



# ΙΑΤΡΙΚΗ ΦΥΣΙΚΗ

**eclass: MED1114**

**Π. Παπαγιάννης**

Αν. Καθηγητής,  
Εργαστήριο Ιατρικής Φυσικής,  
Ιατρική Σχολή Αθηνών.

Γραφείο 21

210-746 2442

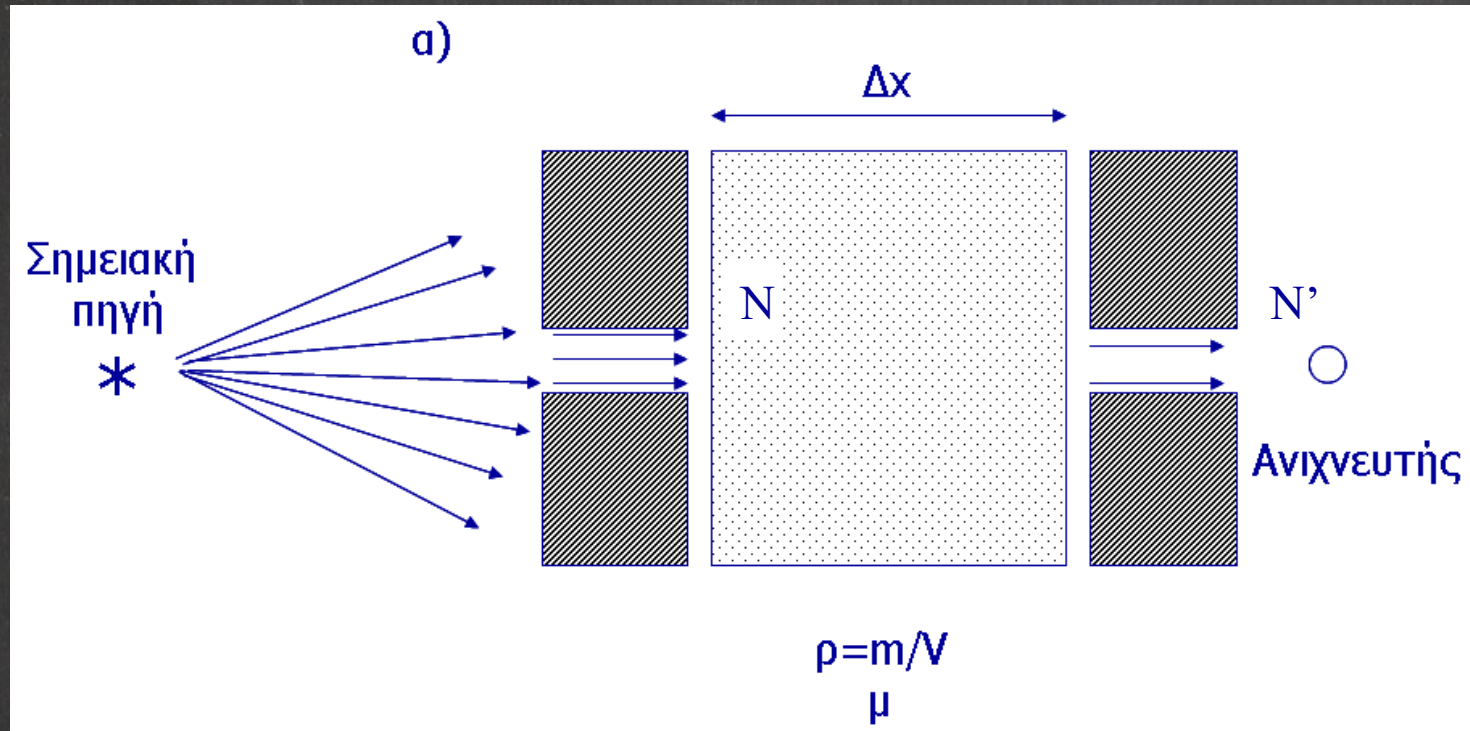
[ppapagi@med.uoa.gr](mailto:ppapagi@med.uoa.gr)

