



# 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)



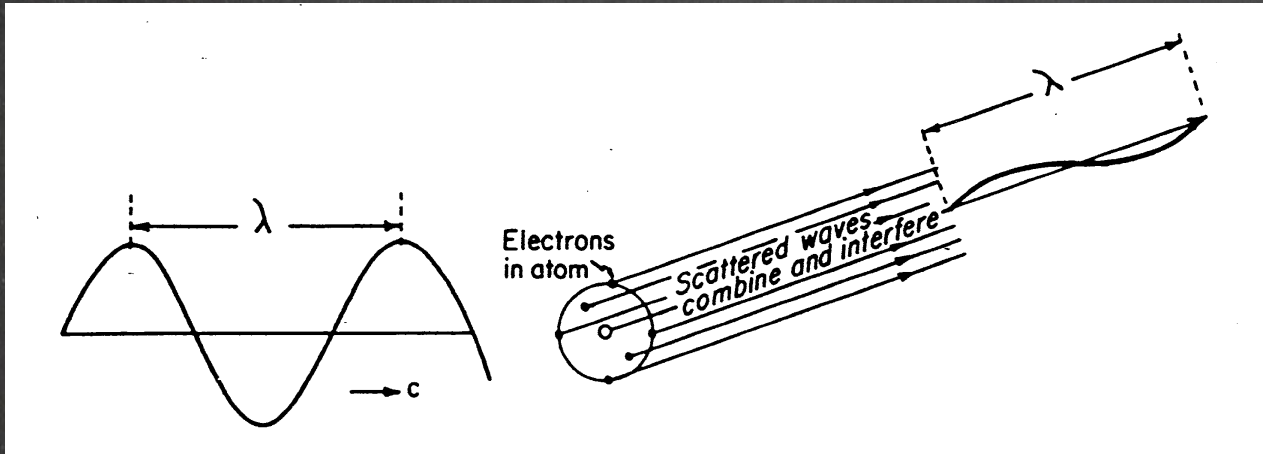
Αλ/δραση Ιοντίζουσας **H/M** Ακτινοβολίας -'Υλης

# 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

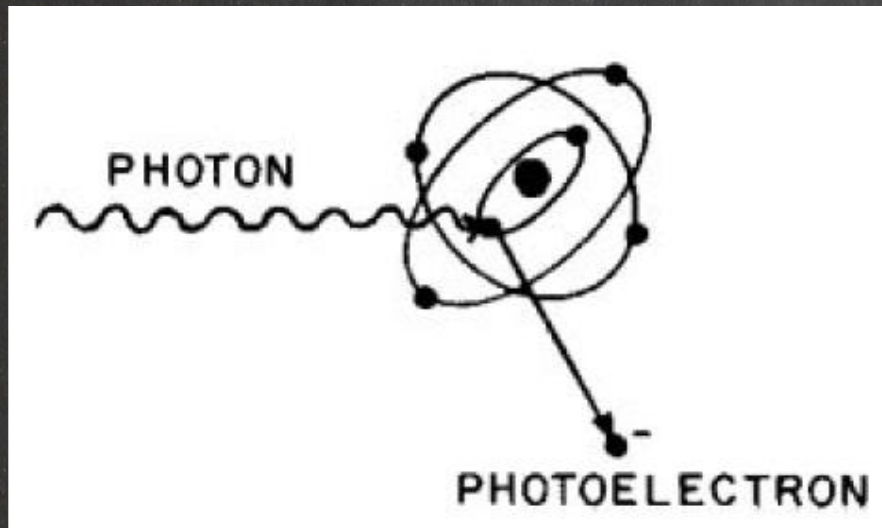


# ΣΥΜΦΩΝΗ ΣΚΕΔΑΣΗ

- 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



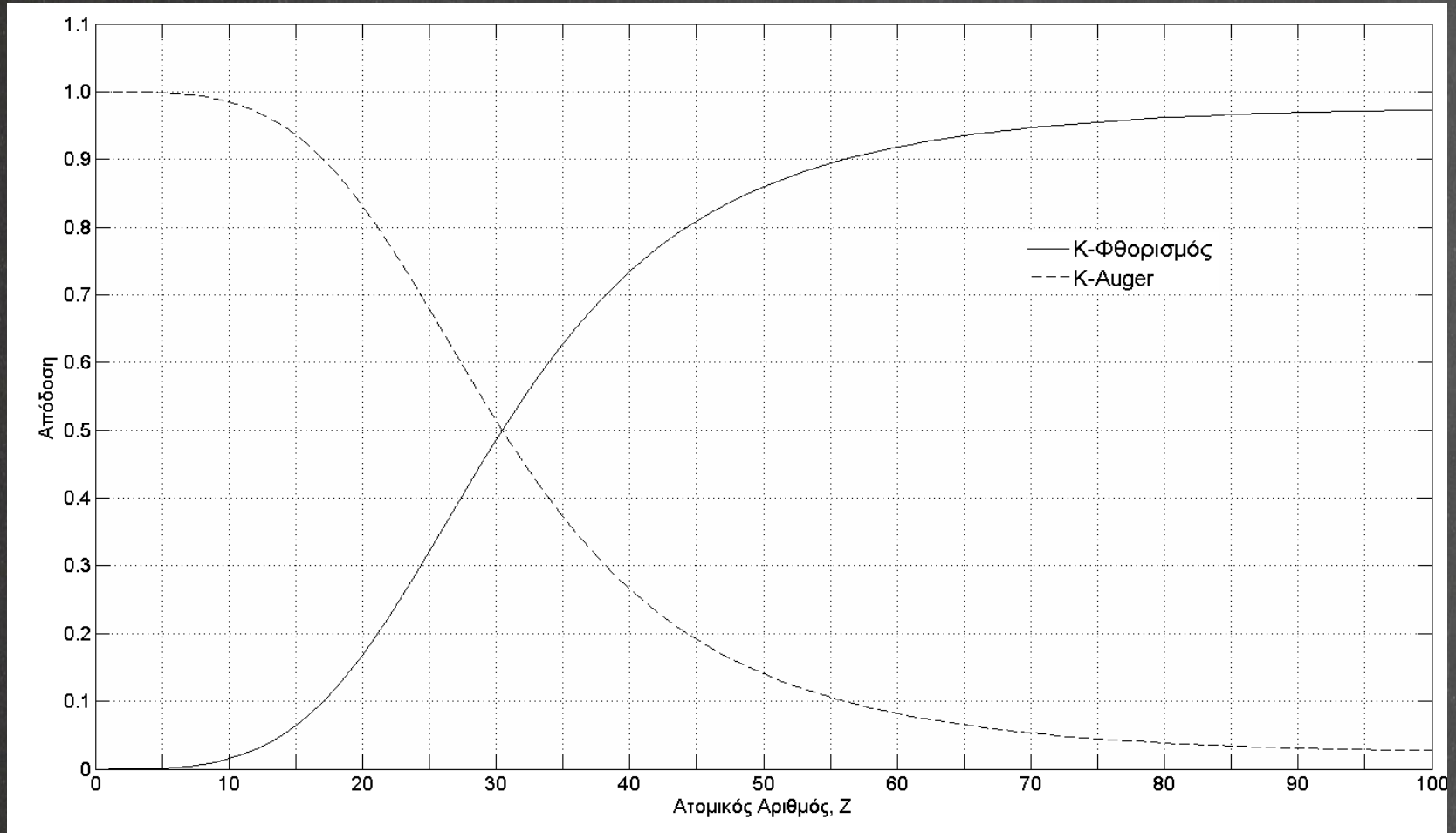
- Λαμβάνει χώρα ιονισμός
- Το  $e^-$  εγκαταλείπει το άτομο με κινητική ενέργεια:

