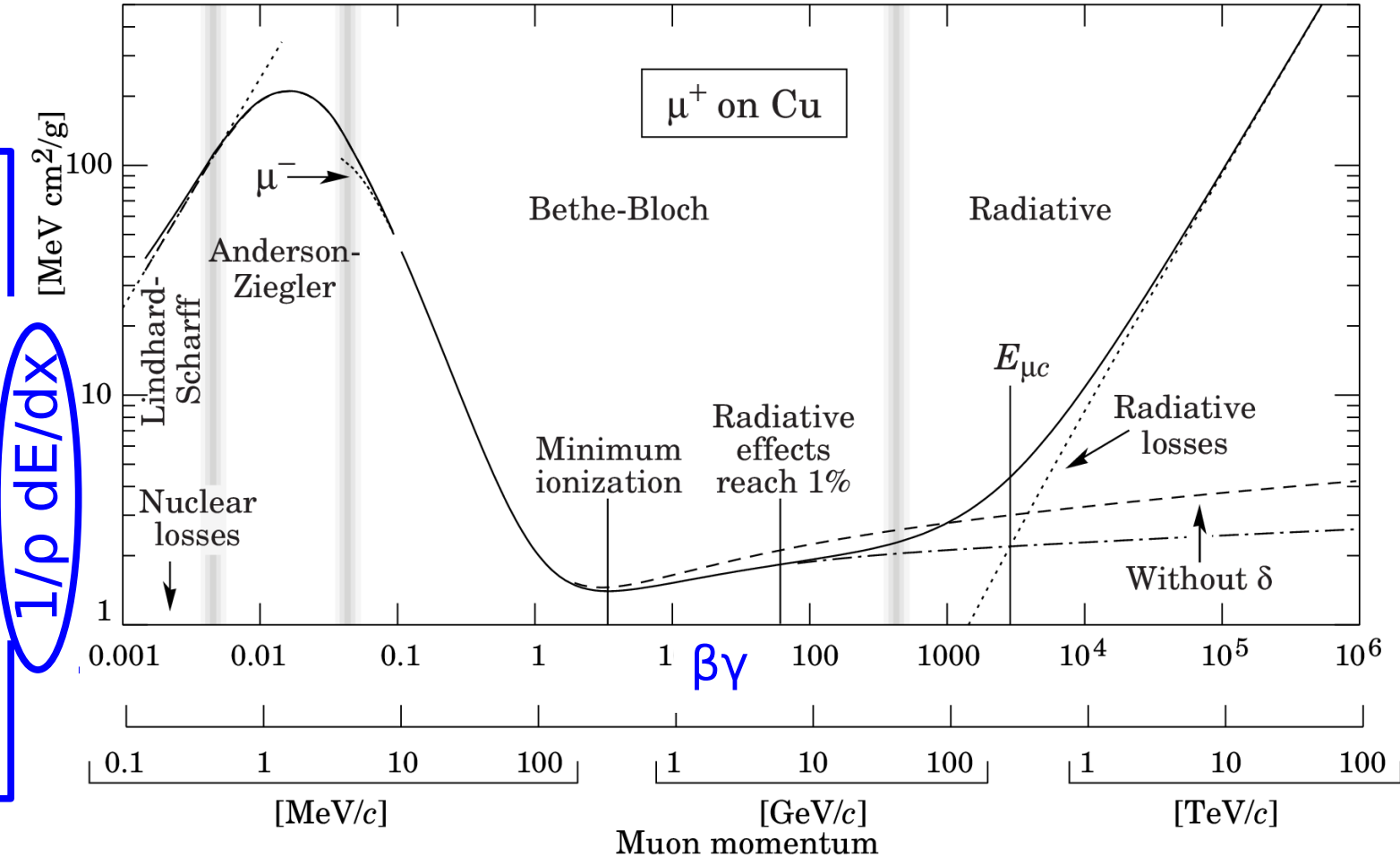
1. Αλληλεπίδραση σωματιδίων με την ύλη:

Κεφάλαιο 13 (dE/dx , φωτόνια)



Φορτισμένο σωματίδιο χάνει ενέργεια διαπερνώντας την ύλη: specific Energy Loss ($1/\rho \, dE/dx$)

Για να υπολογίσουμε την απώλεια ενέργειας ανά μονάδα απόστασης (dE/dx , σε MeV/cm), πρέπει να πολλαπλασιάσουμε το $1/\rho \, dE/dx$ (σε MeV cm²/g) με την πυκνότητα ρ του υλικού.



