



ΙΑΤΡΙΚΗ ΦΥΣΙΚΗ

eclass: MED808

Π. Παπαγιάννης

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

Γραφείο 21

210-746 2442

ppapagi@phys.uoa.gr



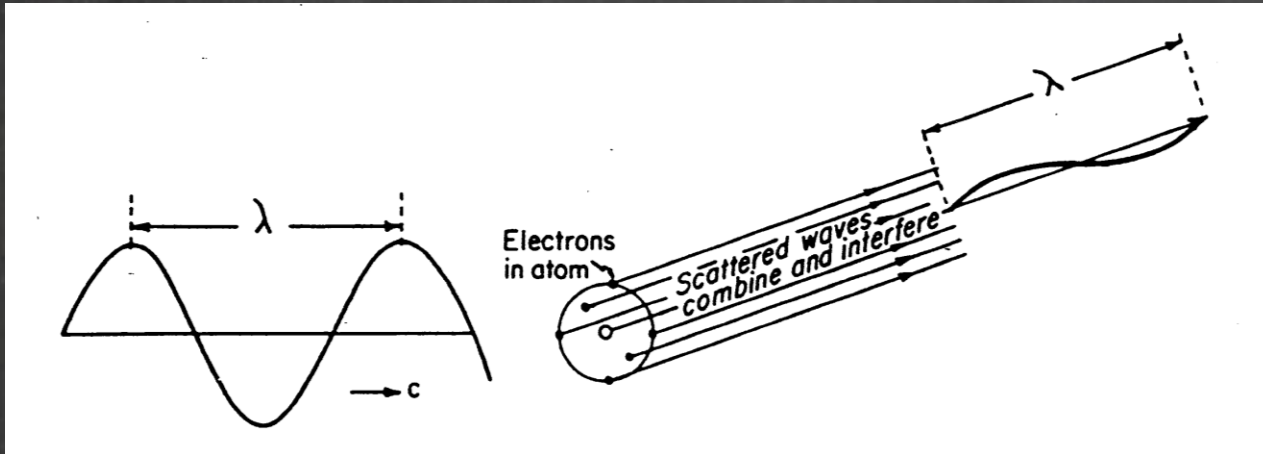
Αλ/δραση Ιοντίζουσας **H/M** Ακτινοβολίας -'Υλης

Αλ/δραση Ιοντίζουσας Η/Μ Ακτινοβολίας-Ύλης: πιθανοί στόχοι

1. Άτομο
2. e^- εσωτερικής στοιβάδας
3. e^- εξωτερικής στοιβάδας
4. Πυρήνας

1. Αν η ενέργεια του φωτονίου
δεν αντιστοιχεί σε διαφορά
ενεργειακών σταθμών στο άτομο
και δεν επαρκεί για ιονισμό:

ΣΥΜΦΩΝΗ ΣΚΕΔΑΣΗ

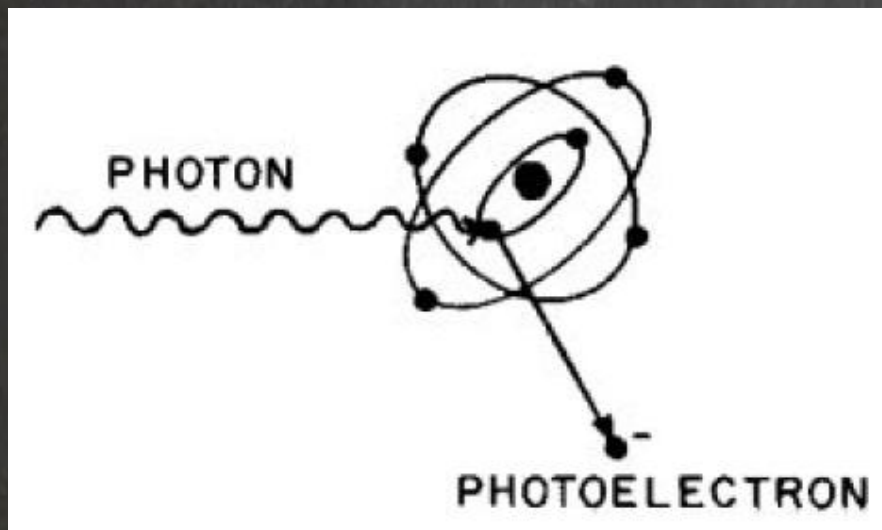


ΣΥΜΦΩΝΗ ΣΚΕΔΑΣΗ

- Δεν συμβαίνει ιονισμός
- Δεν μεταφέρεται ενέργεια στην ύλη
- Σημειώνεται μόνο μικρή αλλαγή στη διεύθυνση του φωτονίου

2. Αλληλεπίδραση φωτονίου με ηλεκτρόνιο εσωτερικής στοιβάδας:

ΦΩΤΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ

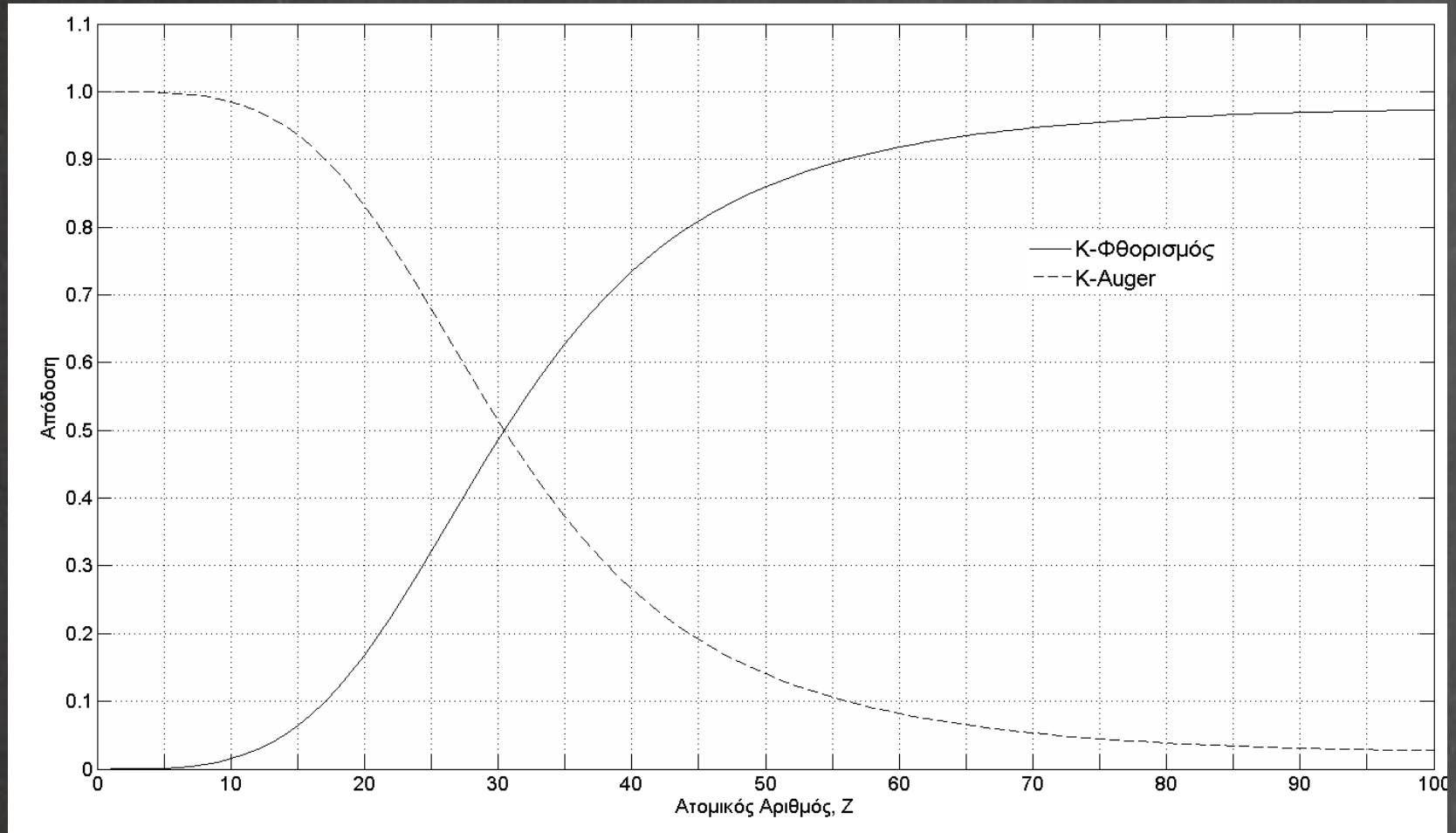


- Λαμβάνει χώρα ιονισμός
- Το e^- εγκαταλείπει το άτομο με κινητική ενέργεια:

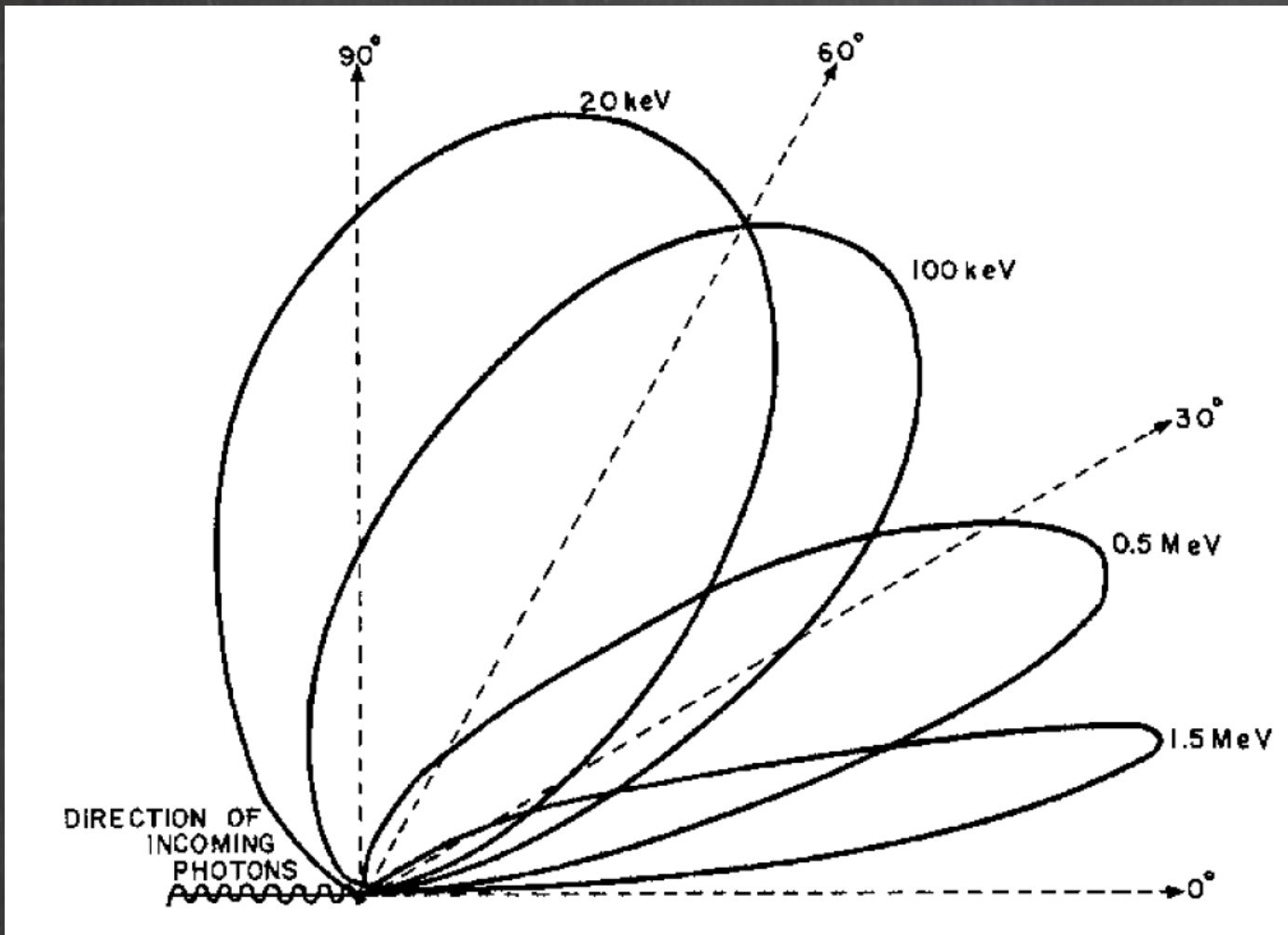
$$T_e = E - E_b$$

- Για βιολογικούς ιστούς $E_b \ll$
- Το κενό συμπληρώνεται με εκπομπή χαρακτηριστικής ακτινοβολίας ή ηλεκτρονίων Auger

Σχετική πιθανότητα εκπομπής χαρακτηριστικής ακτινοβολίας και ηλεκτρονίων Auger συναρτήσει του ατομικού αριθμού

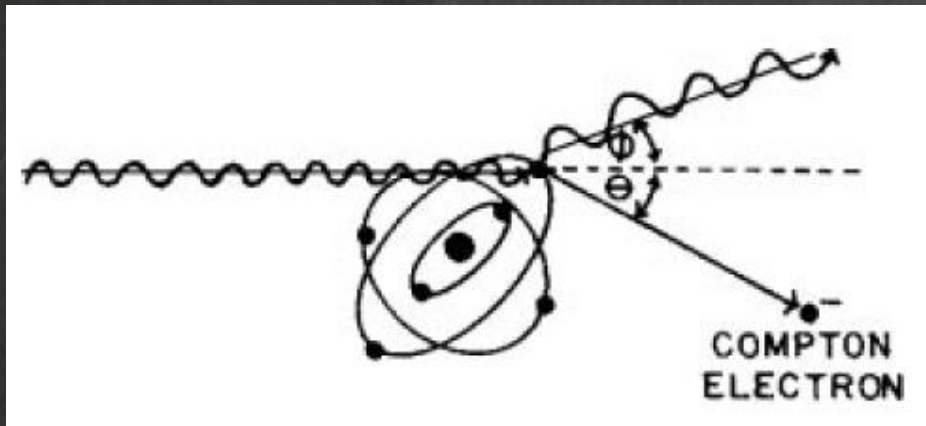


Κατανομή της γωνίας εκπομπής των φωτοηλεκτρονίων ως προς τη διεύθυνση του αρχικού φωτονίου



3. Αλληλεπίδραση φωτονίου με “ελεύθερο” ηλεκτρόνιο (εξωτερικής στοιβάδας):

ΣΚΕΔΑΣΗ COMPTON



- Λαμβάνει χώρα ιονισμός
- Το φωτόνιο σκεδάζεται σε γωνία ϕ με ενέργεια:

$$E_{sc} = E \frac{1}{1 + (E / m_e c^2)(1 - \cos \phi)}$$

- Το e^- εγκαταλείπει το άτομο με κινητική ενέργεια:

$$T_e = E - E_{sc} = E \frac{(E / m_e c^2)(1 - \cos \phi)}{1 + (E / m_e c^2)(1 - \cos \phi)}$$

$$T_e = E - E_{sc} = E \frac{(E / m_e c^2)(1 - \cos \phi)}{1 + (E / m_e c^2)(1 - \cos \phi)}$$