$$T_e = E - E_b$$

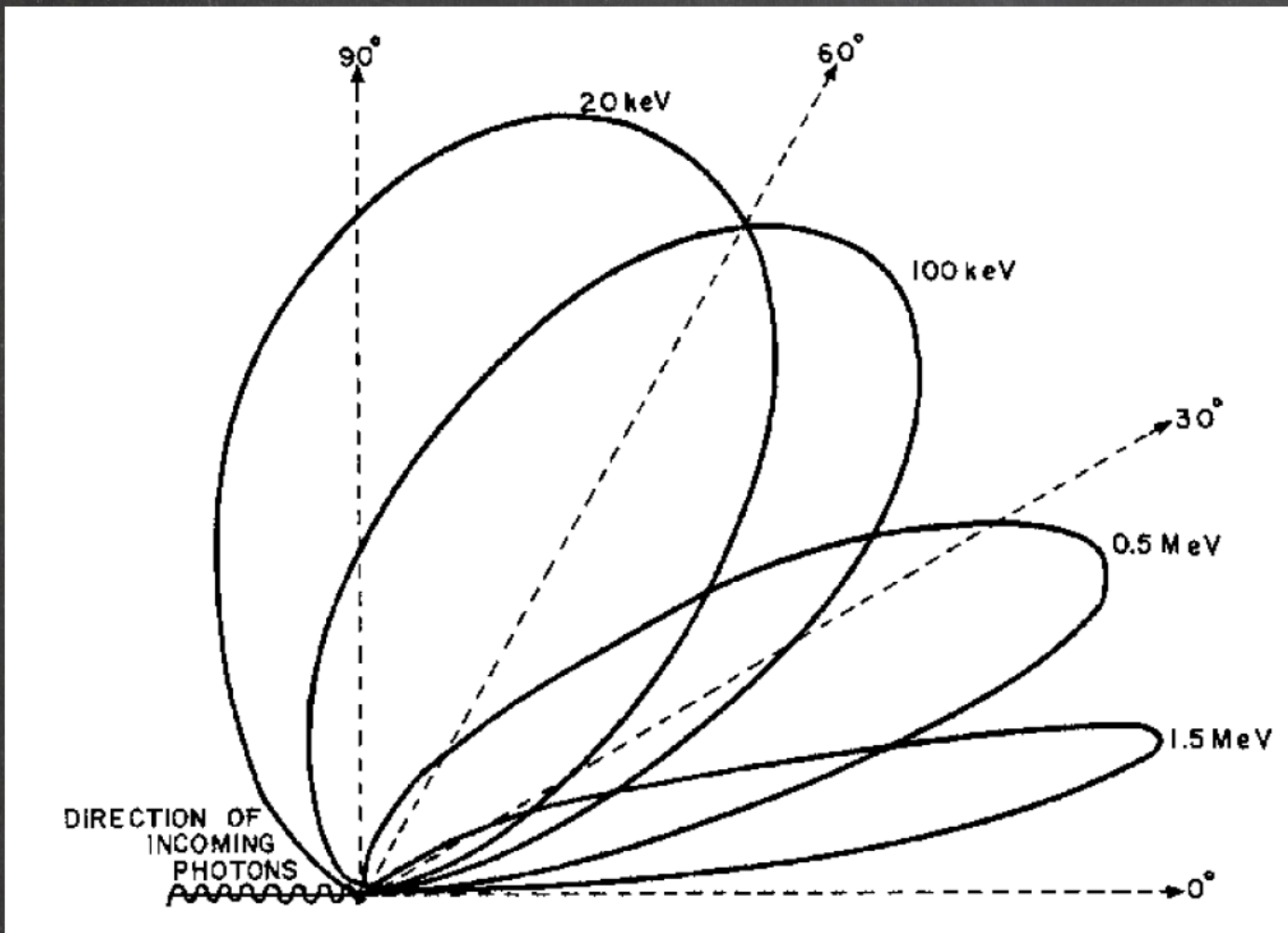
- Για βιολογικούς ιστούς  $E_b \ll$

- Το κενό συμπληρώνεται με εκπομπή χαρακτηριστικής ακτινοβολίας ή ηλεκτρονίων Auger

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



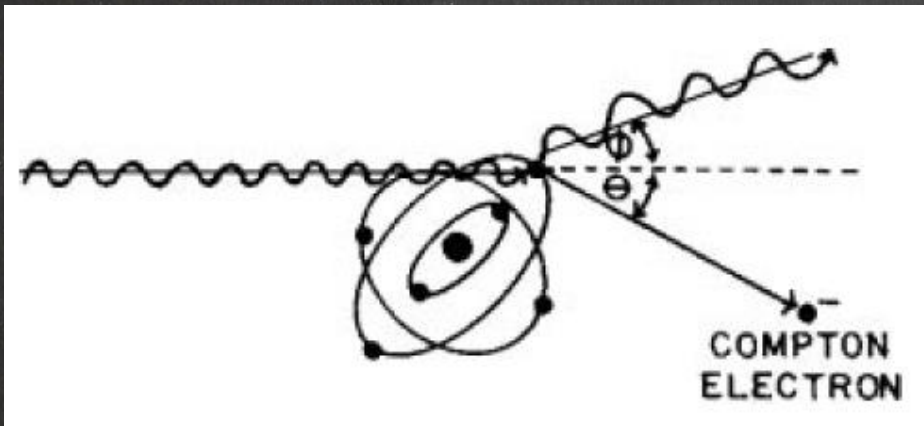
# Κατανομή της γωνίας εκπομπής των φωτοηλεκτρονίων ως προς τη διεύθυνση του αρχικού φωτονίου





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

## ΣΚΕΔΑΣΗ COMPTON



- Λαμβάνει χώρα ιονισμός
- Το φωτόνιο σκεδάζεται σε γωνία  $\phi$  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 ( $\theta=0^\circ$ ,  $\phi=180^\circ$ )