Ένα σωματίδιο διασχίζει ένα υλικό με πυκνότητα ρ . Ανάλογα με την ορμή του, το σωματίδιο χάνει ενέργεια και με διαφορετικό μηχανισμό. Π.χ., στην περιοχή $\beta\gamma = [0.1 - 1000]$ (περιοχή Bethe-Bloch) έχουμε απώλειες με ιονισμό του υλικού. Από εκεί και πάνω, η απώλεια ενέργειας είναι κυρίως λόγω εκπομπής φωτονίων (δηλ., με radiation = Bremsstrahlung)

Απώλεια ενέργειας με ιονισμό και διέγερση του υλικού (Bethe-Bloch)

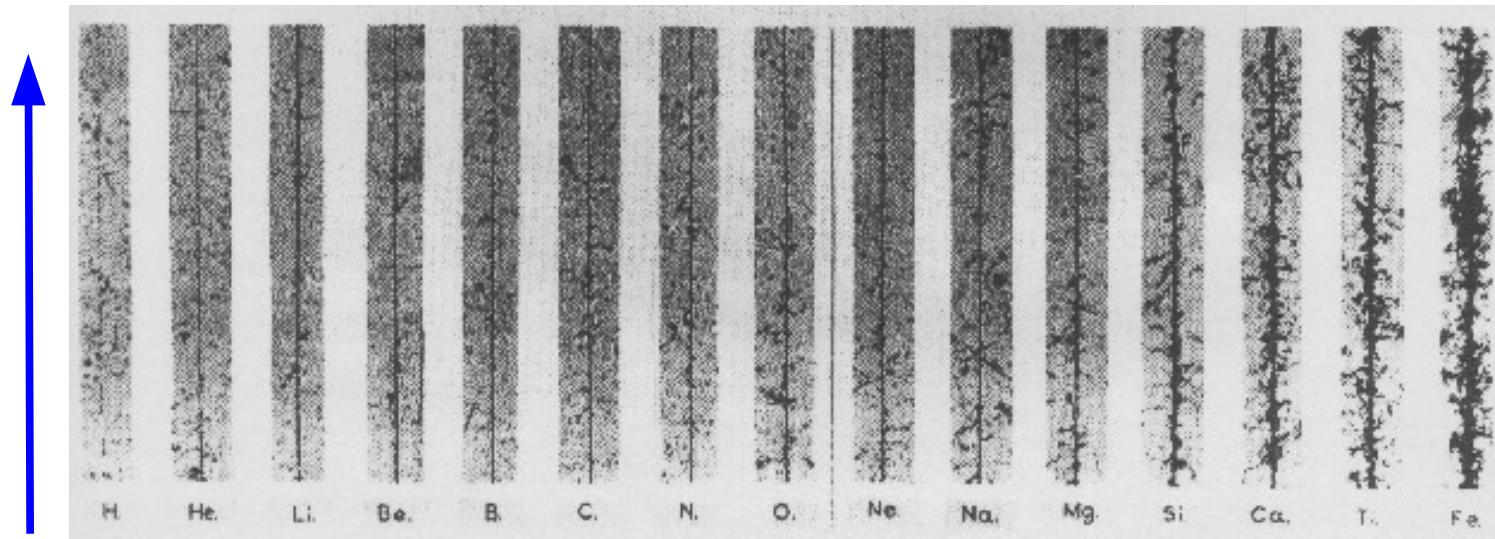
$$\frac{1}{\rho} \frac{dE}{dx} = -4\pi r_e^2 m_e c^2 \frac{Z_1^2}{\beta^2} N_A \frac{Z}{A} \left[\ln \frac{2m_e c^2 \beta^2 \gamma^2 F}{I} - \beta^2 - \frac{\delta(\beta\gamma)}{2} \right]$$

Bethe Bloch Formula

$Z_1 e$ = φορτίο προσπίπτοντος σωματιδίου

$\beta = v/c$ ταχύτητά του

ρ, Z, A = πυκνότητα κλπ του ανιχνευτή



Π.χ., Φορτισμένα σωματίδια (από κοσμική ακτινοβολία) διαπερνούν υλικό πυκνότητας ρ .

→ Η απώλεια ενέργειάς του είναι μεγαλύτερη, όσο περισσότερο φορτίο έχει το σωματίδιο: $dE/dx \sim Z_1^2$

Απώλεια ενέργειας με ιονισμό και διέγερση του υλικού (Bethe-Bloch)

$$\frac{1}{\rho} \frac{dE}{dx} = -4\pi r_e^2 m_e c^2 \frac{Z_1^2}{\beta^2} N_A \frac{Z}{A} \left[\ln \frac{2m_e c^2 \beta^2 \gamma^2 F}{I} - \beta^2 - \frac{\delta(\beta\gamma)}{2} \right]$$