$$E_{sc} = E \frac{1}{1 + (E / m_e c^2)(1 - \cos \phi)}$$

A. Κεντρική κρούση ($\theta=0^\circ$, $\phi=180^\circ$)

$$\cos \phi = \cos 180^\circ = -1$$

$$T_{eMAX} = E \frac{2(E / m_e c^2)}{1 + 2(E / m_e c^2)}$$

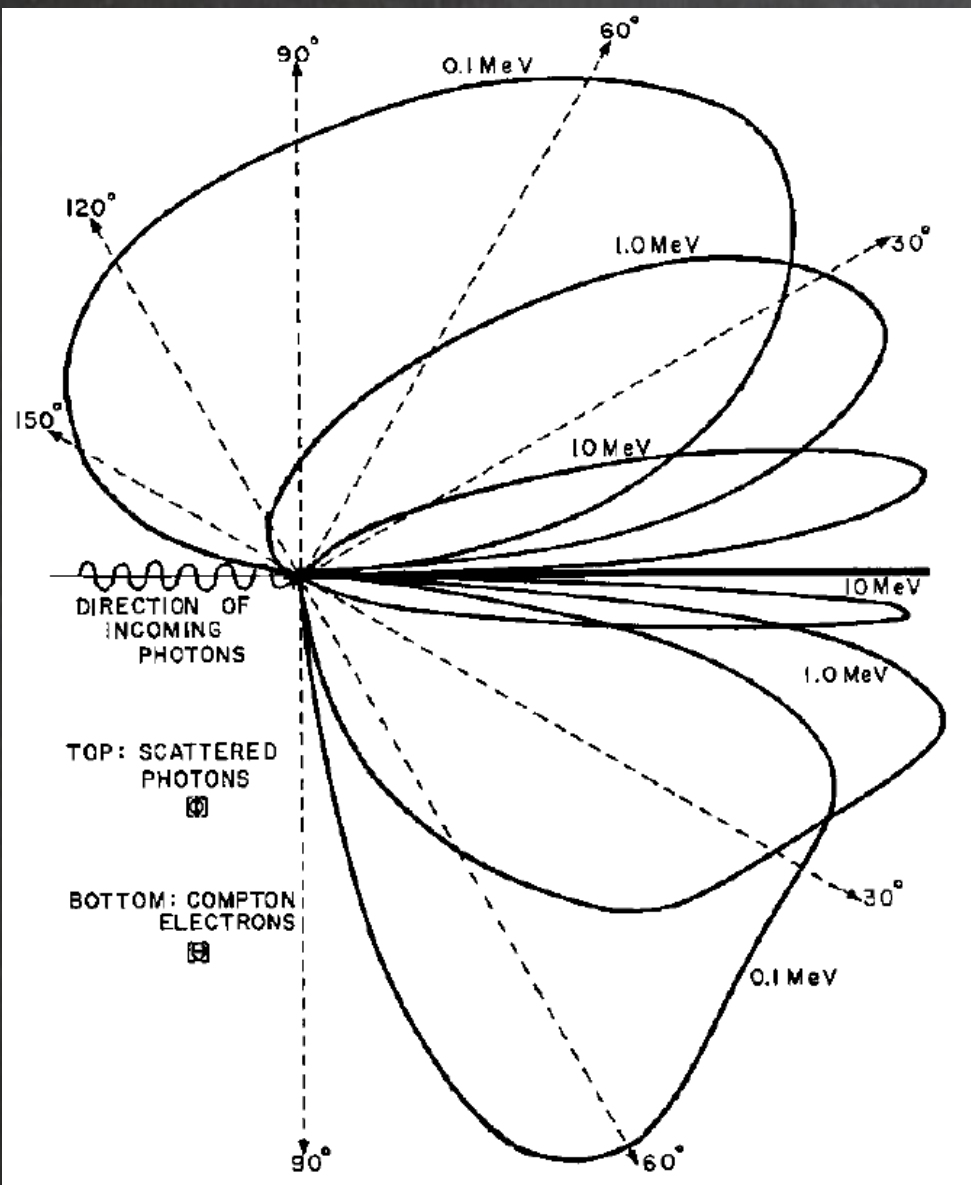
$$E_{scMIN} = E \frac{1}{1 + 2(E / m_e c^2)}$$

B. Εφαπτομενική κρούση ($\theta=90^\circ$, $\phi=0^\circ$)

$$\cos \phi = \cos 0^\circ = 1$$

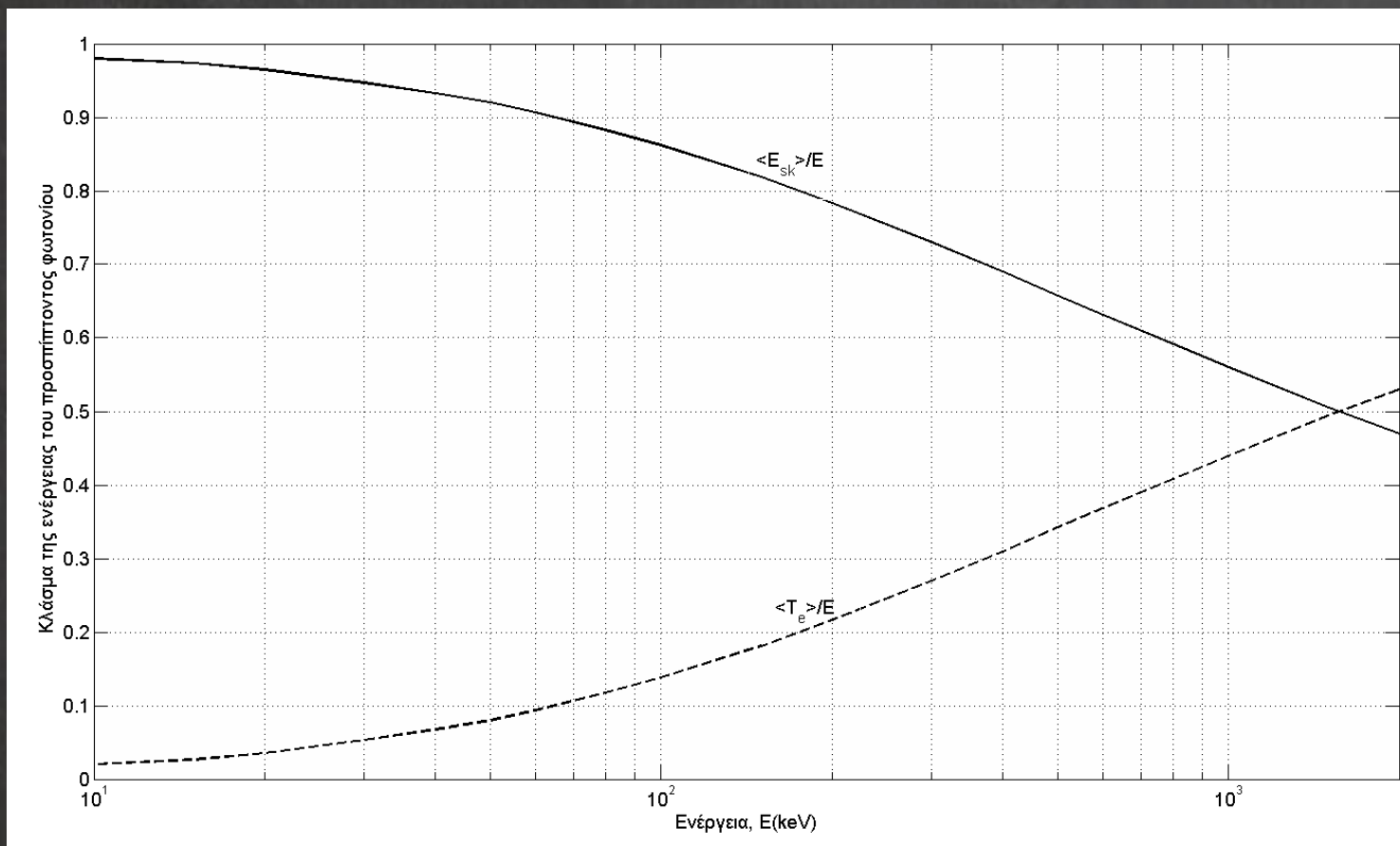
$$T_{eMIN} = 0$$

$$E_{scMAX} = E$$



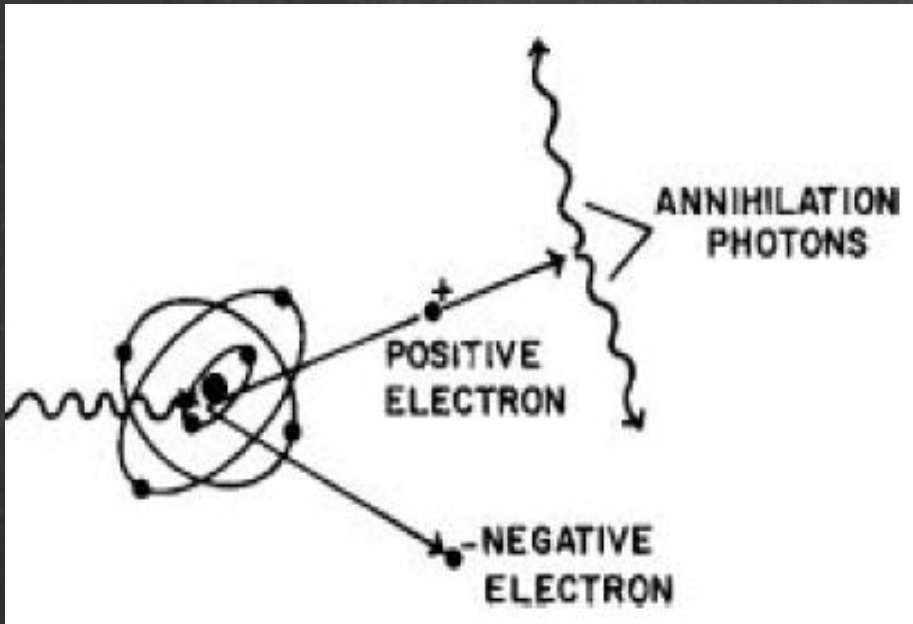
Κατανομή της γωνίας εκπομπής του e^- Compton και του φωτονίου που υπέστη σκέδαση ως προς τη διεύθυνση του αρχικού φωτονίου