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

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

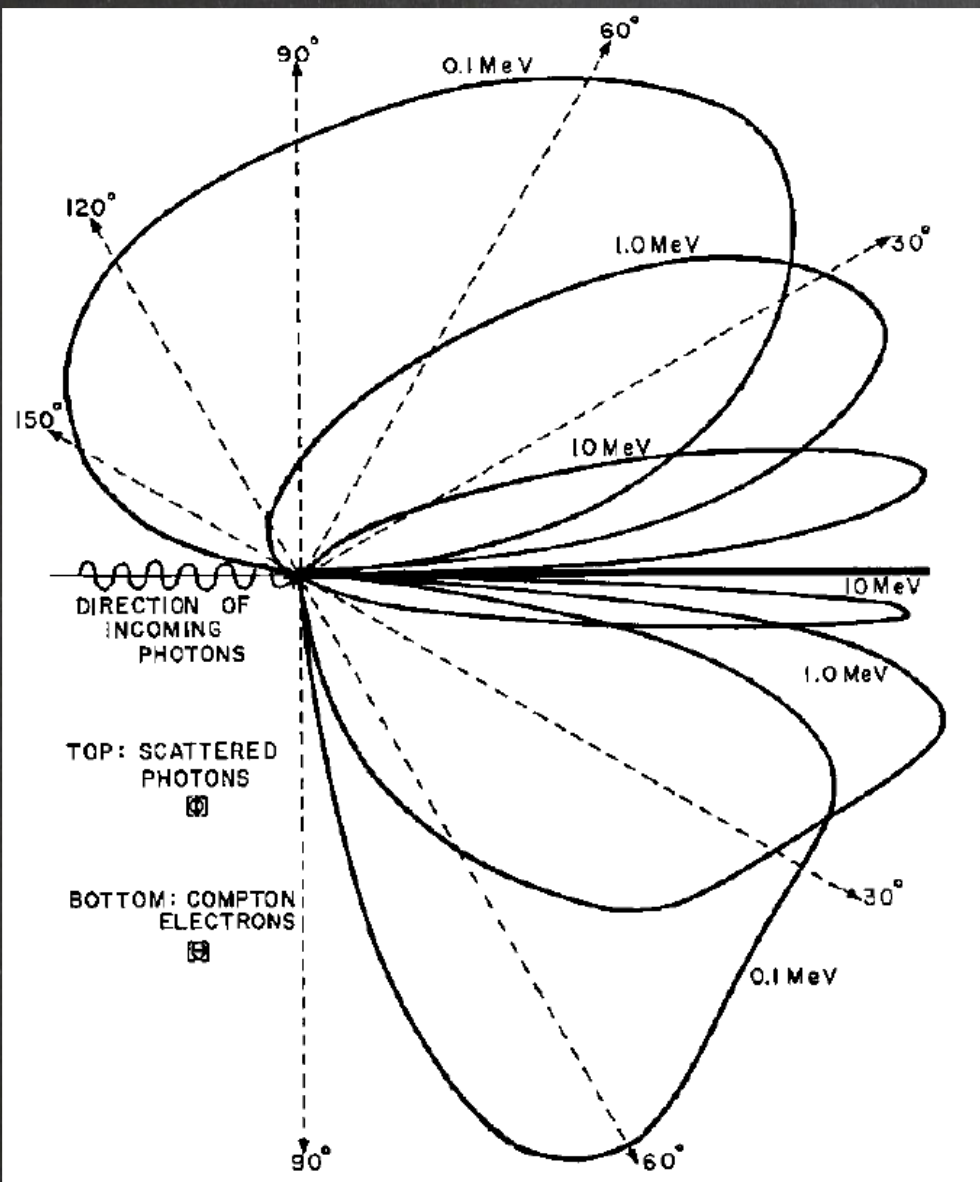
$$E_{scMIN} = E \frac{1}{1 + 2(E / m_e c^2)}$$

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

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

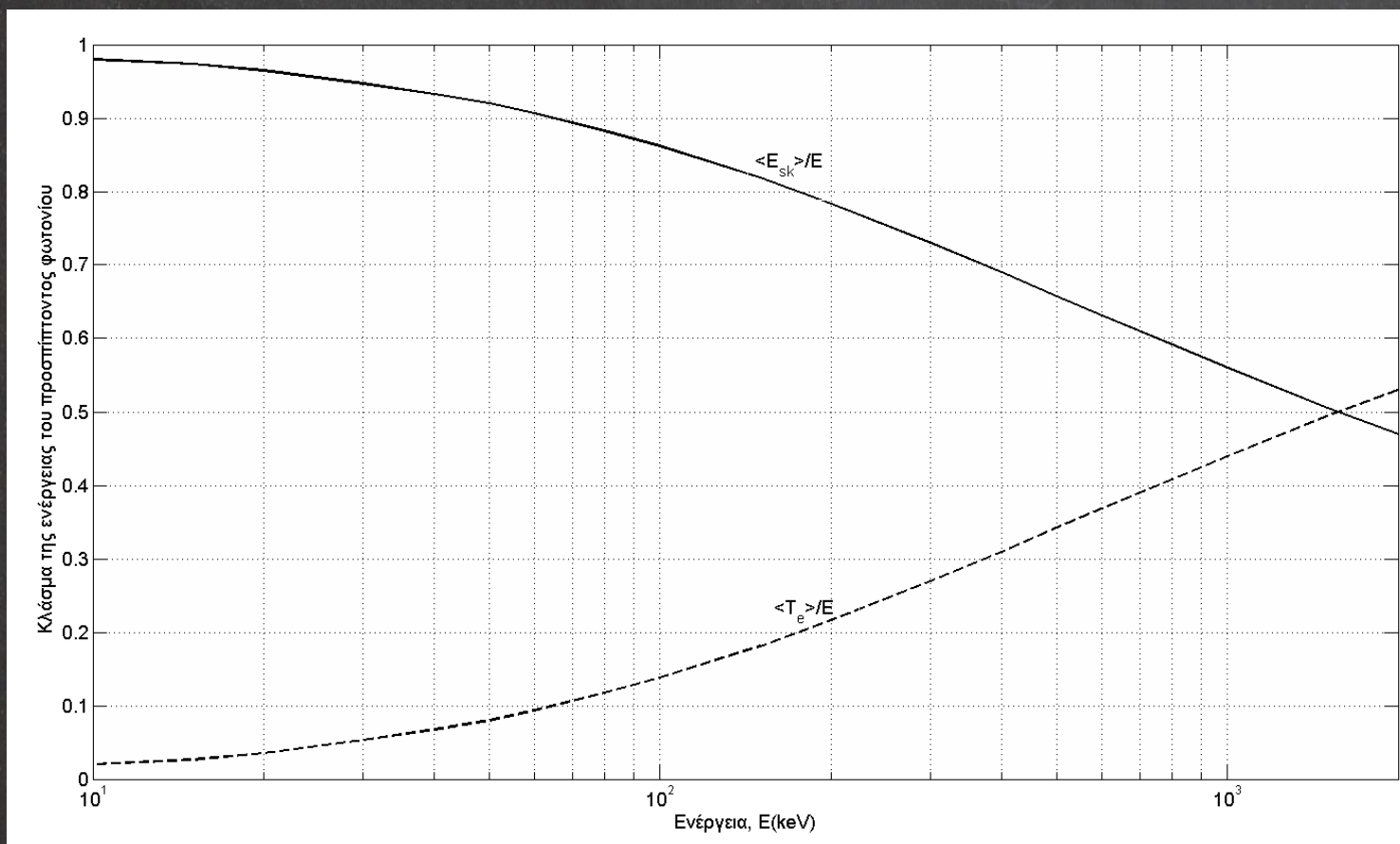
$$T_{eMIN} = 0$$

$$E_{scMAX} = E$$



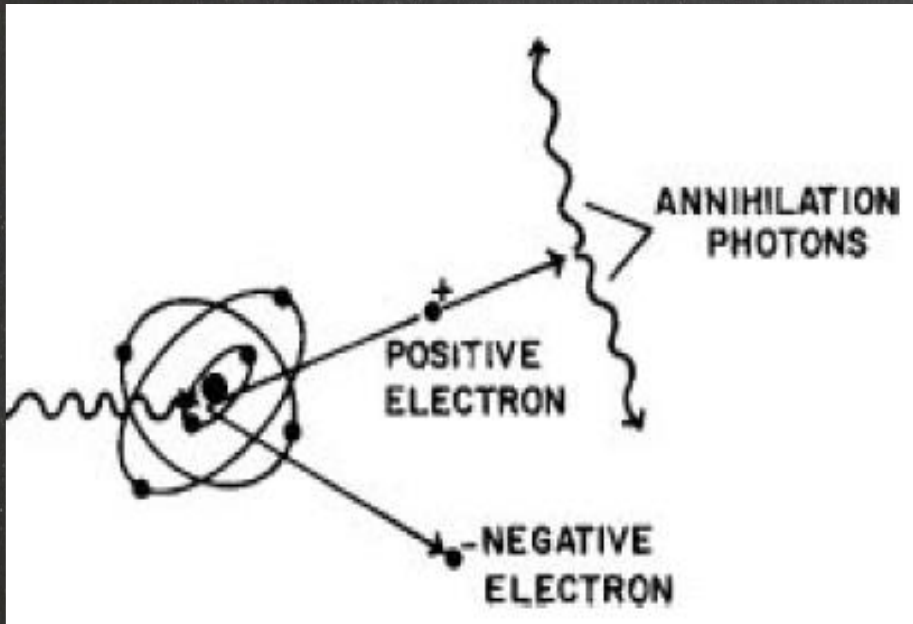
Κατανομή της γωνίας εκπομπής του  $e^-$  Compton και του φωτονίου που υπέστη σκέδαση ως προς τη διεύθυνση του αρχικού φωτονίου