$Z_1 e$ = φορτίο προσπίπτοντος

σωματιδίου

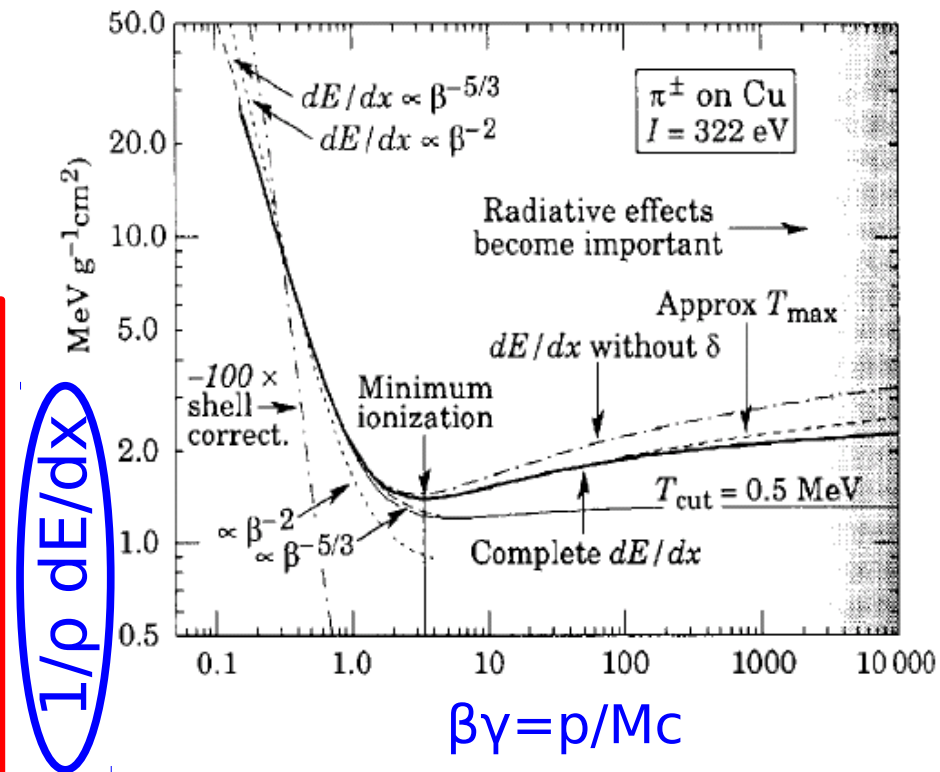
β = η ταχύτητά του

ρ, Z, A = πυκνότητα κλπ. του ανιχνευτή

Bethe Bloch Formula

Energy Loss $1/\rho dE/dx$

- first decreases as $1/\beta^2$
- increases with $\ln \gamma$ for $\beta = 1$
- is $\approx$ independent of M ($M \gg m_e$)
- is proportional to Z_1^2 of the incoming particle.
- is $\approx$ independent of the material ($Z/A \approx \text{const}$)
- shows a plateau at large $\beta\gamma$ ($\gg 100$)
- $dE/dx \approx 1-2 * \rho [\text{g/cm}^3] \text{ MeV/cm}$



π.χ. Μιόνιο διαπερνά σίδηρο - απώλεια ενέργειας (Energy Loss)

Bethe Bloch Formula, a few Numbers:

Σημειώστε ότι για $Z \approx 0.5$ A:
 $1/\rho \, dE/dx \approx 1.4 \text{ MeV cm}^2/\text{g}$,
όταν $\beta\gamma \approx 3$ (minimum ionizing)

Παράδειγμα :

Σίδηρο: πάχος = 100 cm;

