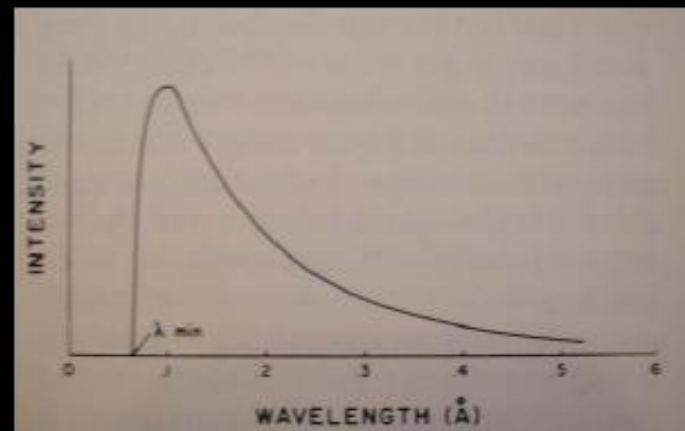
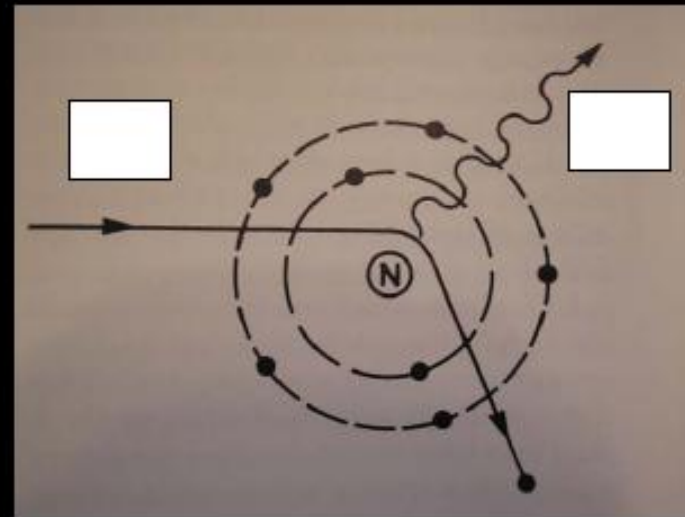


# Λυχνία παραγωγής ακτίνων X

*Λαβδάς Ελευθέριος*  
*Τεχνολόγος Ακτινολόγος*  
*MSc Ιατρική Φυσική*  
*Dr Υπολογιστική Τομογραφία*