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	Δίδ. 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	$\sim E_\phi$	$\sim E_{e^-} = E_\phi - E'_\phi$	$\sim E_{e^-} + E'_{e^+} = E_\phi - 1.02$

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

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

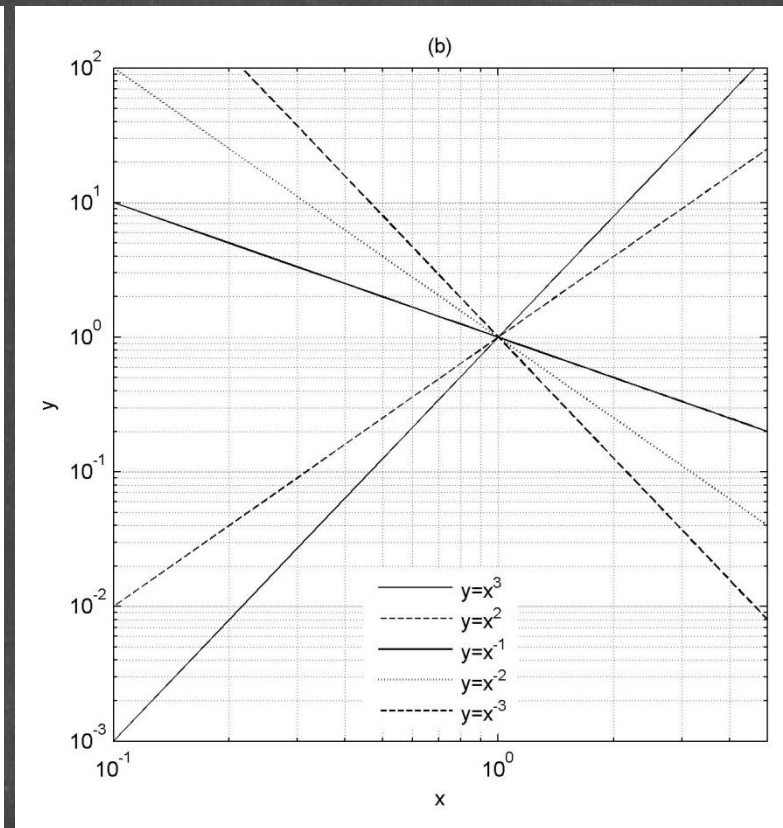
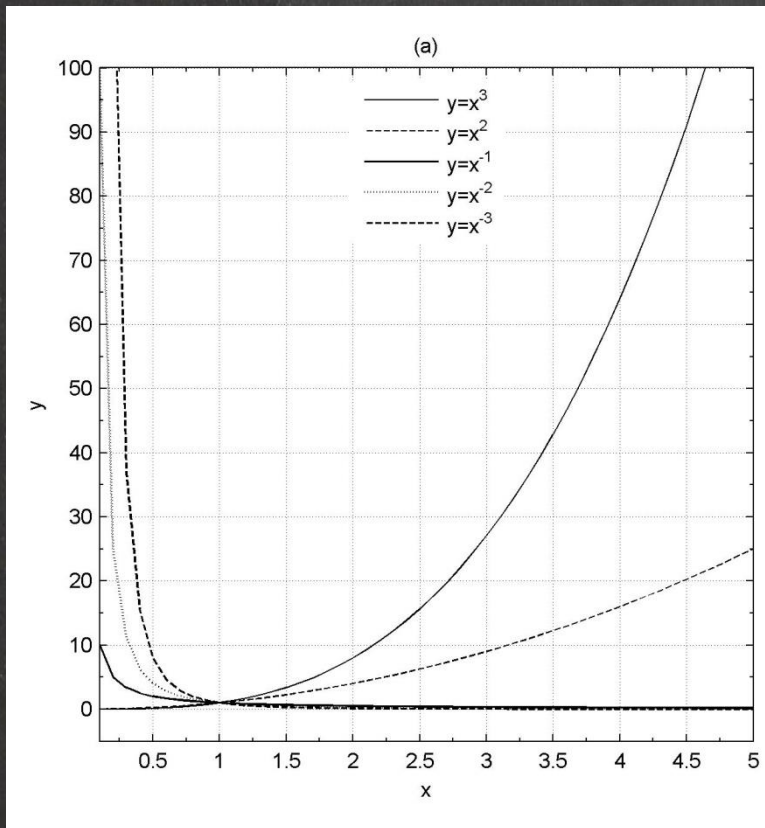
ή

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

# Συναρτήσεις δυνάμεων και λογαριθμικές κλίμακες ...

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

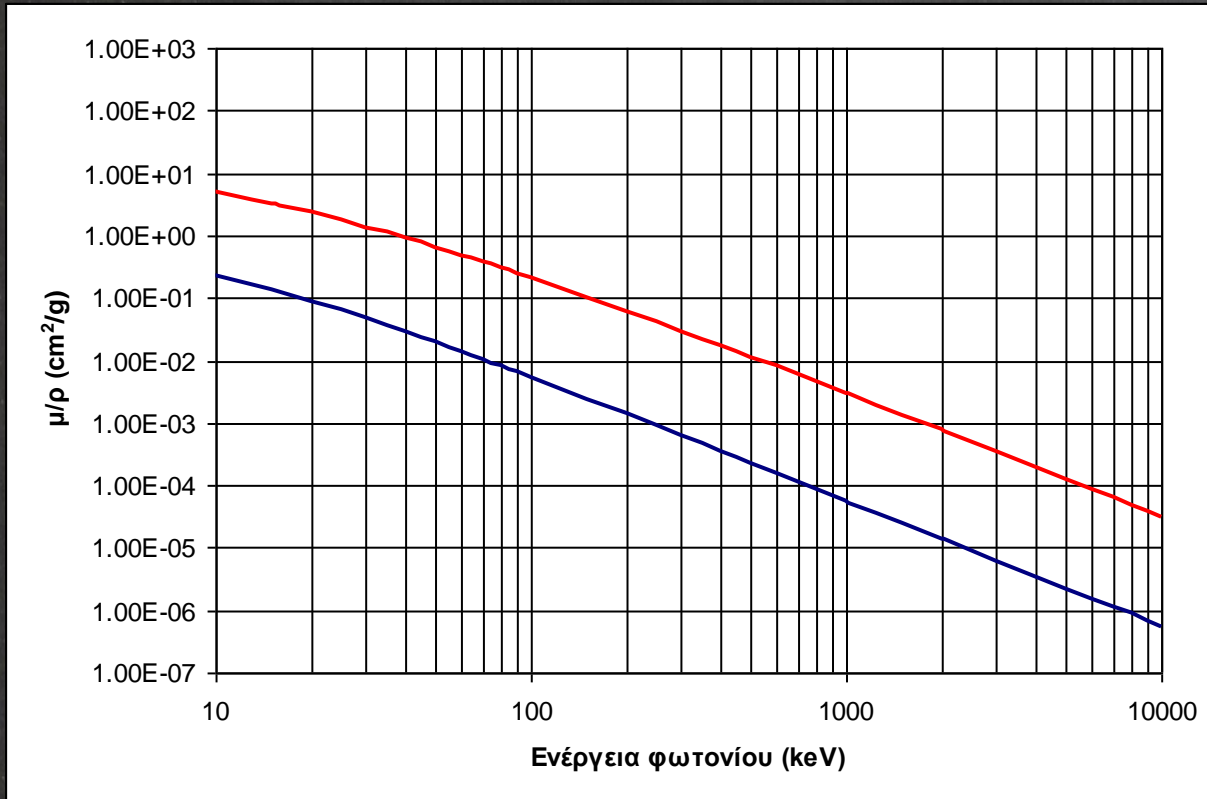
$$\log y = \log(Ax^{\pm n}) = \log A + \log(x^{\pm n}) \Leftrightarrow \log y = \log A \pm n \log x$$