Αλ/δραση Ιοντιζουσας **H/M** Ακτινοβολιας -Υλης

Συχνότητα, f (s <sup>-1</sup> )	Μήκος κύματος, λ	Ενέργεια	Περιοχή	Ιδιότητες σε σχέση με βιολογικά υλικά
10 <sup>5</sup> 3 10 <sup>10</sup>	3 km 0.01 m	413 peV 124 μεV	Ραδιοκύματα	Παράγονται από την ταλάντωση ηλεκτρικών φορτίων και χρησιμοποιούνται κυρίως για τη μετάδοση πληροφορίας (ραδιοφωνία, τηλεόραση, ασύρματη δικτύωση, κινητή τηλεφωνία) καθώς ανακλώνται ή απορροφώνται ανάλογα με την ενέργεια μόνο από μεταλλικούς αγωγούς. Τα βιολογικά υλικά σε μεγάλα μήκη κύματος είναι σχεδόν <b>διαφανή</b> σε αυτά ενώ τα μικρά μήκη κύματος (μικροκύματα) έχουν ενέργεια που αντιστοιχεί σε ενέργεια περιστροφής απλών μορίων και σημειώνεται <b>περιορισμένη</b> απορρόφηση.
3 10 <sup>10</sup> 3 10 <sup>14</sup>	100 μm 1 μm	12.4 meV 1.24 eV	Υπέρυθρο	Παράγονται κυρίως από μοριακές ταλαντώσεις και διεγέρσεις εξωτερικών ηλεκτρονίων ατόμων. Το μεγαλύτερο μέρος της ακτινοβολίας θερμών σωμάτων εμπίπτει σε αυτή την περιοχή για συνήθεις θερμοκρασίες. Απορροφάται <b>σημαντικά</b> από την ύλη καθώς αντιστοιχεί σε ενέργειες μοριακών ταλαντώσεων απλών μορίων.
4.3 10 <sup>14</sup> 7.5 10 <sup>14</sup>	700 nm 400 nm	1.77 eV 3.1 eV	Ορατό	Παράγεται από διεγέρσεις εξωτερικών ηλεκτρονίων ατόμων και αποτελεί μεγάλο μέρος της ακτινοβολίας πολύ θερμών σωμάτων όπως ο Ήλιος. Απορροφάται <b>έντονα</b> από την ύλη.

Συχνότητα, $f \text{ (s}^{-1}\text{)}$	Μήκος κύματος, $\lambda$	Ενέργεια	Περιοχή	Ιδιότητες σε σχέση με βιολογικά υλικά
$7.5 \cdot 10^{14}$ $3 \cdot 10^{16}$	400 nm 10 nm	3.1 eV 124 eV	Υπεριώδες	Παράγεται από διεγέρσεις εξωτερικών ηλεκτρονίων ατόμων και αποτελεί σημαντικό μέρος της ακτινοβολίας πολύ θερμών σωμάτων όπως ο Ήλιος. Απορροφάται <b>εξαιρετικά έντονα</b> από την ύλη και δεν διαπερνά την επιφάνειά της.
$3 \cdot 10^{16}$ $3 \cdot 10^{18}$	10 nm 100 pm	124 eV 12.4 keV	«μαλακές» ακτίνες x	Παράγεται από διεγέρσεις εσωτερικών ηλεκτρονίων ατόμων. Απορροφάται <b>έντονα</b> από την ύλη και μπορεί να προκαλέσει <b>ιονισμό</b> .
$3 \cdot 10^{18}$ $3 \cdot 10^{19}$	100 pm 10 pm	12.4 keV 124 keV	Διαγνωστικές ακτίνες x	Παράγεται από διεγέρσεις εσωτερικών ηλεκτρονίων ατόμων και λυχνίες x. Απορροφάται <b>σημαντικά</b> από την ύλη και μπορεί να προκαλέσει <b>ιονισμό</b> .
$3 \cdot 10^{19}$ $3 \cdot 10^{19}$	10 pm 1pm	124 keV 1.24 MeV	Ακτίνες γ και θεραπευτικές ακτίνες x	Παράγονται από διάσπαση γ και γραμμικούς επιταχυντές. Απορροφώνται <b>περιορισμένα</b> από την ύλη και προκαλούν <b>ιονισμό</b> .
$3 \cdot 10^{21}$	100 fm	12.4 MeV	Θεραπευτικές ακτίνες x	Παράγονται από διάσπαση γ και γραμμικούς επιταχυντές. Απορροφώνται <b>περιορισμένα</b> από την ύλη και προκαλούν <b>ιονισμό</b> .