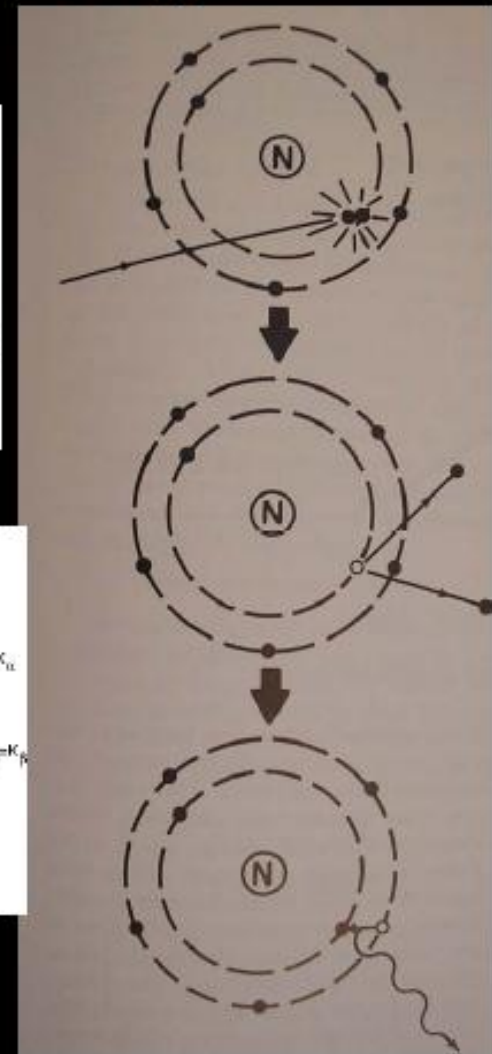
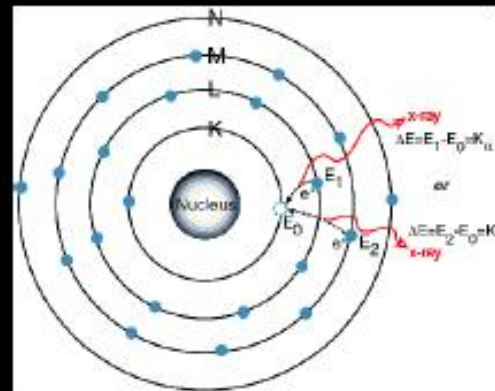
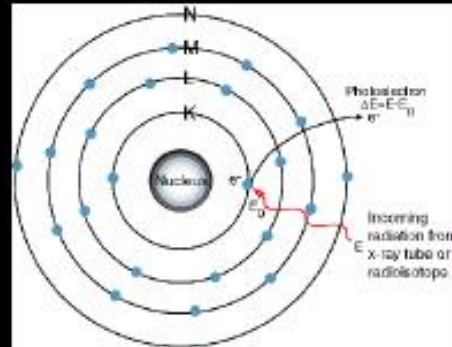
# Φαινόμενο πεδήσεως

- Συνεχές φάσμα
  - Ποικίλη ενέργεια των ηλεκτρονίων
  - Απώλεια ενέργειας ηλεκτρονίων σταδιακά
- Αλληλεπίδραση με τον πυρήνα του W
- Πολλαπλές διαδοχικές αλληλεπιδράσεις από το ίδιο καθοδικό ηλεκτρόνιο



# Φαινόμενο αποδιεγέρσεως

- Χαρακτηριστική ακτινοβολία προκύπτει από αλληλεπίδραση καθοδικών με ηλεκτρόνια των εσωτερικών στιβάδων του W
- Εξαρτάται από τα  $kVp$  και μόνο