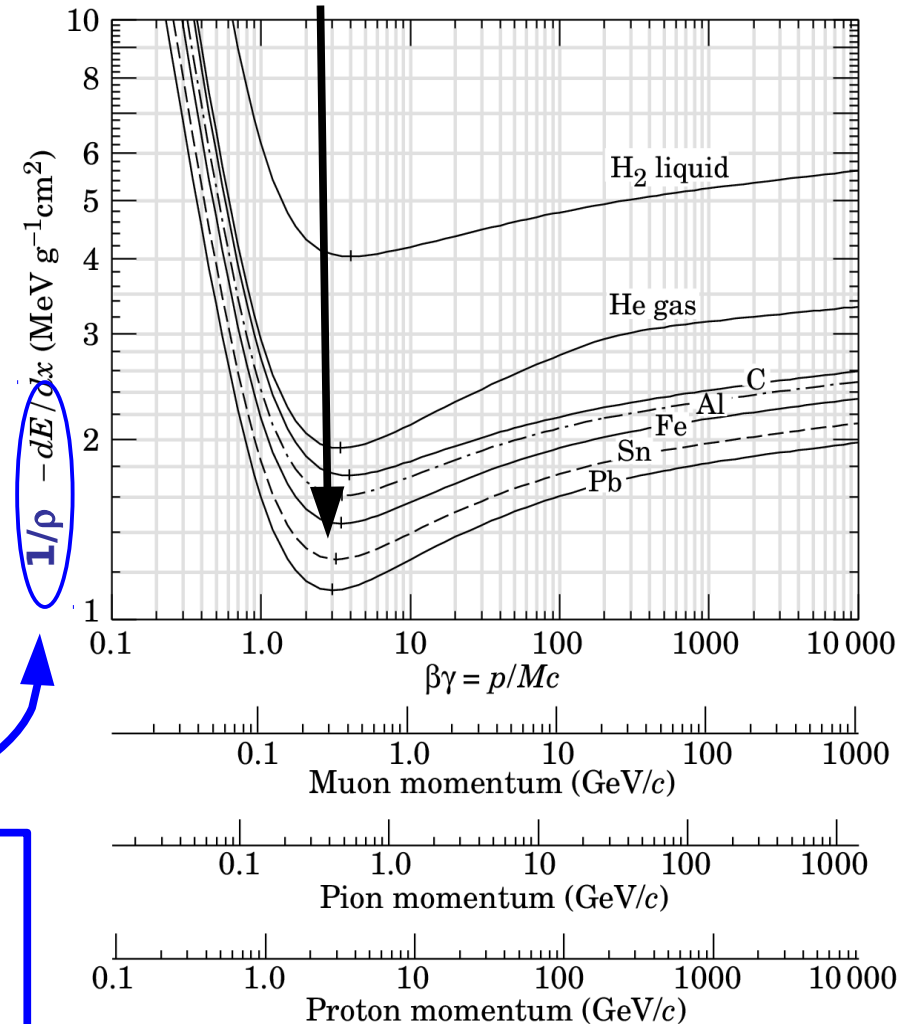
$\rho = 7.87 \text{ g/cm}^3$

$dE \approx 1.4 * 100 * 7.87$
 $= 1102 \text{ MeV}$

**→ A 1.15 GeV Muon can
traverse 1m of Iron!**

Για να υπολογίσουμε την απώλεια ενέργειας ανά μονάδα απόστασης (dE/dx , σε MeV/cm),
πρέπει να πολλαπλασιάσουμε το $1/\rho \, dE/dx$ (σε $\text{MeV cm}^2/\text{g}$) με την πυκνότητα ρ του υλικού.

“a minimum ionizing particle (MIP)”



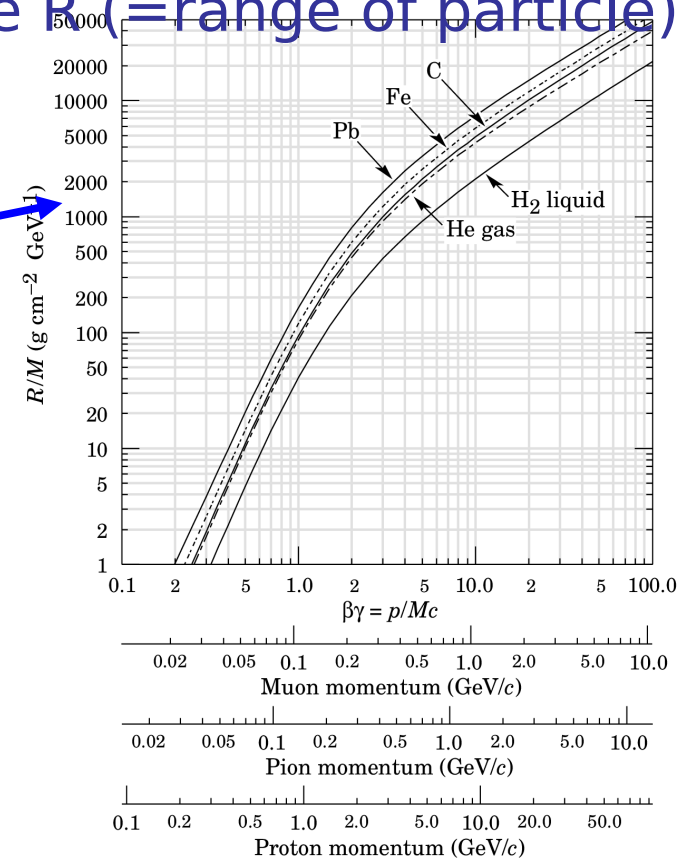
ΣωματΙΑ σταματούν – απόσταση(range)

Particle of mass M and kinetic Energy E_0 enters matter and loses energy until it comes to rest at distance R (=range of particle).

$$R(E_0) = \int_{E_0}^0 \frac{-1}{dE/dx} dE$$

$$R(\beta_0 \gamma_0) = \frac{Mc^2}{\rho} \frac{1}{Z_1^2} \frac{A}{Z} f(\beta_0 \gamma_0)$$

$$\frac{\rho}{Mc^2} R(\beta_0 \gamma_0) = \frac{1}{Z_1^2} \frac{A}{Z} f(\beta_0 \gamma_0)$$



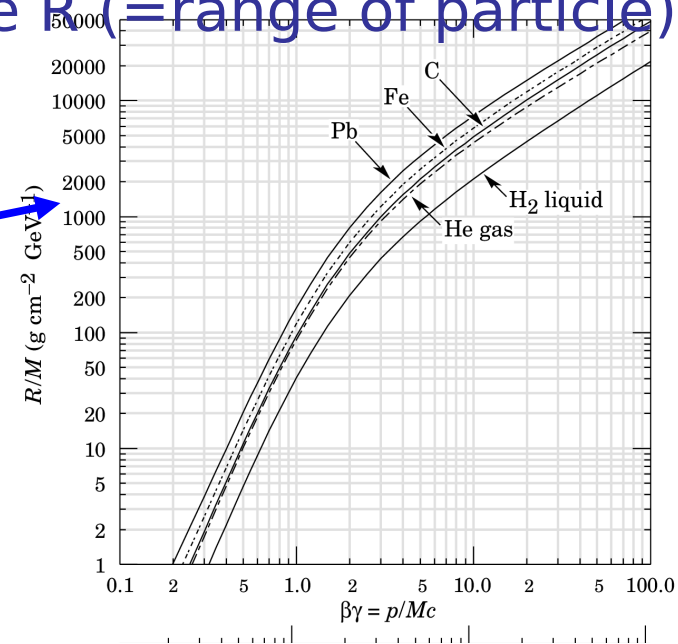
ΣωματΙΑ σταματούν – απόσταση(range)

Particle of mass M and kinetic Energy E_0 enters matter and loses energy until it comes to rest at distance R (=range of particle).