# Εξασθένιση ιοντίζουσας Η/Μ ακτινοβολίας κατά τη διαδρομή της στην ύλη



## Ο νόμος εξασθένισης ιοντίζουσας Η/Μ ακτινοβολίας κατά τη διαδρομή της στην ύλη

$$-\Delta N = N - N' = \mu N \Delta x$$

$$\Rightarrow \Delta N = -\mu N \Delta x$$

$$\Rightarrow \mu = -\left(\frac{\Delta N}{N}\right)\left(\frac{1}{\Delta x}\right)$$

Όπου  $\mu$  ο αποκαλούμενος  
γραμμικός συντελεστής εξασθένισης  
ιοντίζουσας ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.

Αποτελεί μέτρο της πιθανότητας αλληλεπίδρασης ιοντίζουσας Η/Μ ακτινοβολίας ανά μονάδα διαδρομής σε ένα υλικό.

Εκθετική συμπεριφορά εμφανίζει οποιοδήποτε μέγεθος,  $y$ , για το οποίο ο ρυθμός μεταβολής του ως προς μια μεταβλητή,  $x$ , από την οποία συναρτάται είναι ανάλογος της τιμής του μεγέθους.

Αν: 
$$\frac{\Delta y}{\Delta x} = \pm \beta y$$

$$\rightarrow \frac{dy}{dx} = \pm \beta y$$

ΤΟΤΕ:

$$y = y_0 e^{\pm \beta x}$$

Ο νόμος της **εκθετικής** εξασθένησης  
ιοντίζουσας Η/Μ ακτινοβολίας  
κατά τη διαδρομή της στην ύλη

$$N = N_0 \exp(-\mu x)$$

ή

$$I = I_0 \exp(-\mu x)$$

$$x_{1/2} \equiv HVL = \frac{\ln 2}{\mu}$$

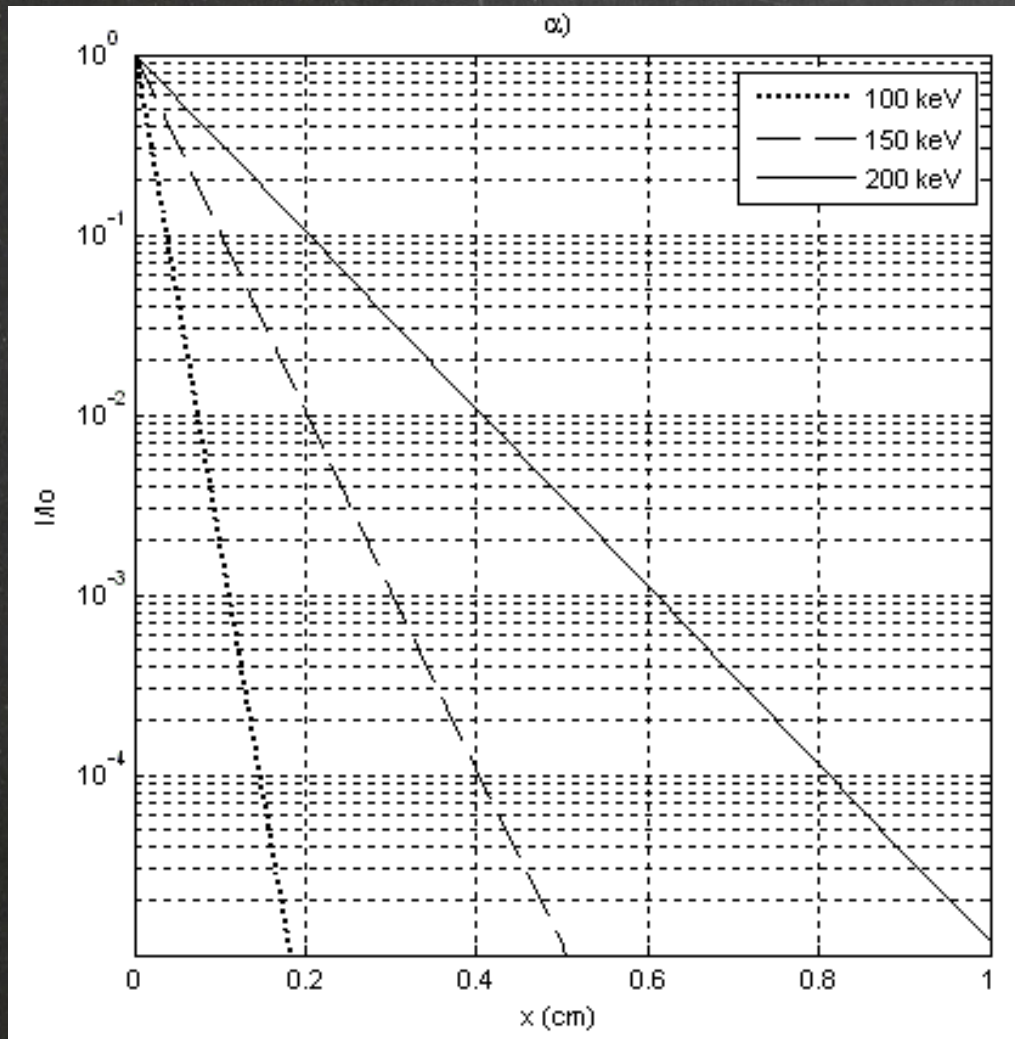
$$x_{1/10} \equiv TVL = \frac{\ln 10}{\mu}$$