- Κάθοδος

- Βολφράμιο

- Όχι εξάχνωση

- Σ.Τ. 3370<sup>0</sup>

- Καπέλο εστίασης

- Άνοδος

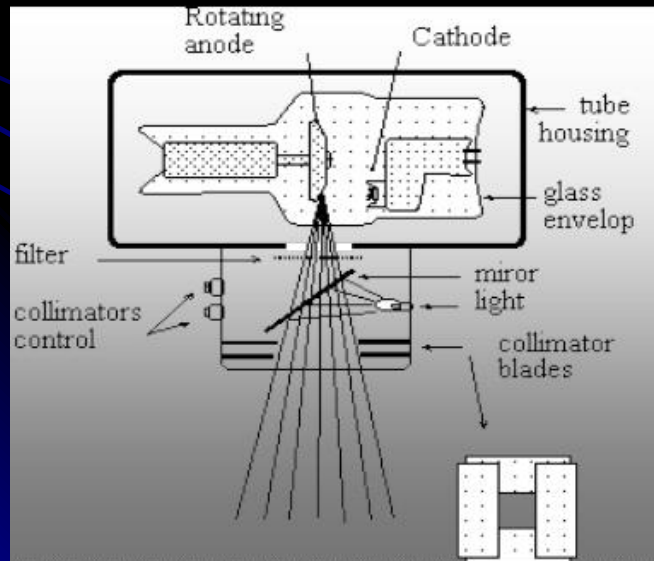
- Βολφράμιο

- Όχι εξάχνωση

- Σ.Τ. 3370<sup>0</sup>

- Υψηλό Z

- Υψηλή Θερμική αγωγιμότητα και χωρητικότητα



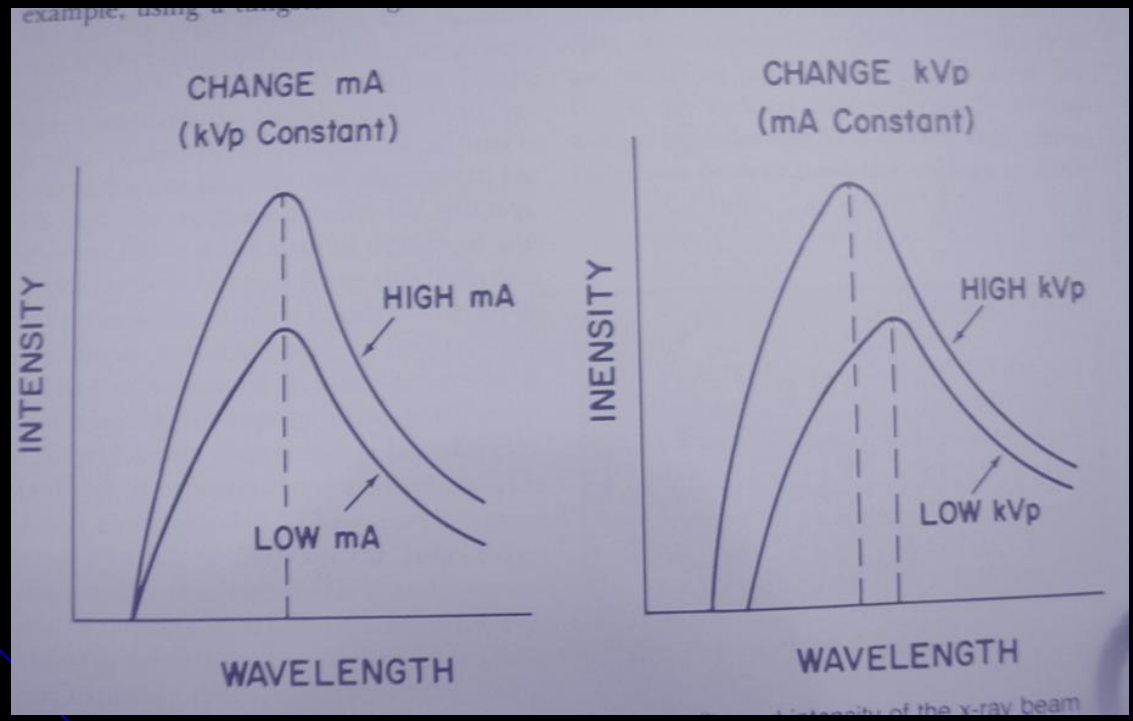


- Ποιότητα (Επίπεδο- Υψηλά)
- Ένταση=  $kVp^2$
- Ποσότητα στα χαμηλά  $kVp$  (Δ. κορεσμού)

$mAs$  = Ποσότητα



example, using a tungsten target



intensity of the x-ray beam

# Εφαρμογές - Νόμος του αντιστρόφου του τετραγώνου της απόστασης

- Ακτινοπροστασία τεχνολόγου - περιβάλλοντος
- Απόσταση

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{d_2^2}{d_1^2}$$

- Παράγοντες έκθεσης
- Τροποποίηση των παραγόντων έκθεσης ώστε να προκύψει συγκεκριμένη ΟΠ για διαφορετικές ΕΑ

$$\frac{mAs_1}{mAs_2} = \frac{d_1^2}{d_2^2}$$



Wilhelm Conrad Röntgen  
1845-1923



Bertha's hand  
Ανακάλυψη των ακτίνων -Χ  
Παρασκευή,  
8 - NOV - 1895

## First Nobel Prize in physics in 1901

"I didn't think, I investigated."