# Σύμφωνη σκέδαση

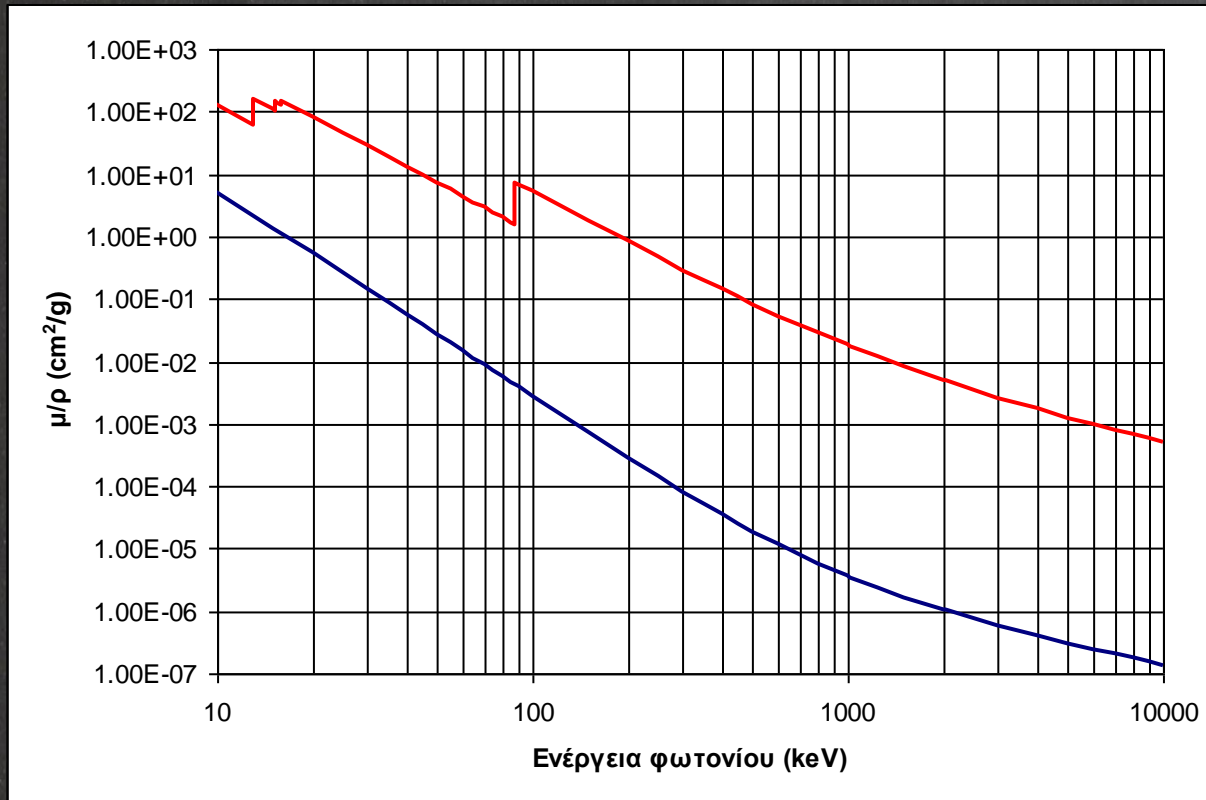
H<sub>2</sub>O ( $Z_{\text{eff}}=7.5$ ) & Pb( $Z=82$ )



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

# Φωτοηλεκτρικό

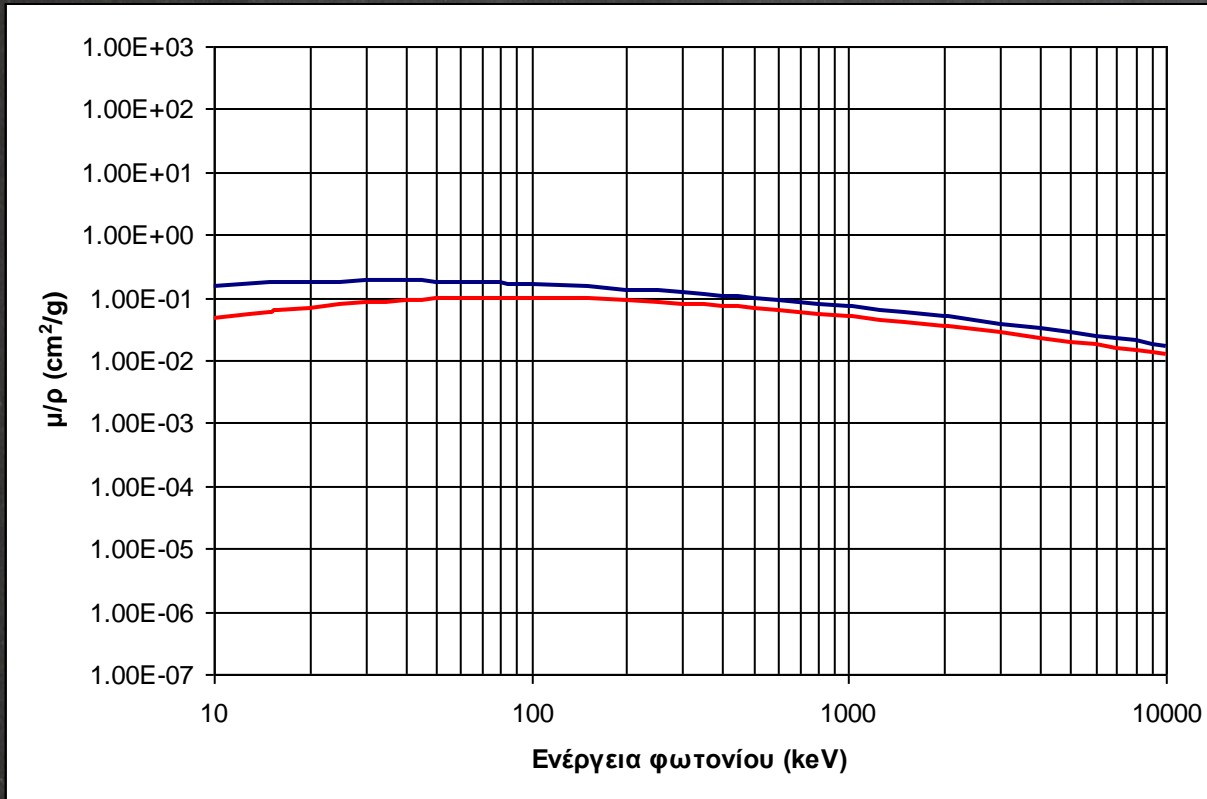
H<sub>2</sub>O ( $Z_{\text{eff}}=7.5$ ) & Pb( $Z=82$ )