Η μέση τιμή του ποσοστού της ενέργειας του αρχικού φωτονίου που μετατρέπεται σε ενέργεια σκεδαζόμενου φωτονίου $\langle E_{sk} \rangle / E$ και κινητική ενέργεια του ηλεκτρονίου, $\langle T_e \rangle / E$, στη σκέδαση Compton, συναρτήσει της ενέργειας του αρχικού φωτονίου.



4. Αλληλεπίδραση φωτονίου με πυρήνα:

ΔΙΔΥΜΗ ΓΕΝΕΣΗ



- Λαμβάνει χώρα ιονισμός
- Το φωτόνιο απορροφάται και η ενέργειά του μετατρέπεται σε ζεύγος e^- , e^+ και σε κινητική ενέργεια αυτών
- Υπάρχει κατώφλι ενέργειας:

$$E = 2m_e c^2 = 1.02 \text{ MeV}$$

Συνοπτικά λοιπόν:

Αλλ/ση:	σύμφ. σκέδαση	Φωτ/κτρικό φαιν.	Σκ. Compton	Διδ. Γένεση
Με:	Άτομο (ατομικά e^-)	δέσμιο e^- (άτομο)	ελεύθερο e^-	πυρήνα
Αποτέλεσμα:	Αλλαγή κατ/νσης	Απορρόφηση φωτ., Ιονισμός της ύλης	Αλλαγή κατ/νσης & E φωτ., Ιονισμός της ύλης	Απορρόφηση φωτ., Ιονισμός της ύλης
E που μεταφέρεται & απορ/φάται από βιολογικό ιστό:	0	$\sim E_\phi$	$\sim E_{e^-} = E_\phi - E'_\phi$	$\sim E_{e^-} = E_\phi - 1.02 - E'_{e^+}$

Ποια η πιθανότητα να συμβεί
κάθε είδος αλ/σης και από ποιους
παράγοντες εξαρτάται;

$$\mu = \mu_{\text{συμφ}} + \mu_{\text{φωτ}} + \mu_{\text{Compton}} + \mu_{\Delta.Γ.}$$

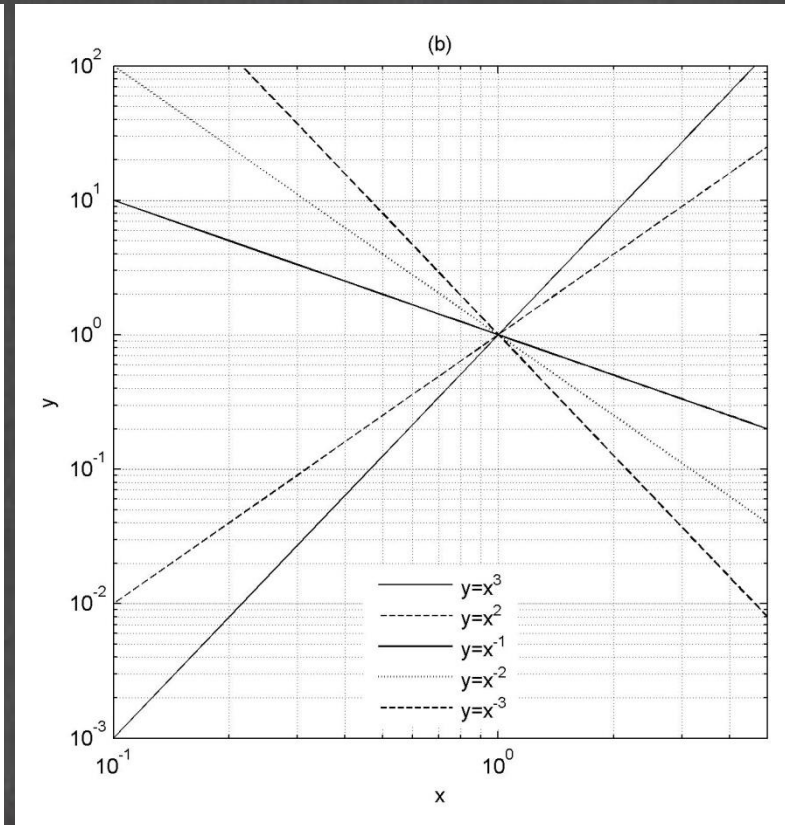
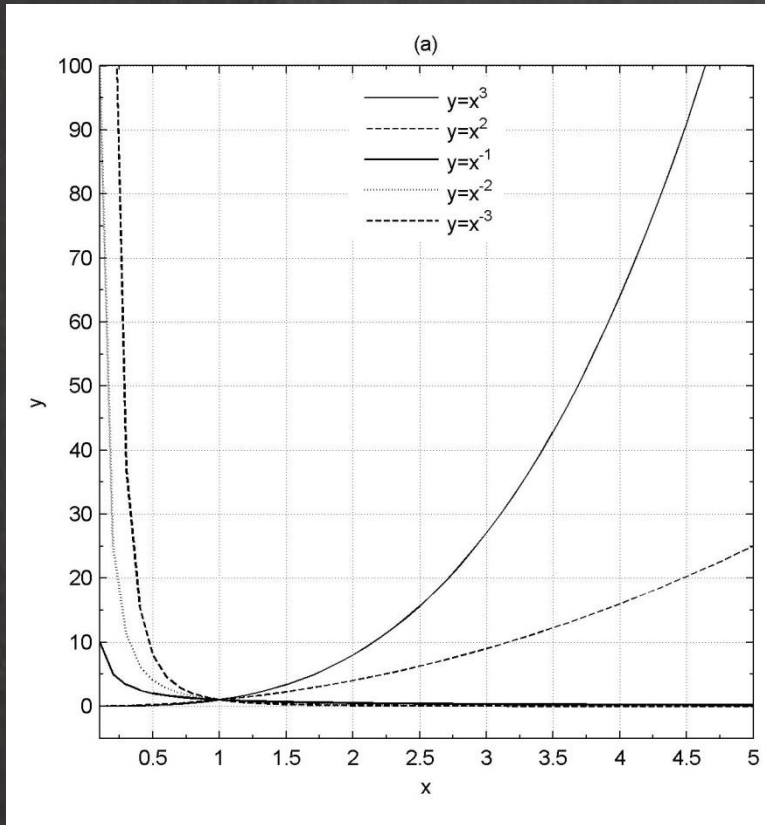
ή

$$\mu/\rho = \mu_{\text{συμφ}}/\rho + \mu_{\text{φωτ}}/\rho + \mu_{\text{Compton}}/\rho + \mu_{\Delta.Γ.}/\rho$$

Συναρτήσεις δυνάμεων και λογαριθμικές κλίμακες ...