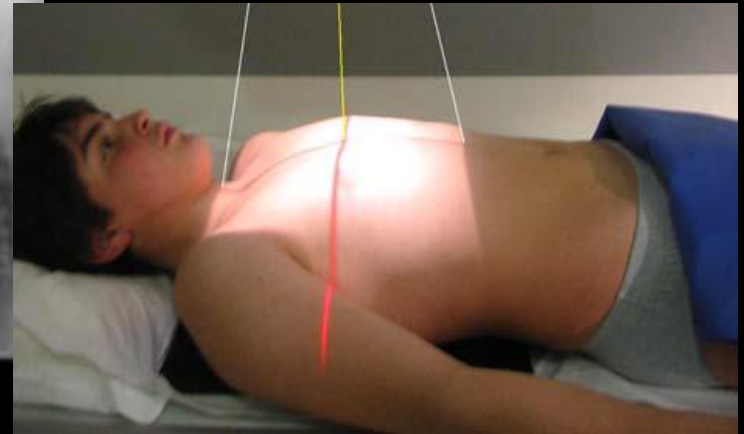
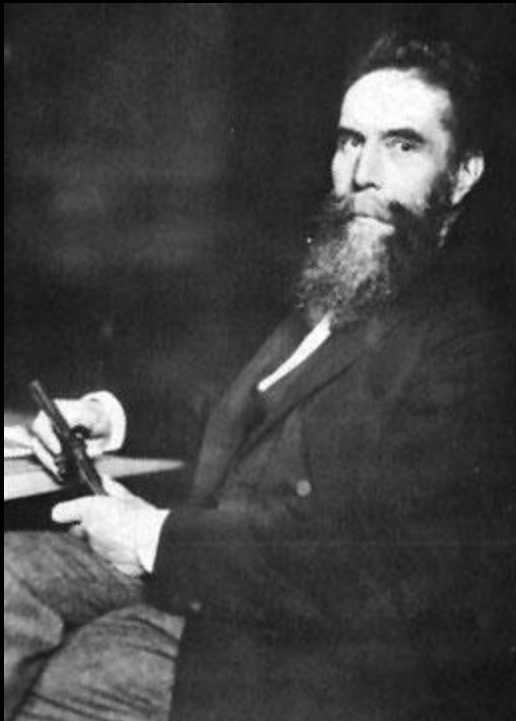