$$R(E_0) = \int_{E_0}^0 \frac{-1}{dE/dx} dE$$

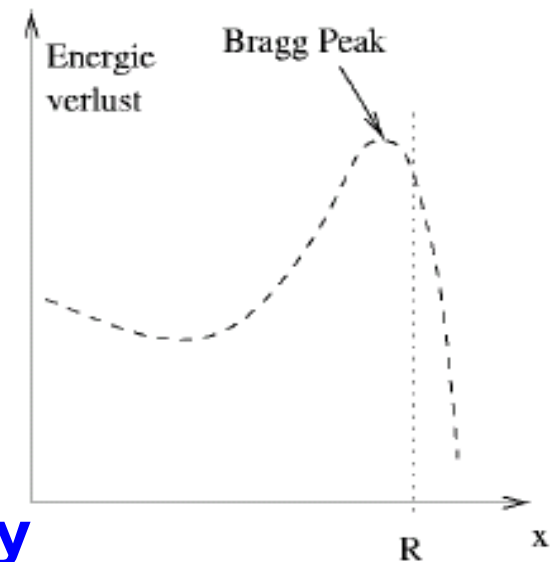
$$R(\beta_0 \gamma_0) = \frac{Mc^2}{\rho} \frac{1}{Z_1^2} \frac{A}{Z} f(\beta_0 \gamma_0)$$

$$\frac{\rho}{Mc^2} R(\beta_0 \gamma_0) = \frac{1}{Z_1^2} \frac{A}{Z} f(\beta_0 \gamma_0)$$



Bragg Peak:

- For $\beta\gamma > 3$ the energy loss is $\approx$ constant (Fermi Plateau)
- As the energy of the particle falls, below $\beta\gamma = 3$, the energy loss rises as $1/\beta^2$
- **Towards the end of the track the energy loss is largest $\rightarrow$ Cancer Therapy**

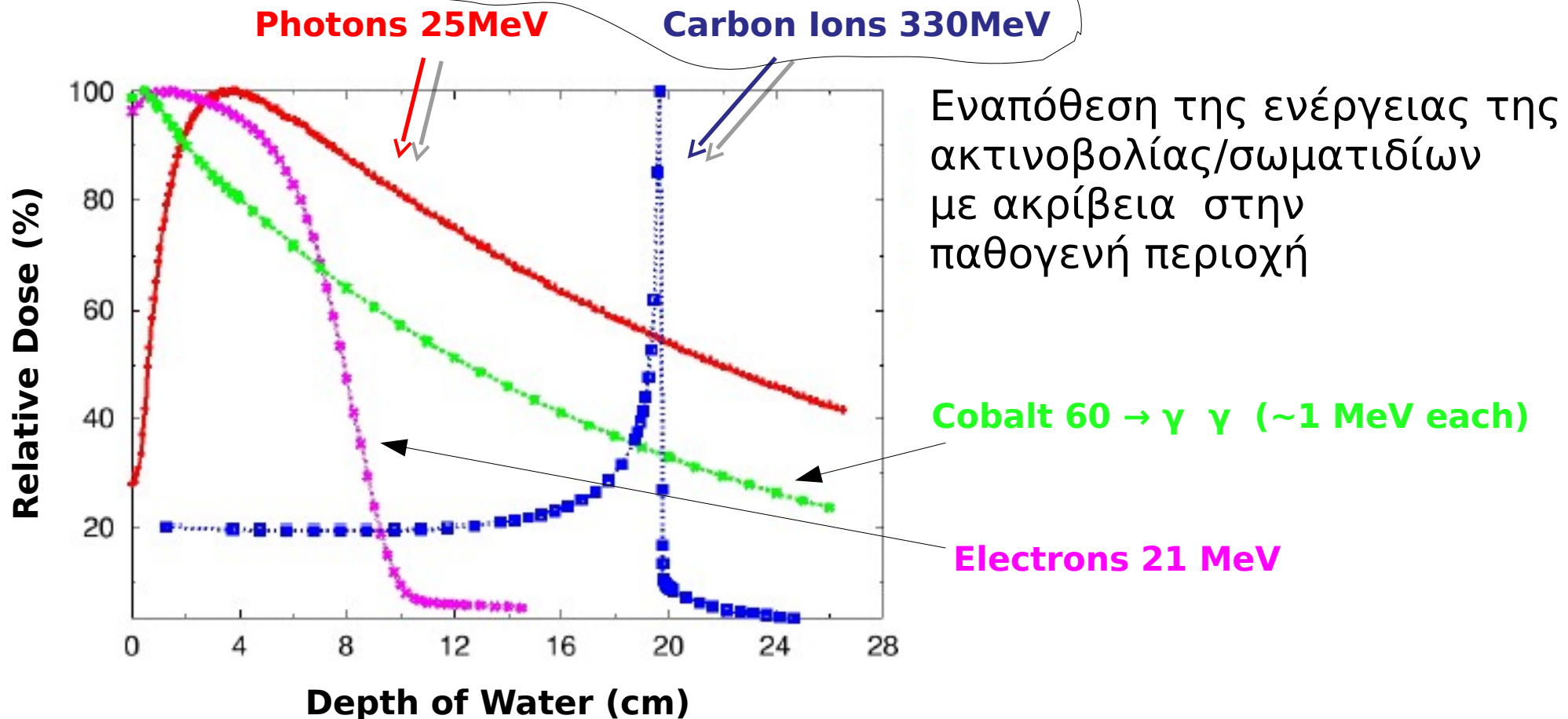


Χωρική κατανομή εναπόθεσης της ενέργειας

Average Range:

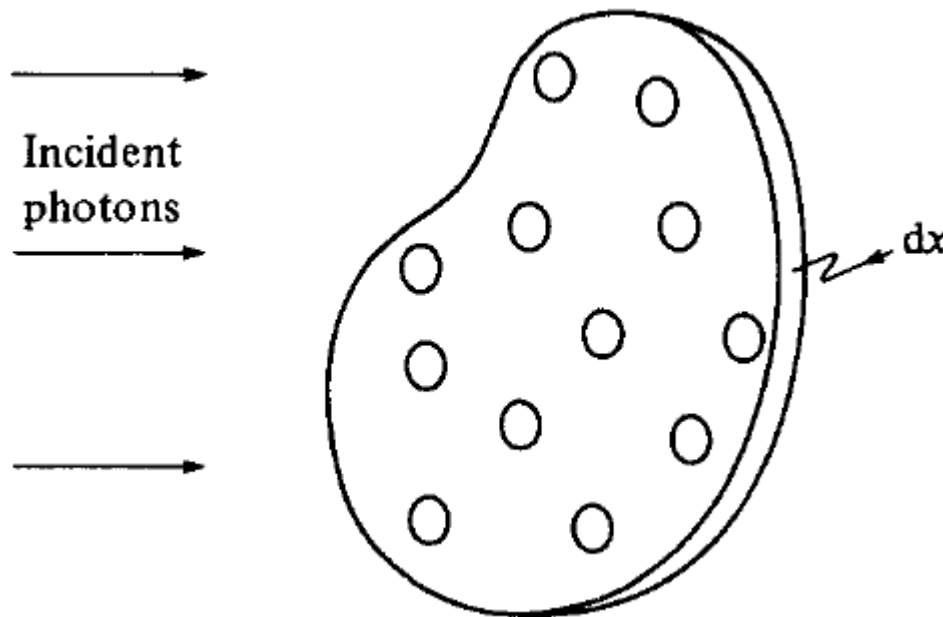
Towards the end of the track the energy loss is largest

→ Bragg Peak → **Cancer Therapy**



2. Αλληλεπίδραση φωτονίων με την ύλη

Φωτόνια περνώντας μέσα από υλικό



Τι μπορεί να πάθουν:

- Compton
- Φωτοηλεκτρικό
- Δίδυμη γέννηση
- απλά περνάν ή κάνουν ελαστική σκέδαση

$$\begin{aligned}\frac{dn}{n} &= - \frac{\text{area covered by cross-sections}}{\text{total area}} \\ &= - \frac{(\rho/m_a)S \, dx \, \sigma_{\text{tot}}}{S} = -(\rho/m_a)\sigma_{\text{tot}} \, dx\end{aligned}$$