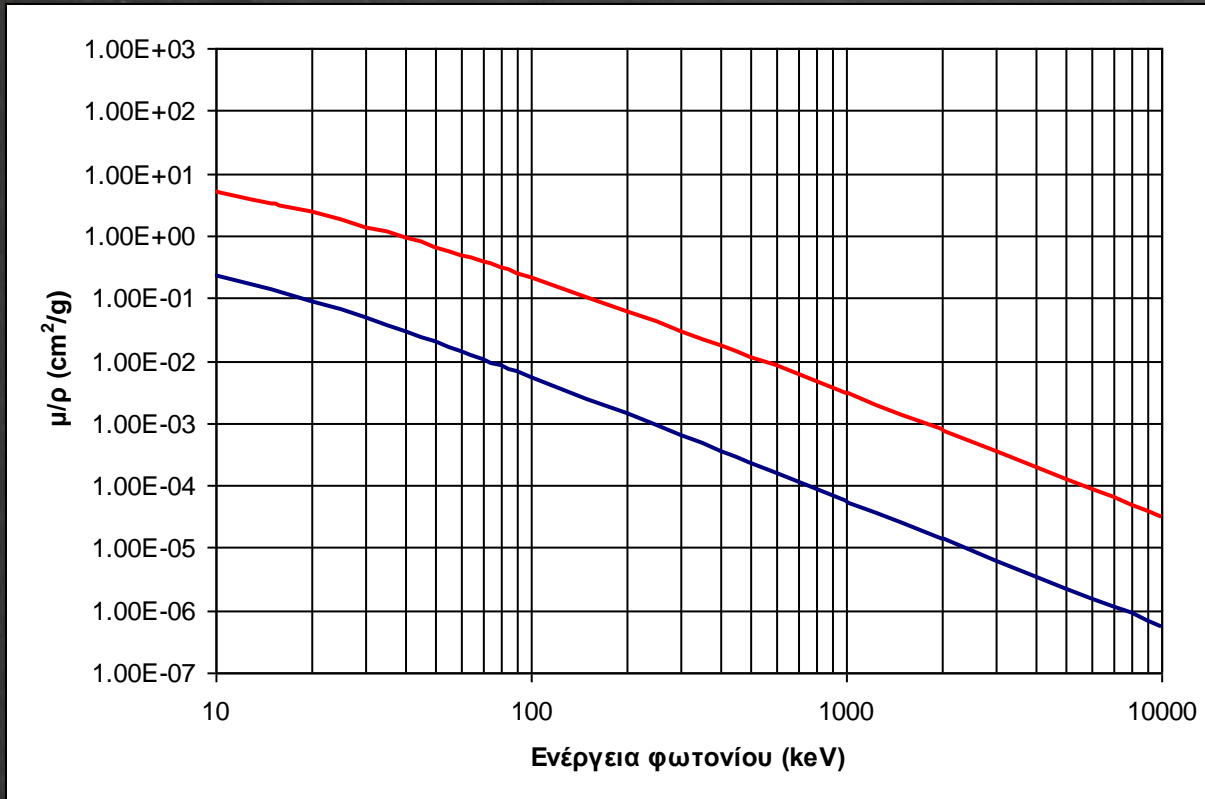
$$y = Ax^{\pm n} \Rightarrow$$

$$\log y = \log(Ax^{\pm n}) = \log A + \log(x^{\pm n}) \Leftrightarrow \log y = \log A \pm n \log x$$



Σύμφωνη σκέδαση

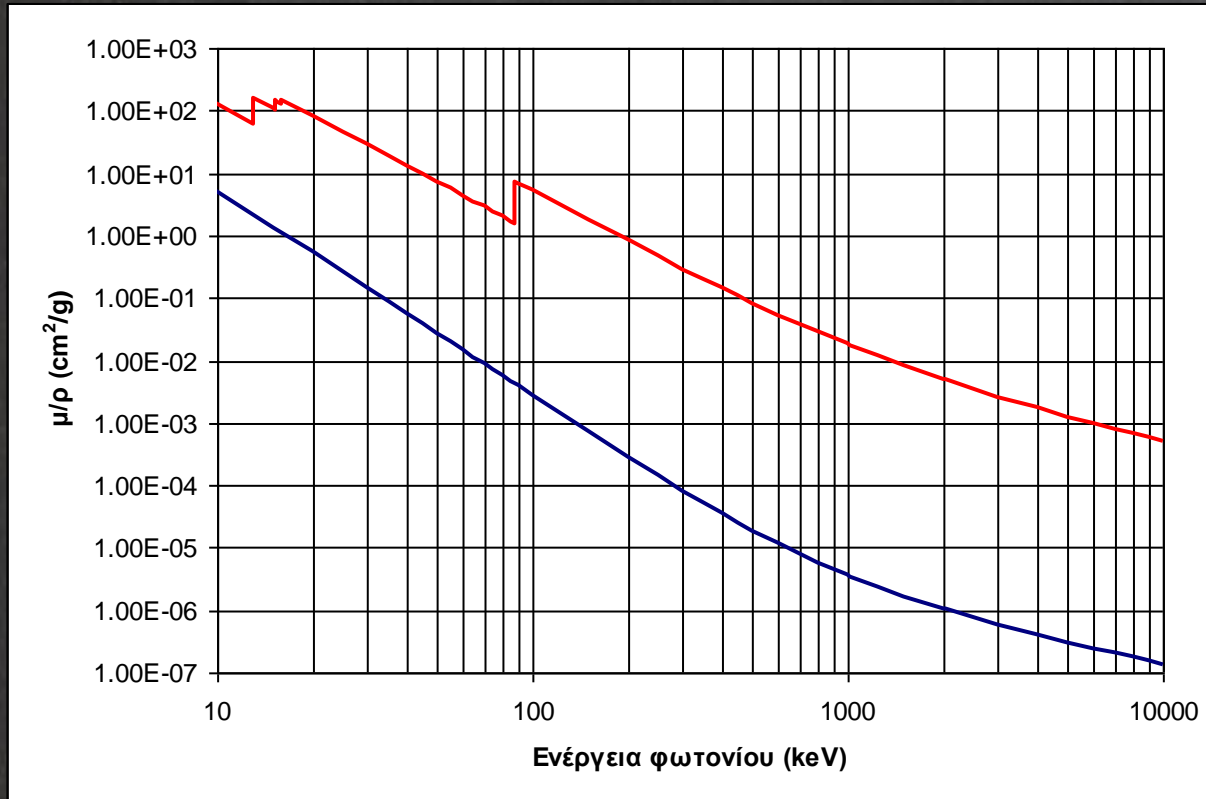
H₂O ($Z_{\text{eff}}=7.5$) & Pb($Z=82$)



Πιθανότητα
ανά μονάδα
μάζας:
 $\sim Z/E^2$

Φωτοηλεκτρικό

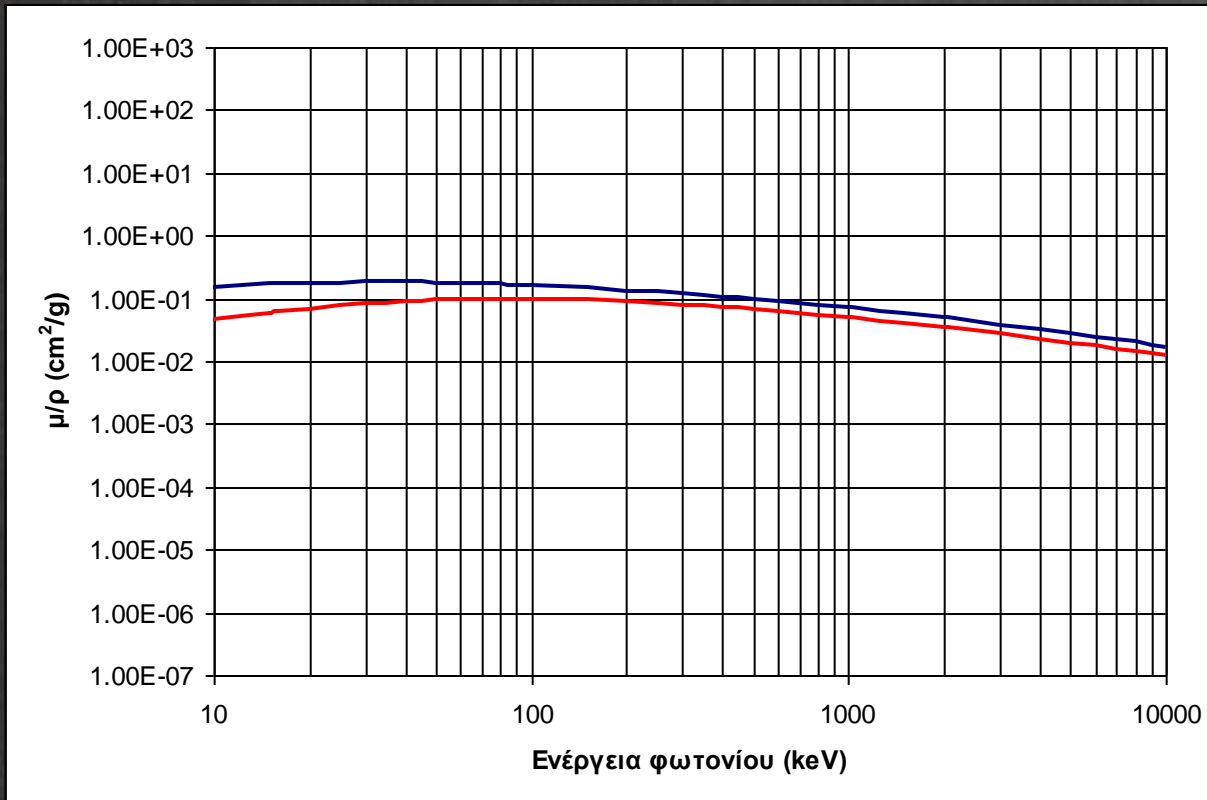
H₂O ($Z_{\text{eff}}=7.5$) & Pb($Z=82$)