$$I = I_0 \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{x}{HVL}}$$

$$I = I_0 \left(\frac{1}{10}\right)^{\frac{x}{TVL}}$$



Από ποιους παράγοντες εξαρτάται το ποσοστό της  
εξασθένισης ιοντιζουσας Η/Μ ακτινοβολίας  
κατά τη διαδρομή της στην ύλη  
(δηλαδή ο μ);

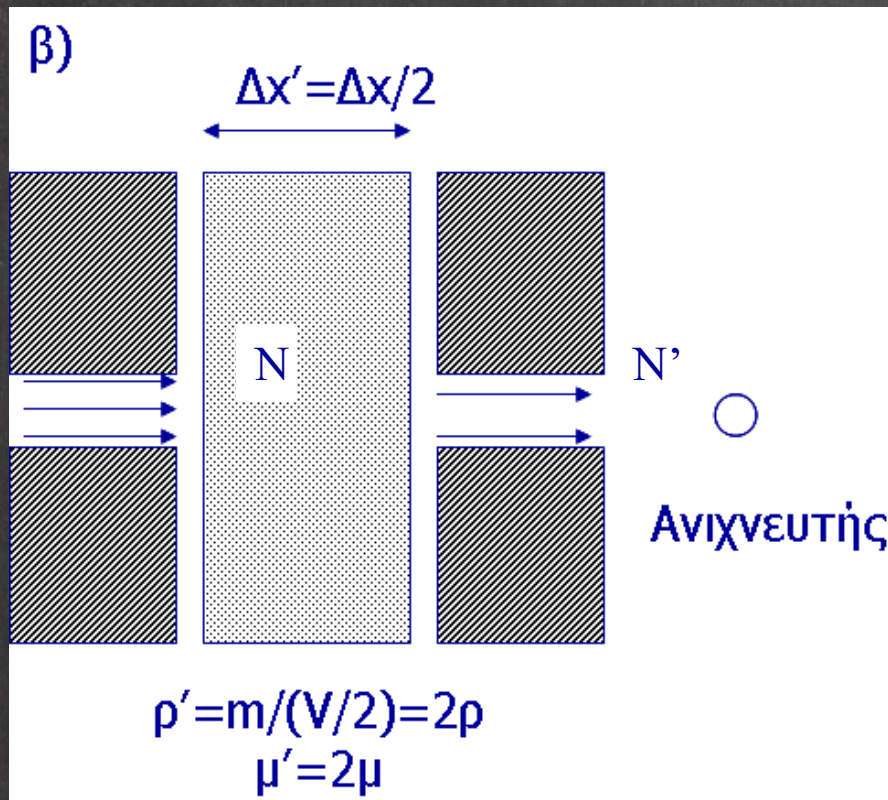


• Ενέργεια φωτονίων, E

Υλικό, Z

και ...

Από ποιους παράγοντες εξαρτάται το ποσοστό της  
εξασθένισης ιοντιζουσας Η/Μ ακτινοβολίας  
κατά τη διαδρομή της στην ύλη  
(δηλαδή ο  $\mu$ );

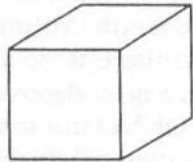
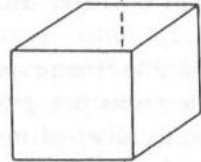
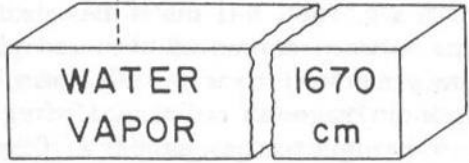