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

# Σκέδαση Compton

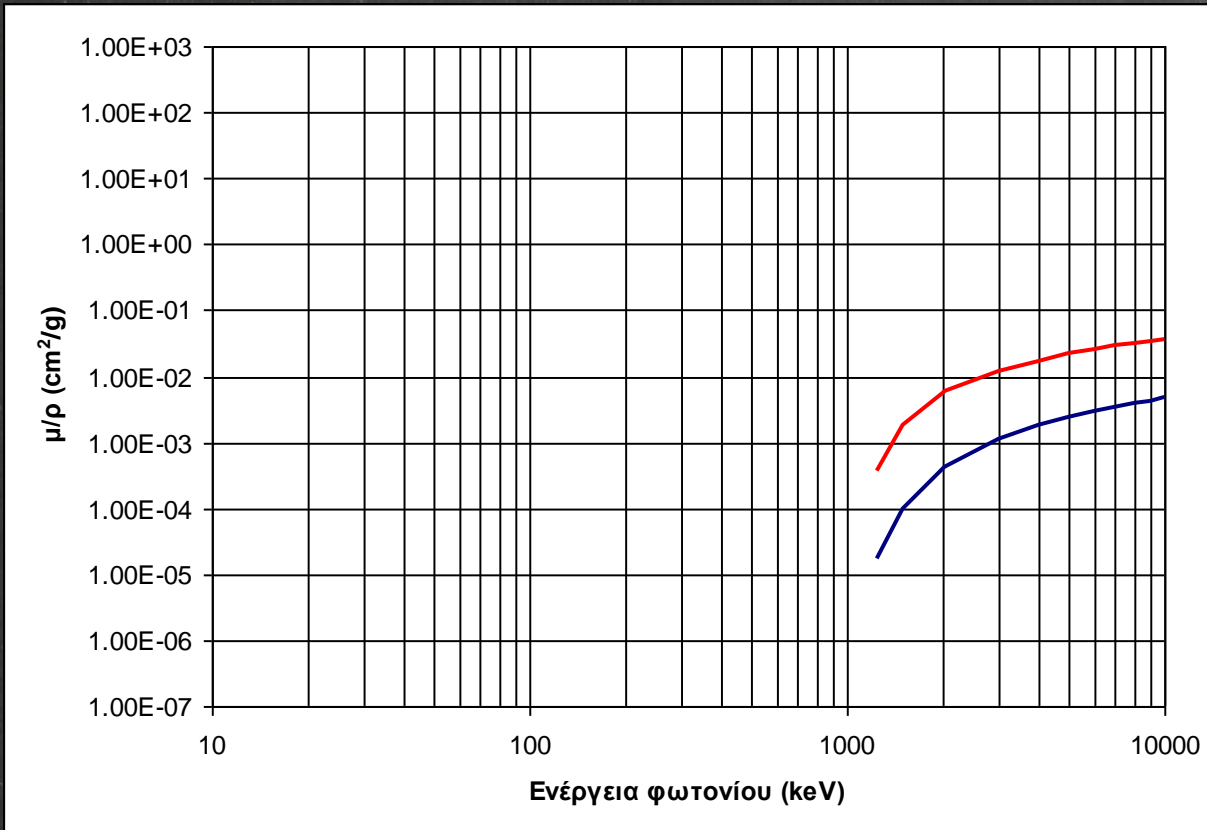
H<sub>2</sub>O ( $Z_{\text{eff}}=7.5$ ) & Pb( $Z=82$ )



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

# Δίδυμη γένεση

$\text{H}_2\text{O}$  ( $Z_{\text{eff}}=7.5$ ) &  $\text{Pb}$  ( $Z=82$ )



Πιθανότητα  
ανά μονάδα  
μάζας :

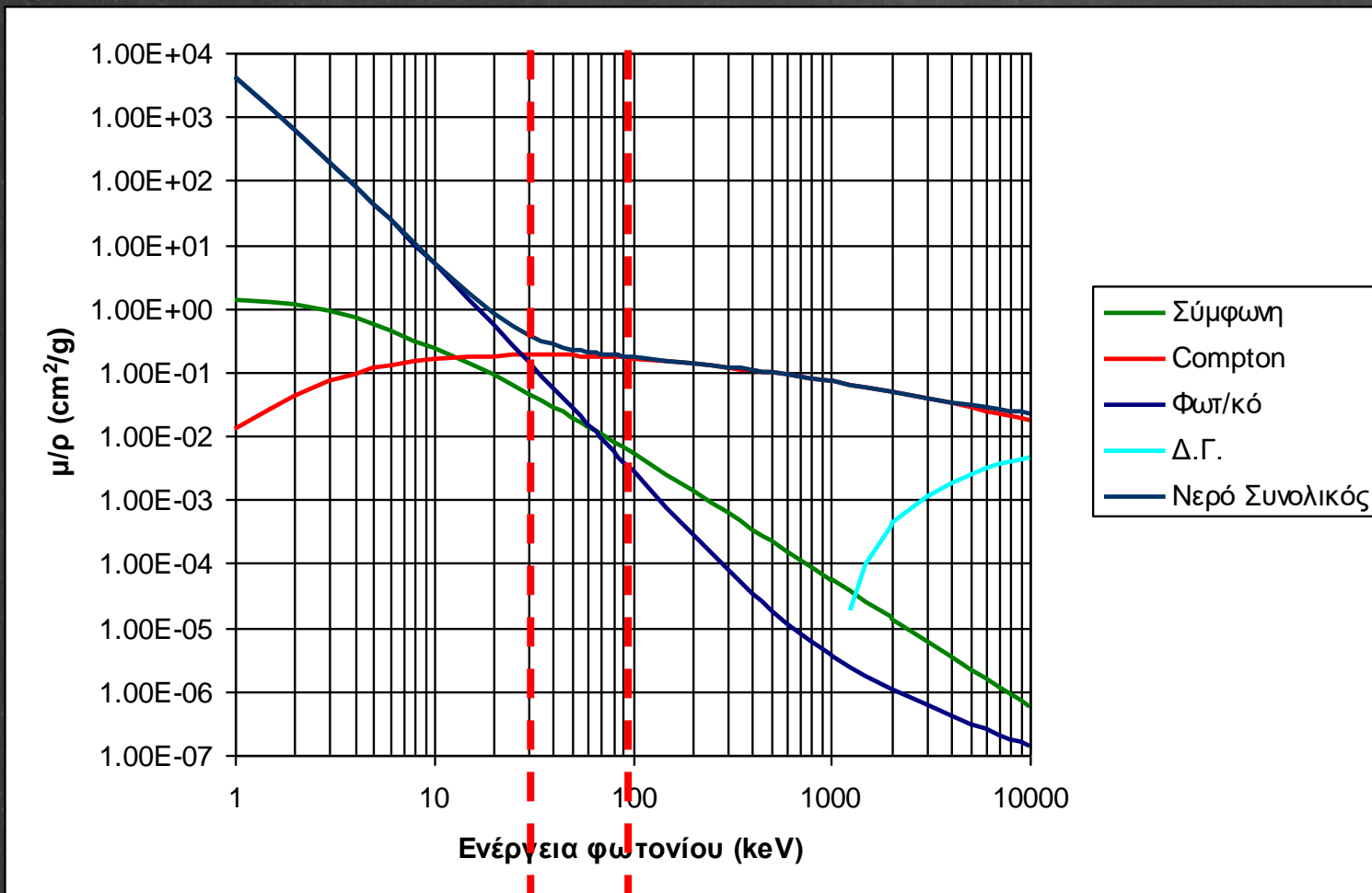
- Αυξάνει με την  $E$  ( $> 1,02 \text{ MeV}$ )