Πιθανότητα
ανά μονάδα
μάζας :
 $\sim Z^3/E^3$

Σκέδαση Compton

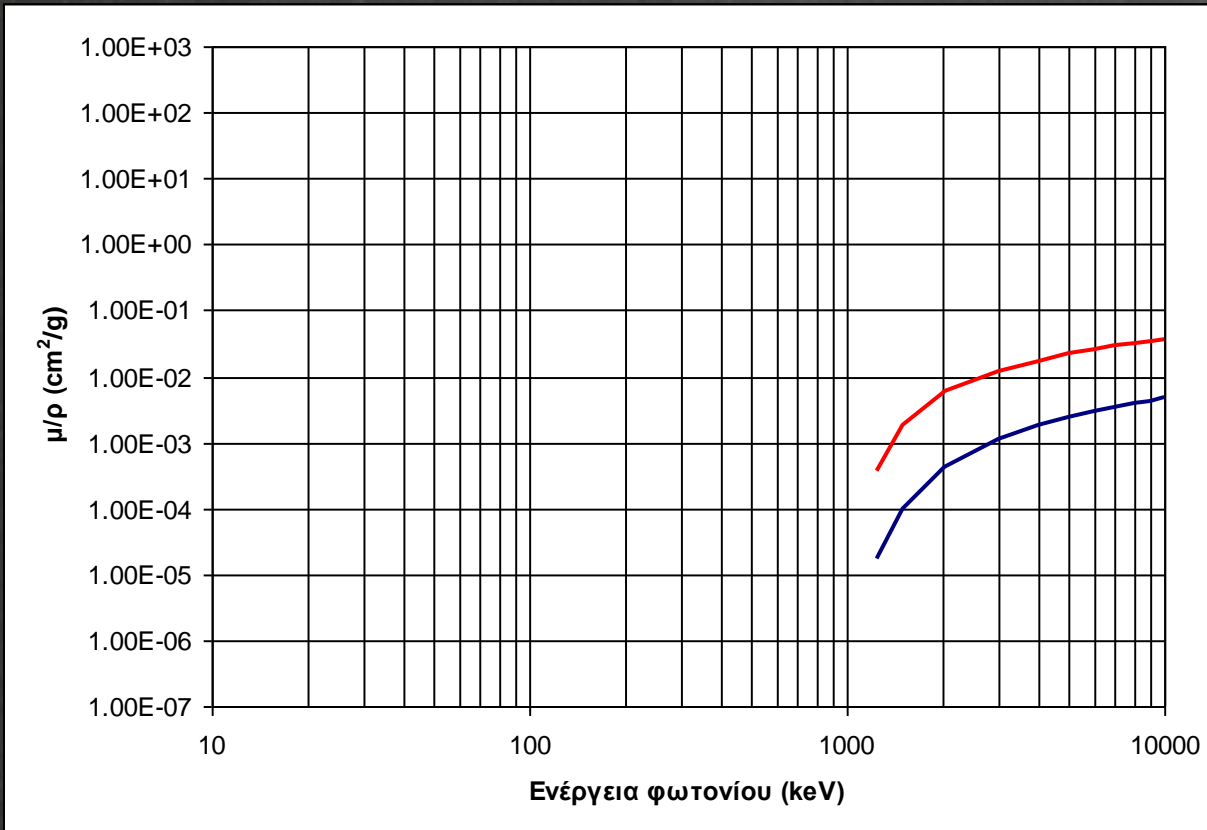
H₂O ($Z_{\text{eff}}=7.5$) & Pb($Z=82$)



- Πιθανότητα
ανά μονάδα
μάζας :
- Μειώνεται με την E
 - Ανεξάρτητη του Z!!!

Δίδυμη γένεση

H_2O ($Z_{\text{eff}}=7.5$) & Pb ($Z=82$)



Πιθανότητα
ανά μονάδα
μάζας :

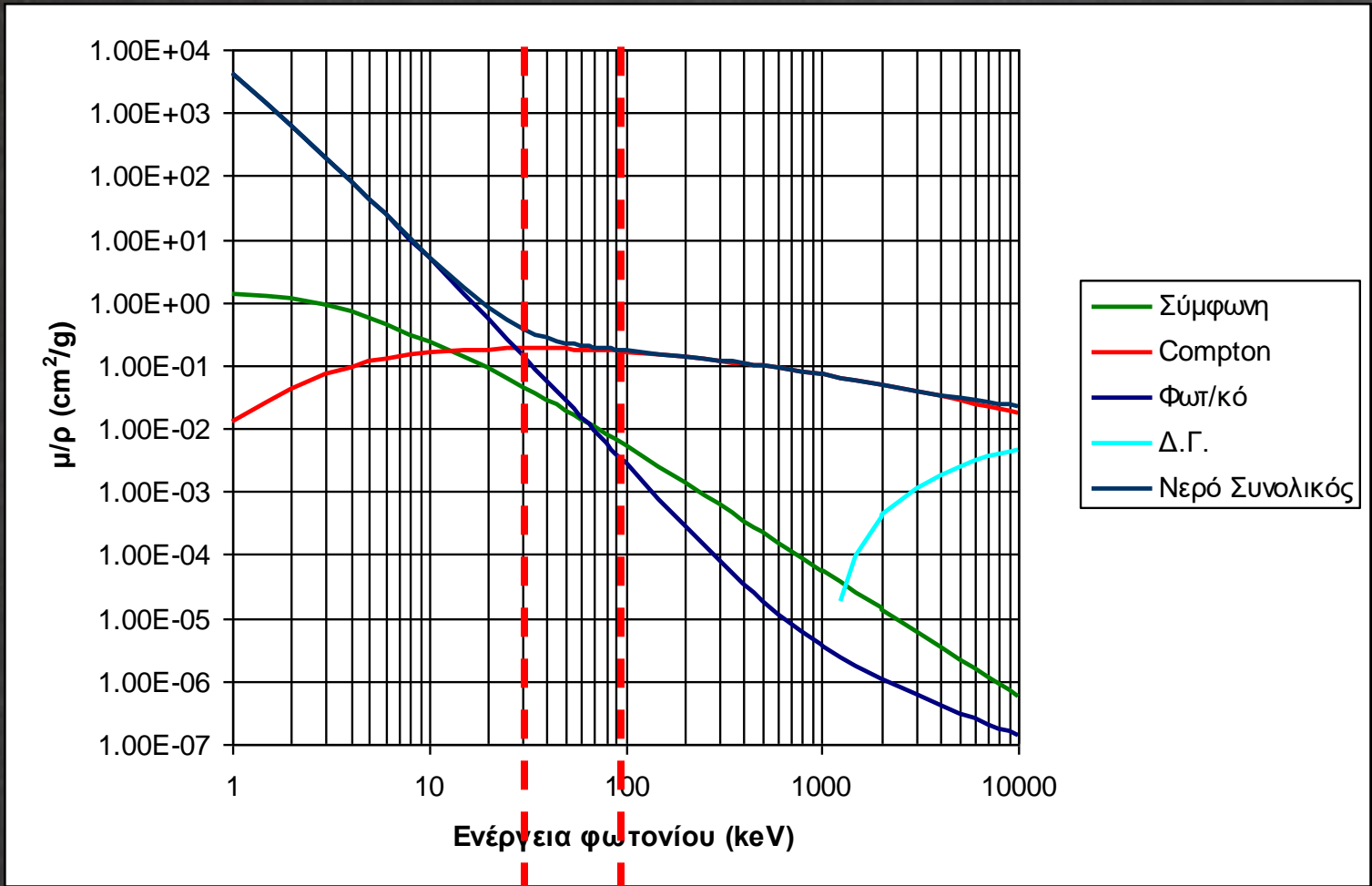
- Αυξάνει με την E ($>1,02$ MeV)