Ακτινογραφίες χεριού

King George and Queen Mary, 1896



Bertha's hand, 1895

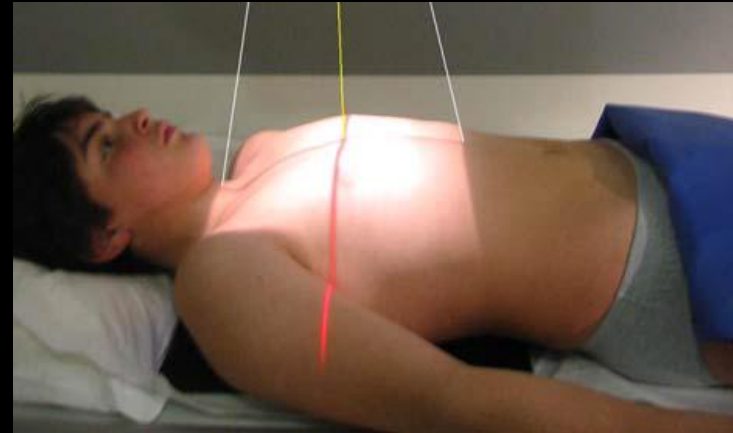
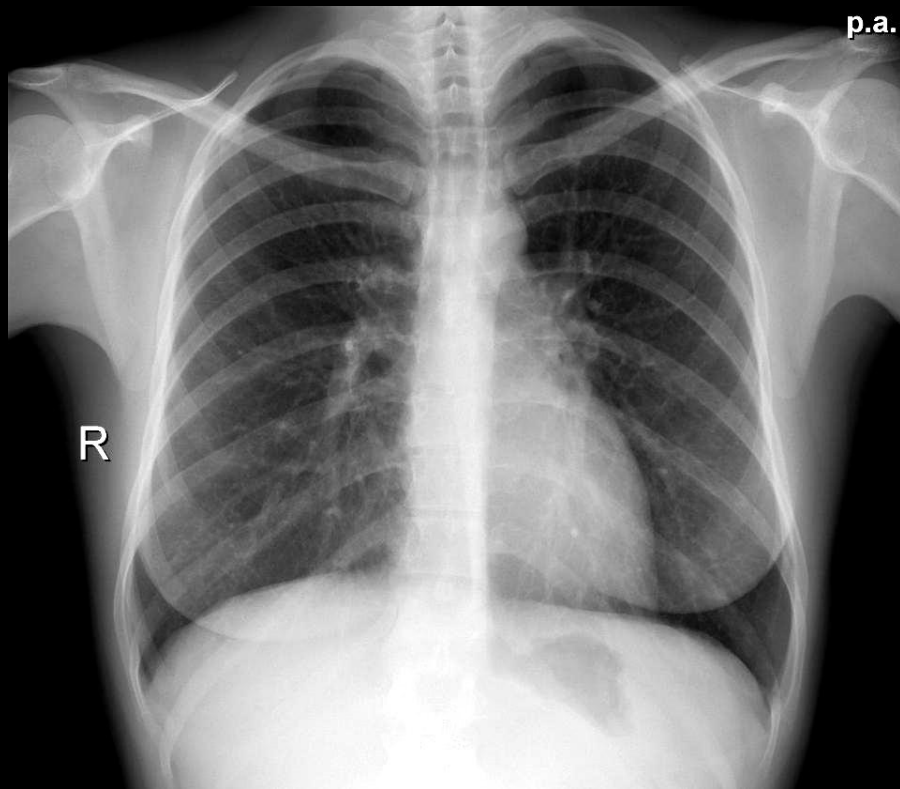


ο Στην ακτινολογία παράγουμε εικόνες.

ο Είμαστε φωτογράφοι ???

ο Η φωτογραφία δημιουργείται από την αποτύπωση του φωτός που ανακλάται από τις φωτογραφιζόμενες επιφάνειες (φύση, πρόσωπα κλπ)

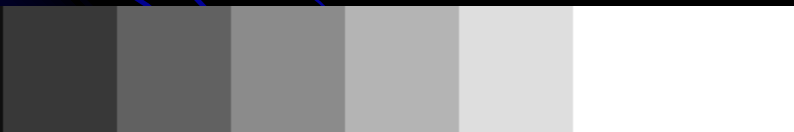
ο Στην ακτινολογία παράγουμε εικόνες που καταγράφουν την αλληλεπίδραση μιας μορφής ενέργειας με τις διάφορες δομές του σώματός μας