- $\sim Z$

## 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	$\sim E_\phi$	$\sim E_{e^-} = E_\phi - E'_\phi$	$\sim E_{e^-} = E_\phi - 1.02 - E'_{e^+}$
μ/ρ:	$\sim Z/E^2$	$\sim Z^3/E^3$	$\downarrow E$	$\uparrow E, \sim Z$

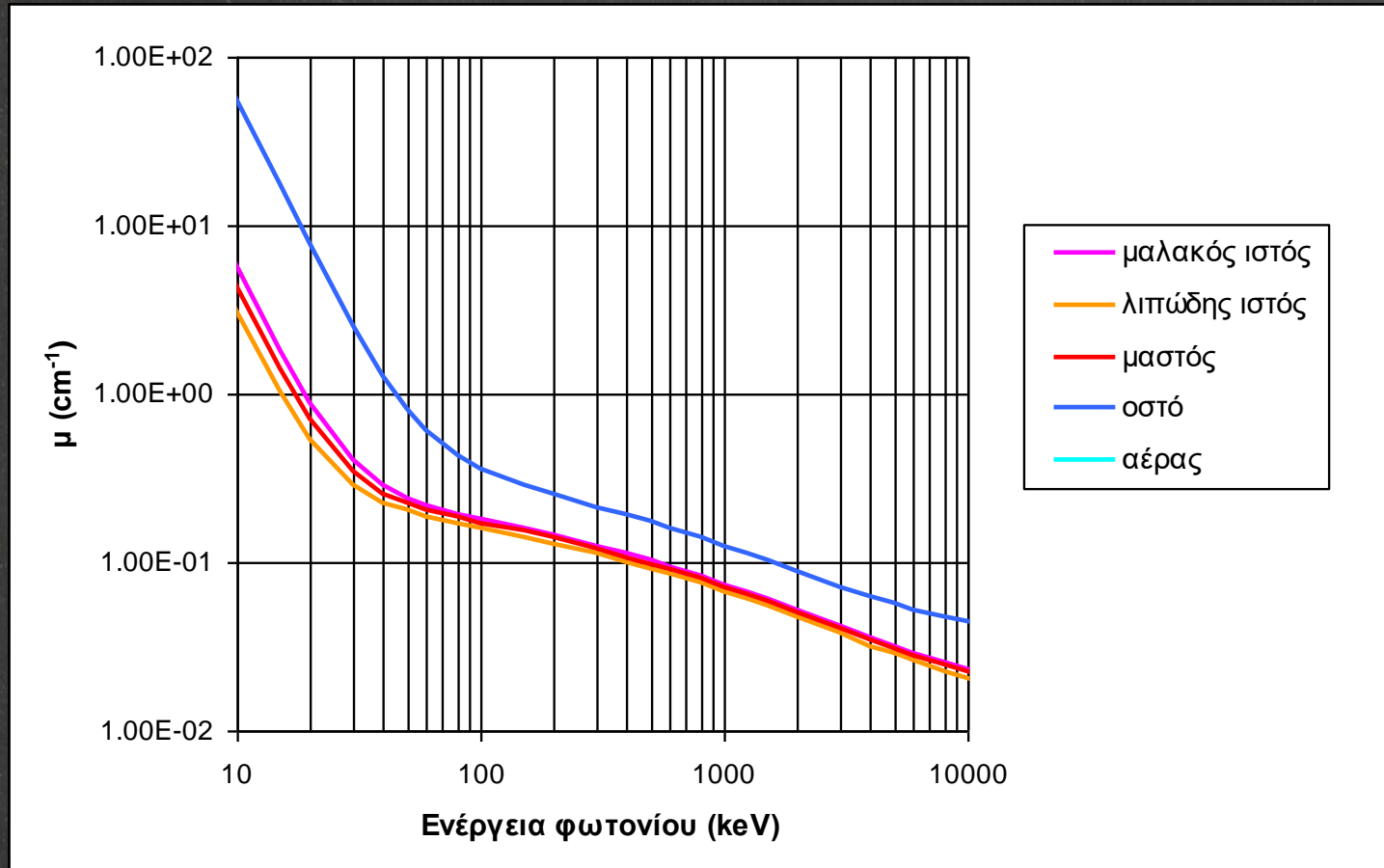
# Πιθανότητα αλλ/σης ανά μονάδα **μάζας** υλικού