- $\sim Z$

Συνοπτικά λοιπόν:

Αλλ/ση:	σύμφ. σκέδαση	Φωτ/κτρικό φαιν.	Σκ. Compton	Δίδ. Γένεση
Με:	ατομικά e^-	δέσμιο e^- (άτομο)	ελεύθερο e^-	πυρήνα
Αποτέλεσμα:	Αλλαγή κατ/νσης	Απορρόφηση	Αλλαγή κατ/νσης & E	Απορρόφηση
E που μεταφέρεται & απορ/φάται από βιολογικό ιστό:	0	$\sim E_\phi$	$\sim E_{e^-} = E_\phi - E'_\phi$	$\sim E_{e^-} = E_\phi - 1.02 - E'_{e^+}$
$\mu/r:$	$\sim Z/E^2$	$\sim Z^3/E^3$	$\downarrow E$	$\uparrow E, \sim Z$

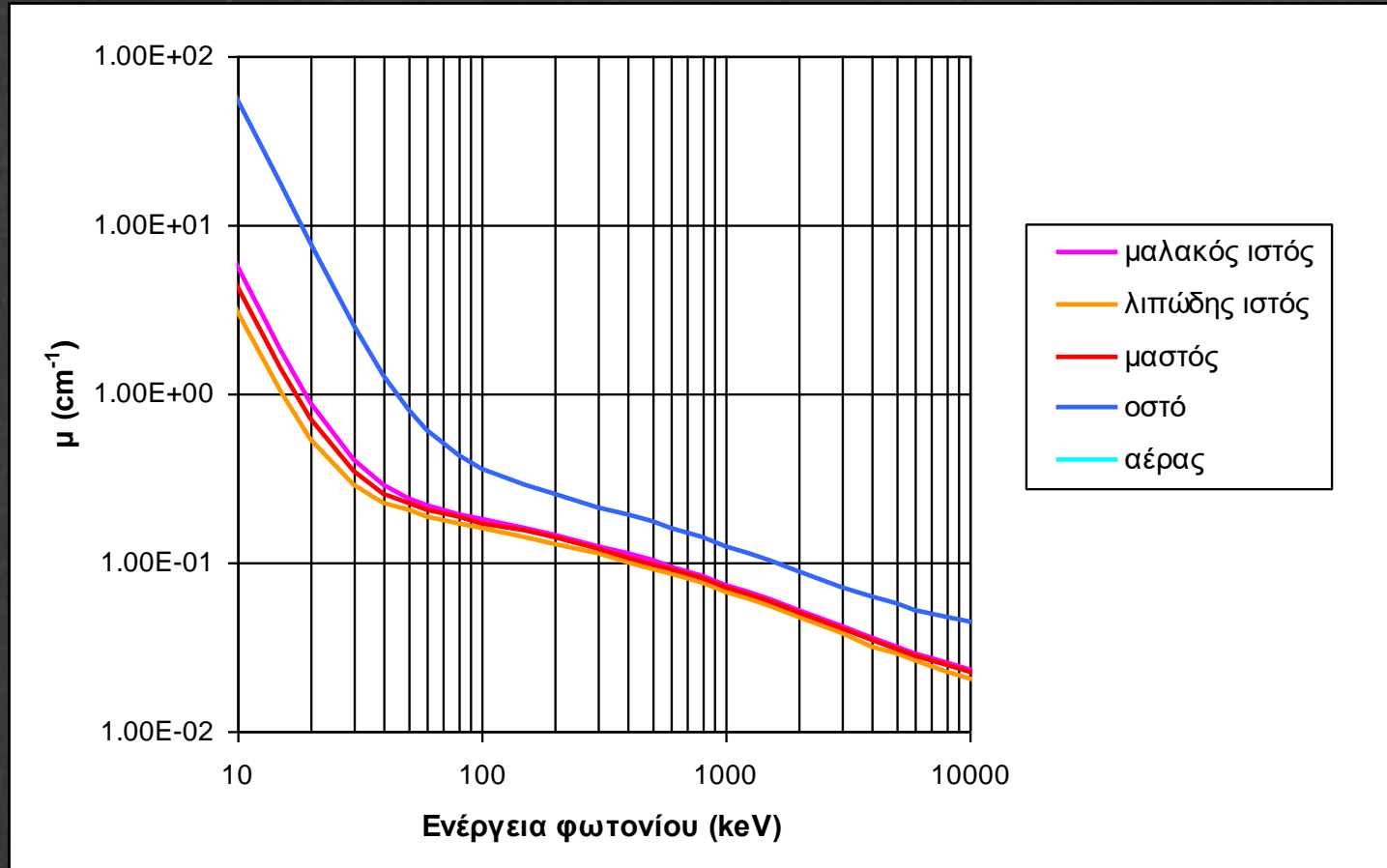
Πιθανότητα αλλ/σης ανά μονάδα μάζας υλικού