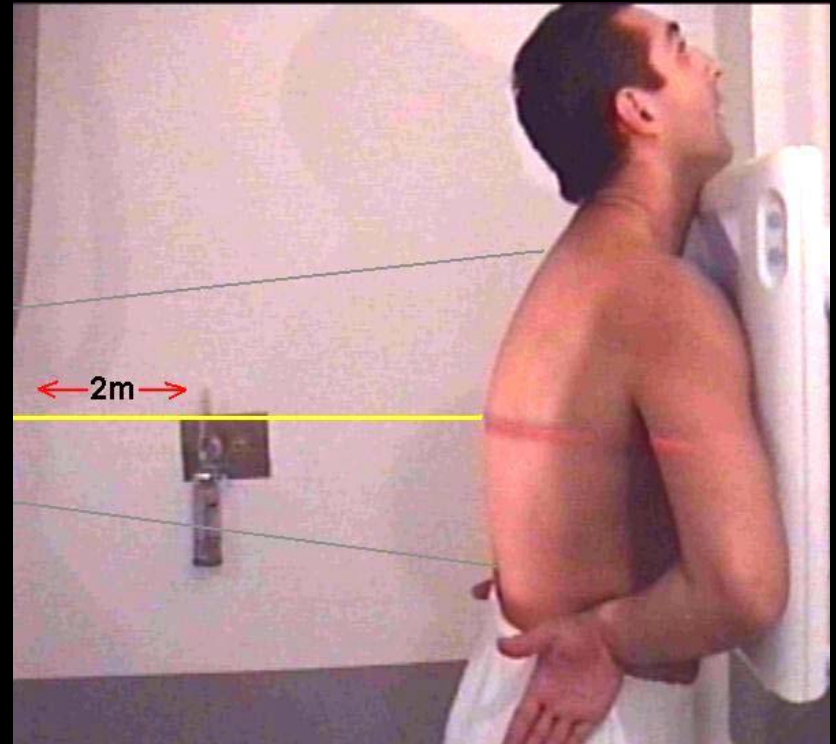


Κάθε μαυρόασπρη εικόνα είναι ένα σύνολο διαφορετικών αποχρώσεων στην κλίμακα του γκριζου (σκιαγραφική αντίθεση, contrast, έννοια που θα καθορίσουμε ακριβέστερα σε επόμενα μαθήματα)

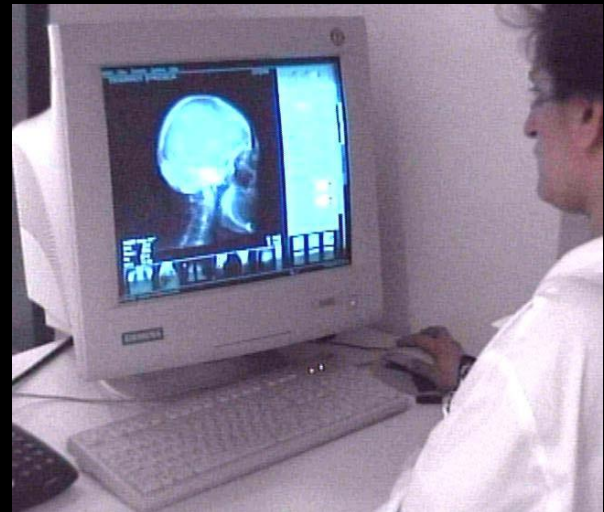
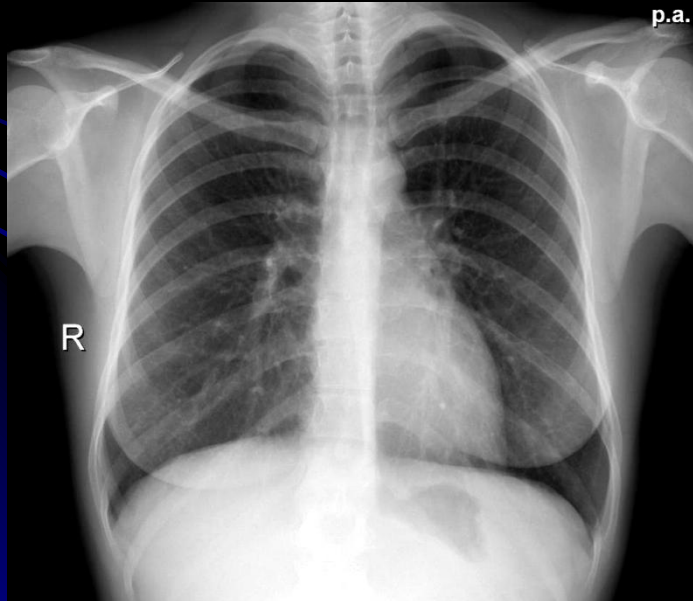
Η ερμηνεία της εικόνας στηρίζεται στο ότι οι διάφορες αποχρώσεις κατανέμονται σε σχήματα που αντιστοιχούν σε γνωστές δομές. Δηλαδή για την ανάγνωση οποιασδήποτε εικόνας χρειάζεται:

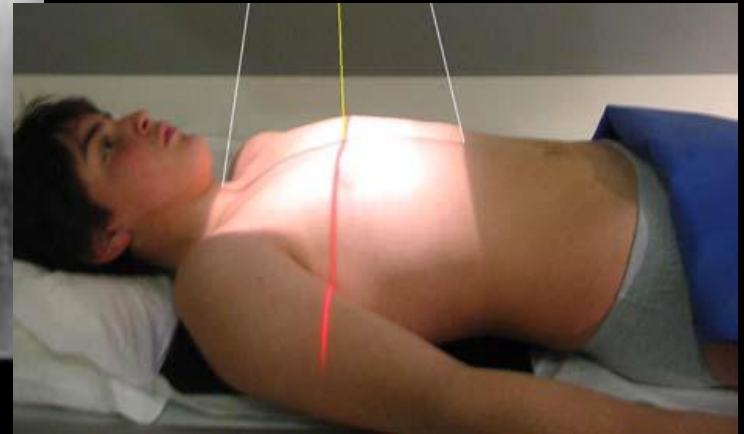
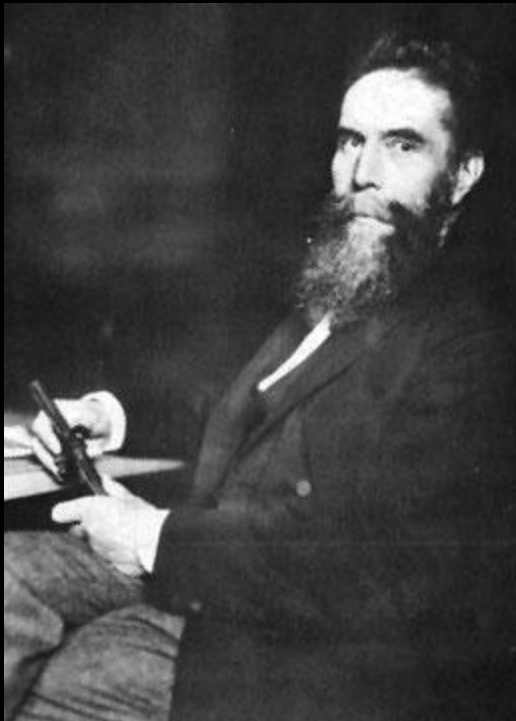
- ο α. Σκιαγραφική αντίθεση
- ο β. Γνώση της ανατομίας





p.a.





ο Στην ακτινολογία παράγουμε εικόνες.

ο Είμαστε φωτογράφοι ???

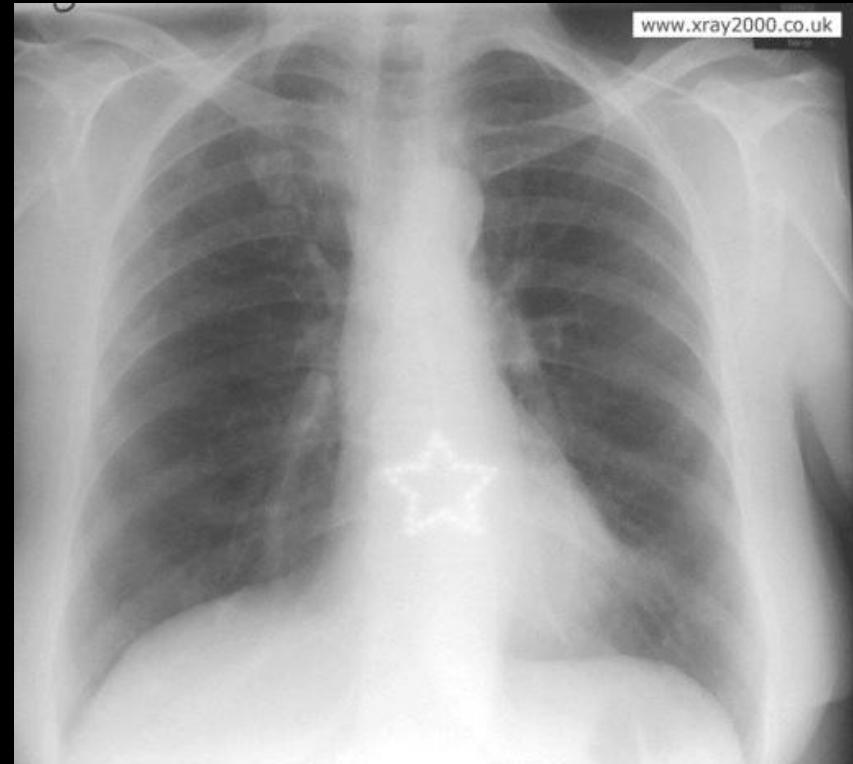
ο Η φωτογραφία δημιουργείται από την αποτύπωση του φωτός που ανακλάται από τις φωτογραφιζόμενες επιφάνειες (φύση, πρόσωπα κλπ)