$$\mu = \mu(E, Z, \rho)$$

$$\mu / \rho = \mu(E, Z)$$

# Διαφορετικές εκφράσεις του συντελεστή εξασθένισης

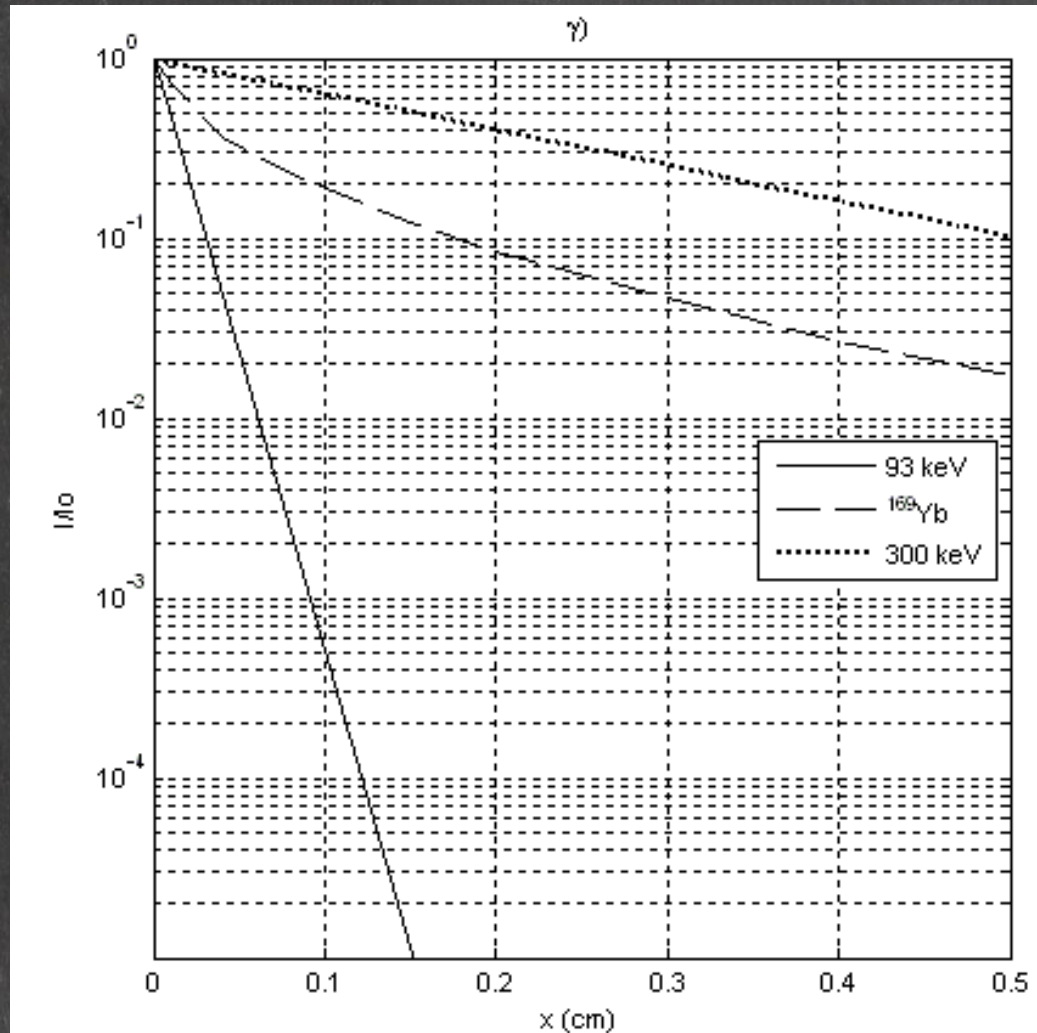
Γραμμικός,  $\mu$  ( $\text{cm}^{-1}$ ), οπότε θα εκφράζω το πάχος του υλικού ως  $x$  σε  $\text{cm}$   
 και Μαζικός,  $\mu/\rho$  ( $\text{cm}^2/\text{g}$ ), οπότε θα εκφράζω το πάχος του υλικού ως  $\rho x$  σε  $\text{g}/\text{cm}^2$

50 keV		Density ( $\text{gm}/\text{cm}^3$ )	Thickness of $1 \text{ gm}/\text{cm}^2$	
Linear Attenuation Coefficient ( $\text{cm}^{-1}$ )	Mass Attenuation Coefficient ( $\text{cm}^2/\text{gm}$ )			
0.214	0.214	1	 WATER 1 cm	
0.196	0.214	0.917	 ICE 1.09 cm	
0.000128	0.214	0.000598	 WATER VAPOR 1670 cm	