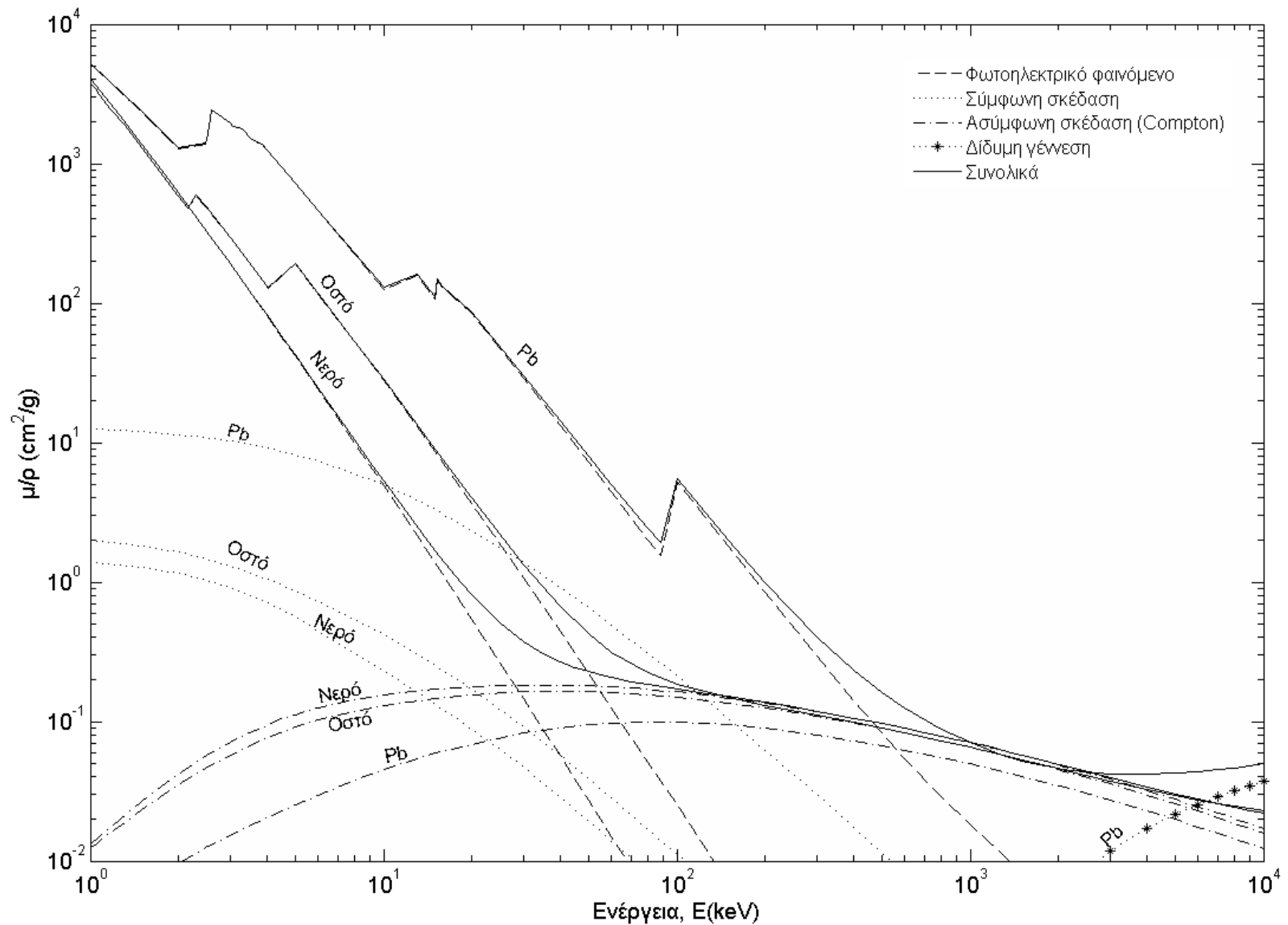
Φωτοηλεκτρικό

Compton

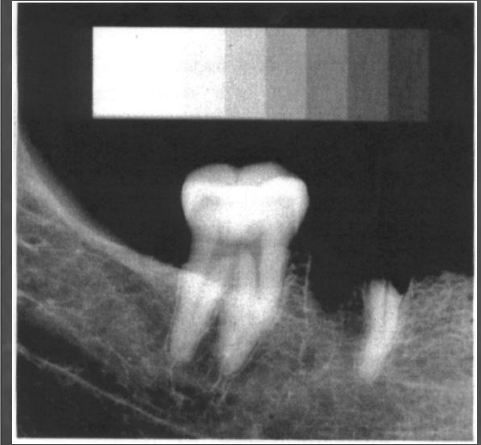
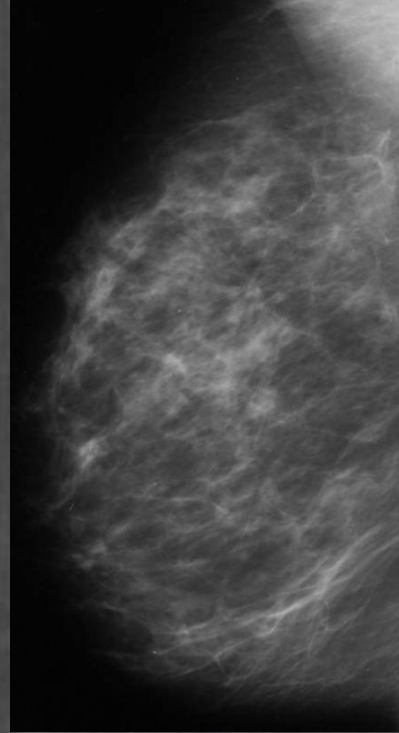
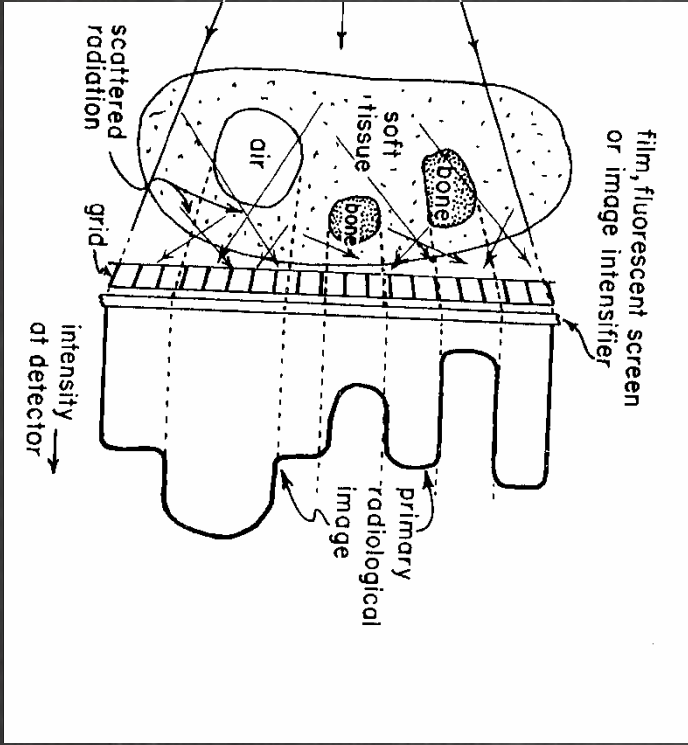
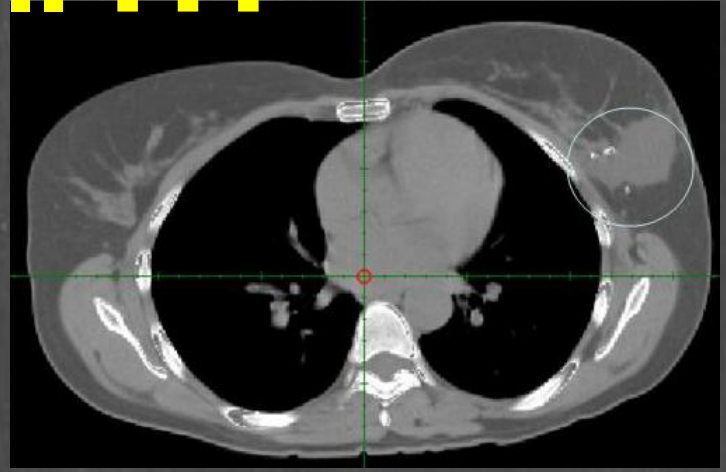
Πιθανότητα αλλ/σης ανά μονάδα πάχους υλικού



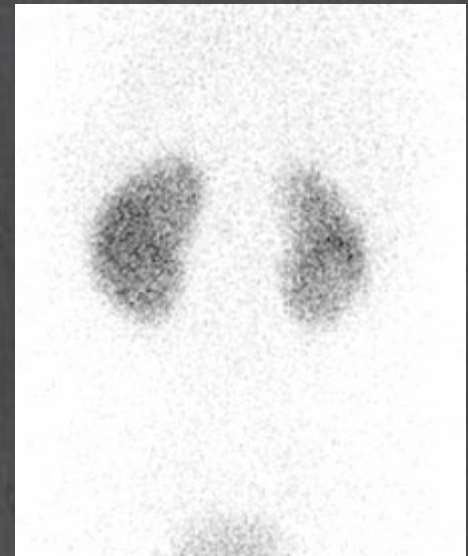
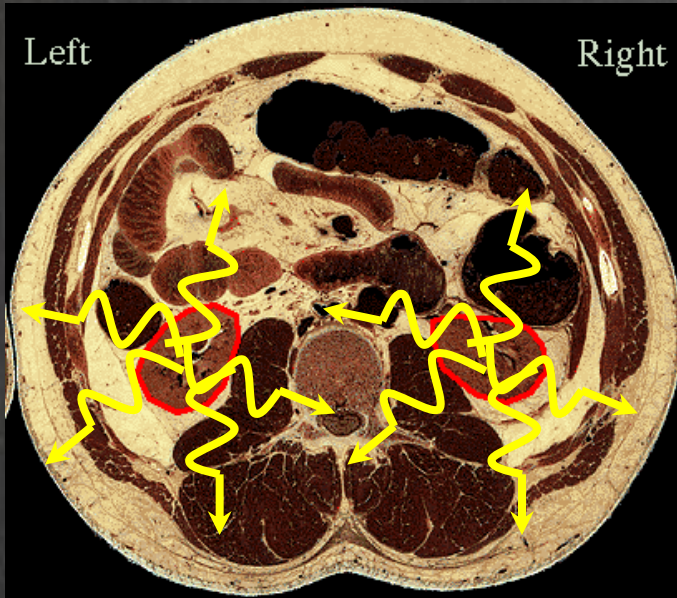
Πιθανότητα αλλ/σης ανά μονάδα **μάζας** υλικού



E_{ϕ} ????



E_{ϕ} ???



Ανιχνευτής ακτινοβολίας

E_{ϕ} ????