S: Επιφάνεια

dx : Πάχος

ρ : Πυκνότητα

M_a : Μάζα ατόμων υλικού: m_a

σ_{tot} : ενεργός διατομή αλληλεπίδρασης

$$n(x) = n(0)e^{-\mu x}$$

$$\mu = \rho\sigma_{\text{tot}}/m_a$$

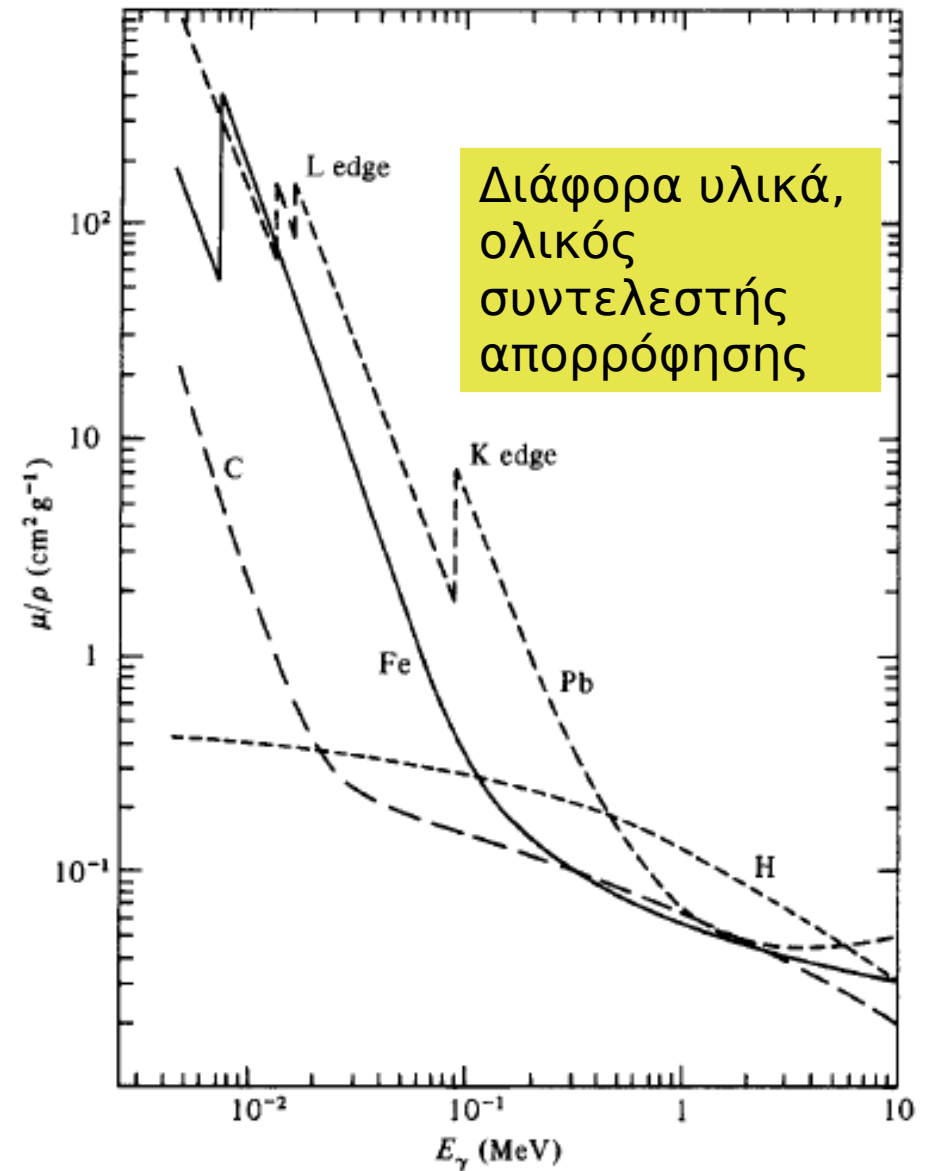
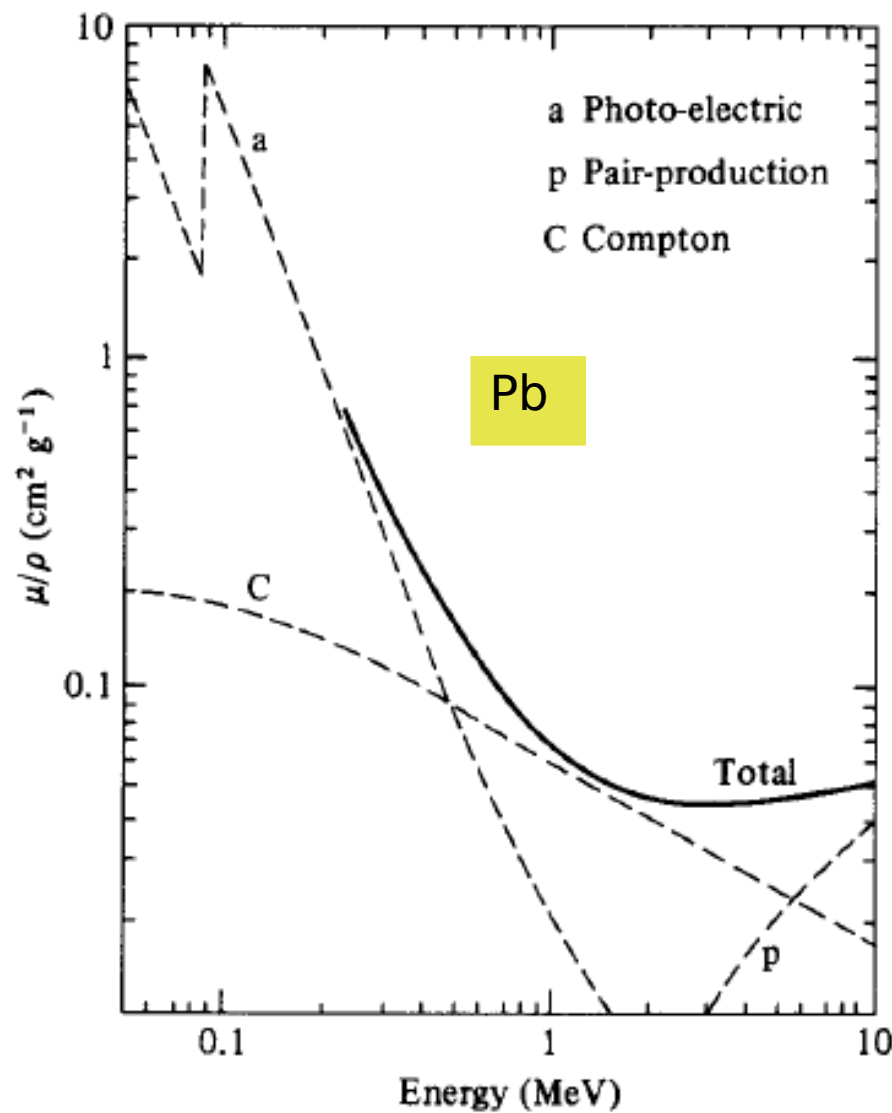
$$\mu/\rho = \sigma_{\text{tot}}/m_a$$

Εκθετική μείωση του αριθμού φωτονίων που περνούν

Γραμμικός συντελεστής εξασθησης (ή απορρόφησης)

Μαζικός συντελεστής εξασθησης (ή απορρόφησης)

Φωτόνια περνώντας μέσα από υλικό



Παράδειγμα της διεισδυτικότητας των φωτονίων

Table 14.1. *Ionising path lengths for 1 MeV electrons and 1 MeV α -particles, and 1 MeV photon attenuation lengths, in air and in soft tissue*

	Air (cm)	Soft tissue (cm)
Electron	380	0.43
Alpha particle	0.52	7×10^{-4}
Photon	1.1×10^4	14

(Data from *American Institute of Physics Handbook*, 3rd ed. 1972, New York: McGraw-Hill.)