# Ισχύει πάντα ο Νόμος της εκθετικής εξασθένησης;

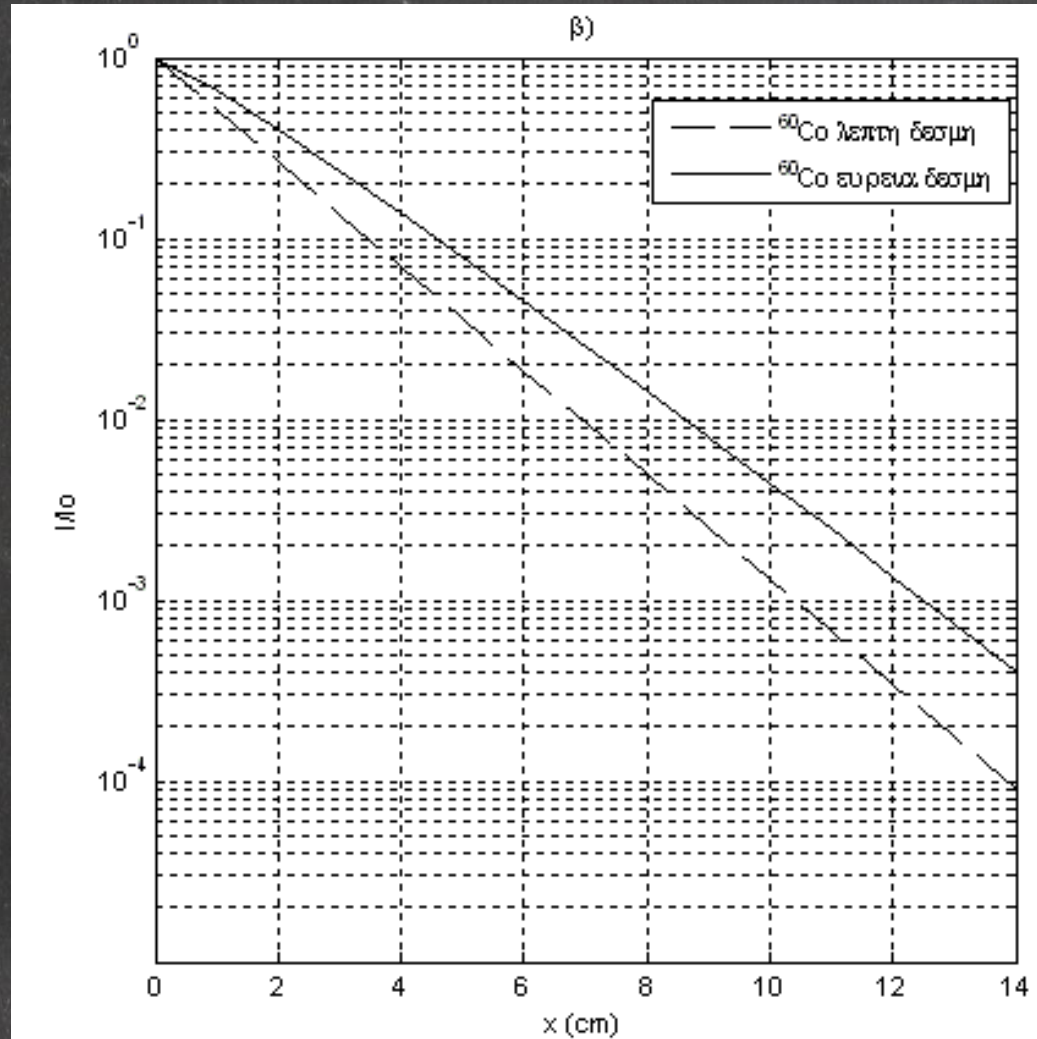
Μόνο για μονο-ενεργειακές δέσμες.

**Για πολυ-ενεργειακές δέσμες:**



Ισχύει πάντα ο Νόμος της εκθετικής εξασθένησης;

Μόνο σε συνθήκες "λεπτής" δέσμης ή "καλής" γεωμετρίας.  
Σε συνθήκες "ευρείας" δέσμης ή "κακής" γεωμετρίας:



## “κακή” γεωμετρία της δέσμης...

$$I = I_0 \exp(-\mu x) B(x, E, S, l)$$

όπου ο παράγοντας  $B$  καλείται παράγοντας επαύξησης και εξαρτάται από την ενέργεια των φωτονίων, το πάχος του υλικού, τη διατομή της δέσμης και την απόσταση του ανιχνευτή από το υλικό.