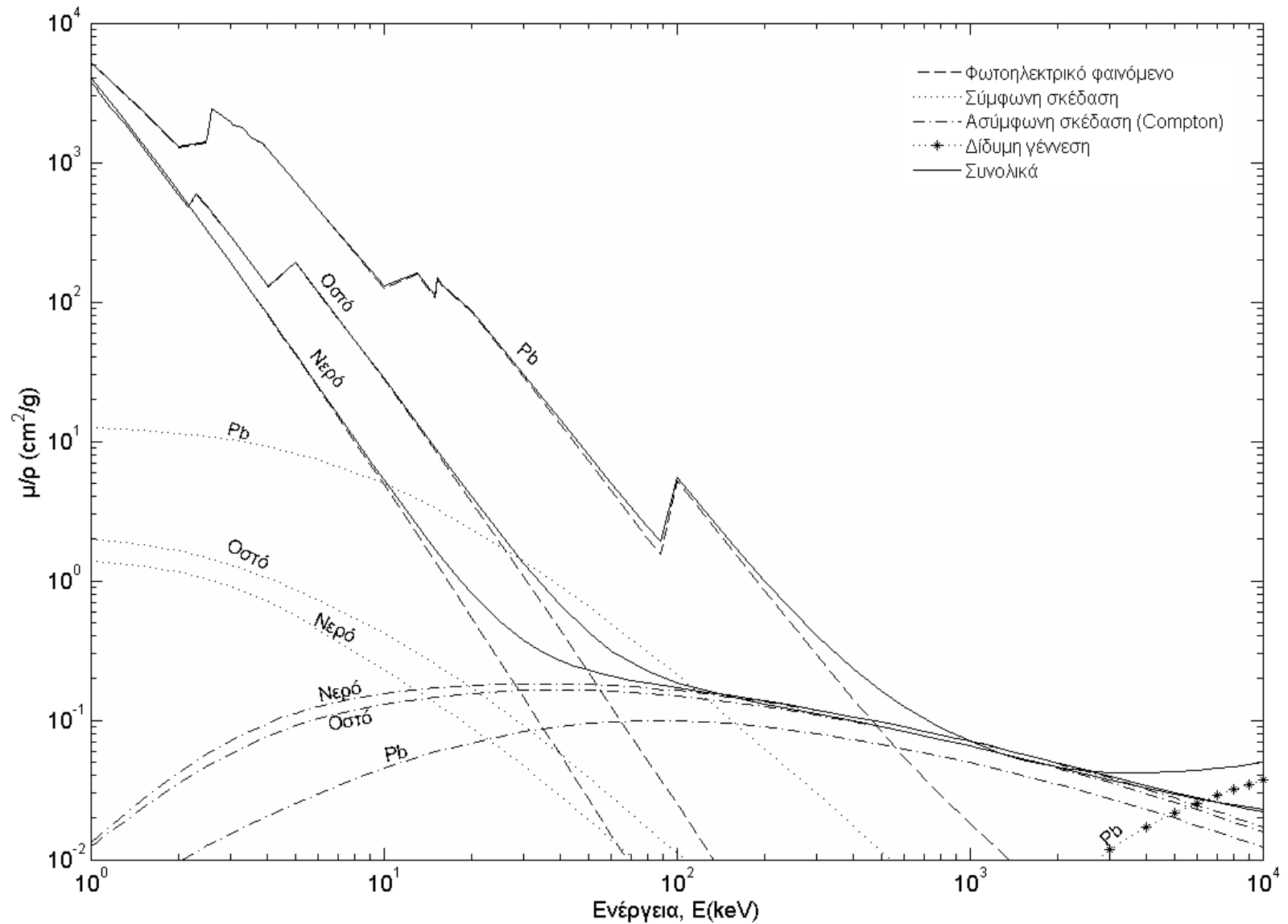
Φωτοηλεκτρικό

Compton

# Πιθανότητα αλλ/σης ανά μονάδα πάχους υλικού

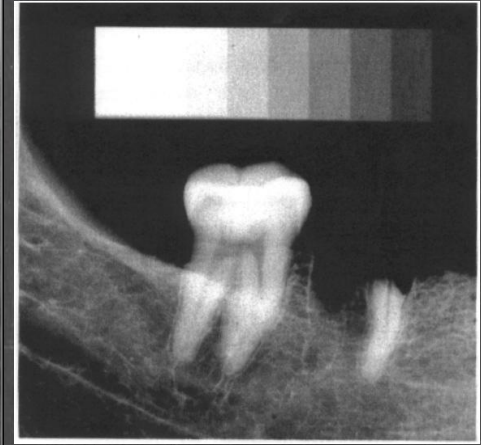
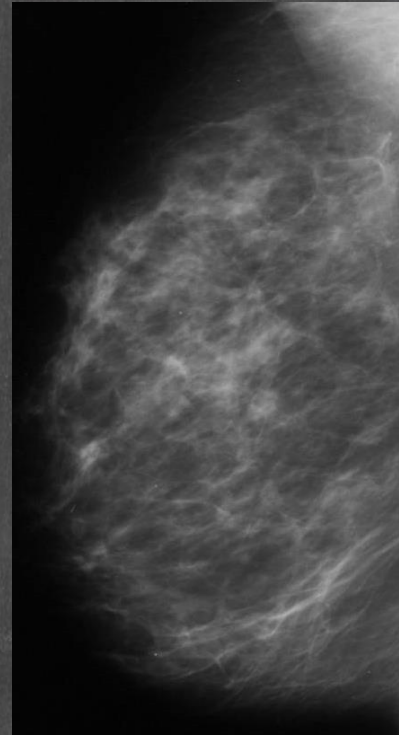
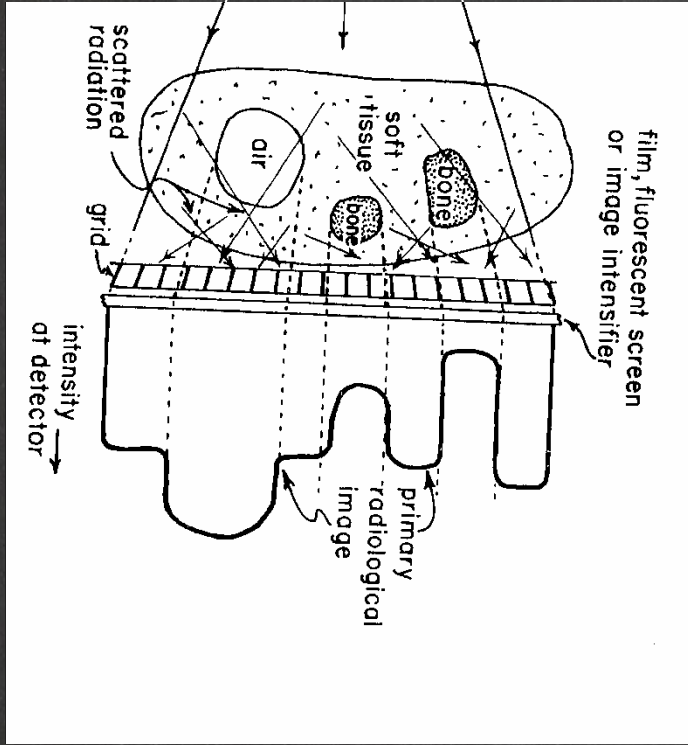
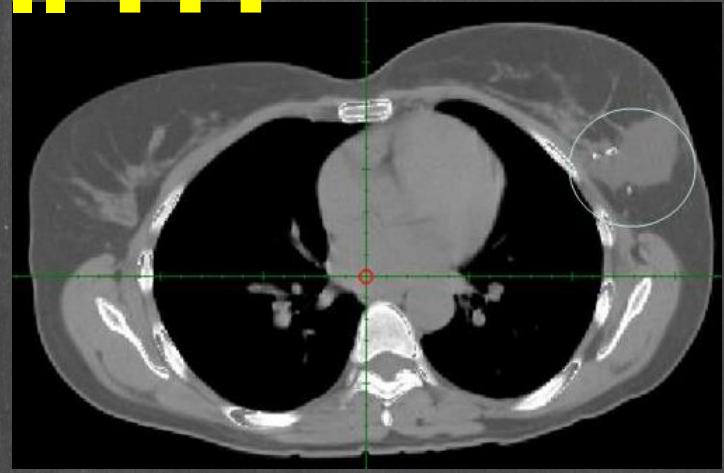


# Πιθανότητα αλλ/σης ανά μονάδα **μάζας** υλικού

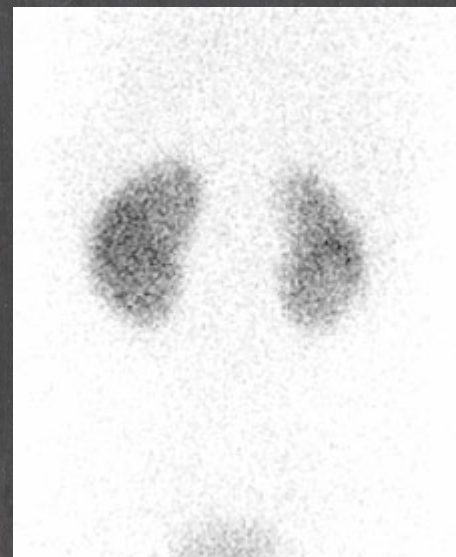
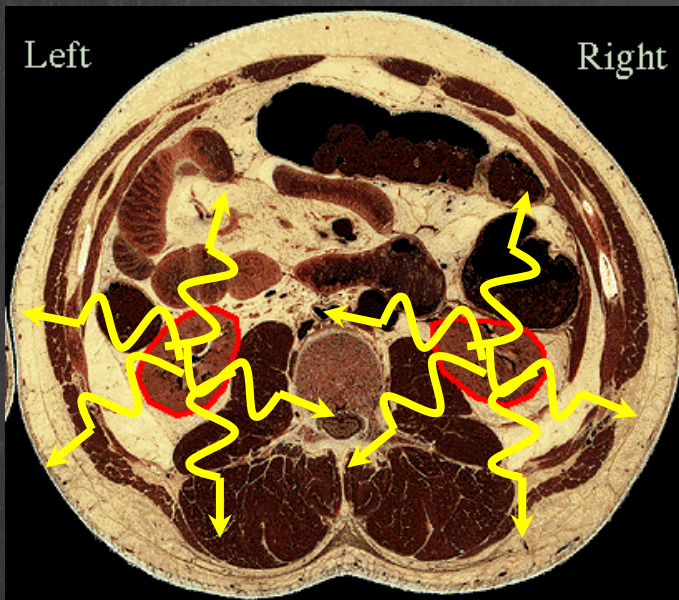




$E_{\phi}$  ..... ????



$E_{\phi}$  ..... ???



Ανιχνευτής ακτινοβολίας

$E_{\phi}$  ..... ????