3. Ενεργότητα και μονάδες ραδιενέργειας

Παράρτημα Ε

(Bq, Gr, Sv = Gr*RBE, κλπ)

Μονάδες

- Πόσες διασπάσεις ανα μονάδα χρόνου:
 - **1 Bq = 1 διάσπαση / sec** (Becquerel)
 - $1 \text{ Ci} = 3.7 * 10^{10} \text{ Bq}$ (Curie)
- Δεν δίνουν όμως όλες την ίδια ενέργεια. Οπότε, πόση ενέργεια δίνουν ανά μονάδα όγκου και ανά μονάδα πθκνότητας;
 - **1 Gy = 1 J** απορροφηθείσα ενέργεια **ανά kg** υλικού (Gray)
 - $1 \text{ rad} = 0.01 \text{ Gy}$
- Επίσης, δεν έχει το κάθε Joule ενέργειας το ίδιο βιολογικό αποτέλεσμα. Ανάλογα με το ποιός είναι ο τύπος της ακτινοβολίας, και με πόση ενέργεια πέφτει πάνω μας έχουμε κι άλλον “παράγοντα βιολογικής δράσης” (BRE factors):

- **1 Sv = 1 Gy * BRE**

BRE factors:

1 for X-rays, γ -rays, β -particles and muons,
5 for protons $> 2 \text{ MeV}$,
20 for α -particles.

BRE factors για νετρόνια:

5 for $< 10 \text{ keV}$,
10 for $10\text{--}100 \text{ keV}$,
20 for 100 keV to 2 MeV ,
10 for $2\text{--}20 \text{ MeV}$,
5 for $> 20 \text{ MeV}$.

Δόσεις: από το φυσικό περιβάλλον και από ανθρώπινες δραστηριότητες

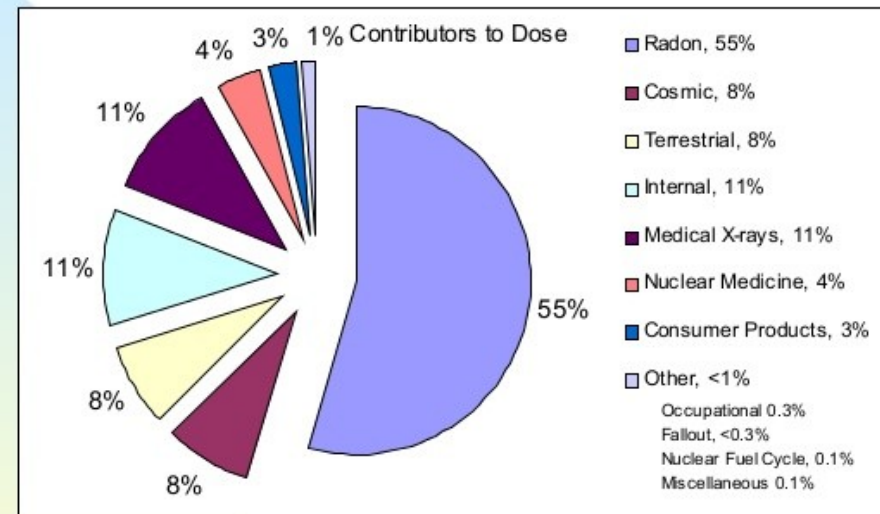
Κάθε χρόνο:

Από ακτινοβολία υποβάθρου:

- Κοσμική ακτινοβολία:
 - 0.25mSv (επιφάνεια θάλασσας)
 - 2mSv (σε ύψος 4km)
- ^{40}K στο σώμα μας: 0.17 mSv (^{40}K = 0.2% του βάρους μας!)
- Ραδιενεργά στοιχεία εδάφους: 0.2-0.4 mSv
- Ραδιενεργό αέριο ραδόνιο (^{222}Rn και ^{220}Rn): ~1 mSv

ΣΥΝΟΛΟ φυσικής ακτινοβολίας: ~ 2 mSv

Where Your Dose Comes From



Contribution of various sources to the total U.S. average effective dose equivalent

[Jump to first page](#)



Από ανθρωπογενείς παράγοντες:

- Διαγνωστικές εξετάσεις, εργασία σε περιβάλλον με ραδιενέργεια κλπ. ΣΥΝΟΛΟ από τέτοιες γενικές δραστηριότητες, εκτός εργασίας, είναι αρκετά μικρότερο από τη συνεισφορά του φυσικού περιβάλλοντος
- ειδικά όρια για την ανώτατη επαγγελματική δόση (πχ., <50 mSv)
- Η βλάβη στον οργανισμό μας εξαρτάται από πολλούς παράγοντες. Όχι απλά ανάλογη της δόσης (ποιό όργανο; διάρκεια ακτινοβολήσης; , κλπ)