ο Στην ακτινολογία παράγουμε εικόνες που καταγράφουν την αλληλεπίδραση μιας μορφής ενέργειας με τις διάφορες δομές του σώματός μας

# Αλληλεπίδραση Ακτινοβολίας και Ύλης

*Λαβδάς Ελευθέριος*  
*Τεχνολόγος Ακτινολόγος*  
*MSc Ιατρική Φυσική*  
*Dr Υπολογιστική Τομογραφία*

- Διαύγαση
  - Υλικό που επιτρέπει στα φωτόνια να διέλθουν χωρίς σημαντική εξασθένηση (αέρας) και πολλά από αυτά να φθάσουν στο ακτινολογικό φιλμ
- Σκίαση
  - Υλικό που εξασθενεί την ακτινοβολία (οστό) και επιτρέπει σε λίγα από αυτά να φθάσουν στο φιλμ



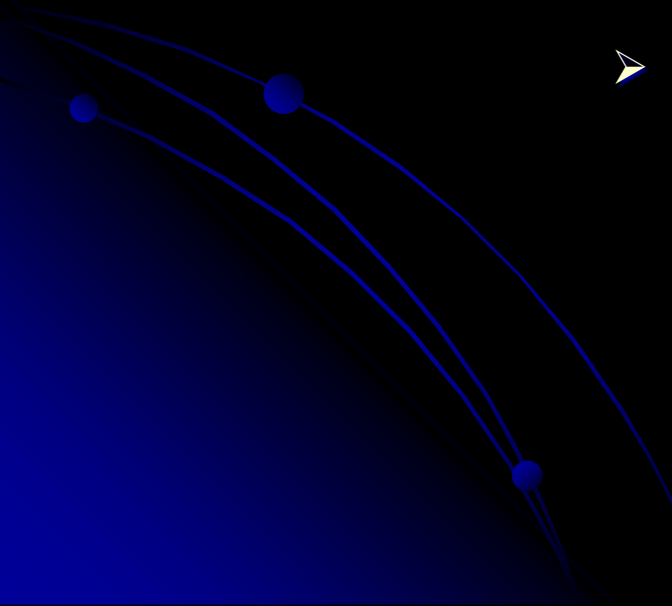
Mihran Kassabian (1870-1910)  
Φωτογράφησε την επίδραση  
της ακτινοβολίας στα χέρια του



- Η ακτινοβολία –X ανήκει στο .....
- Είναι βλαβερή διότι .....
- Τα φαινόμενα που την παράγουν είναι .....

# ΑΡΧΕΣ ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗΣ

Πολλά είδη ακτινοβολίας :

- Φωτόνια
  - Ηλεκτρόνια
  - Βαρέα σωματρία
    - Πρωτόνια
    - Νετρόνια
  - Ελαφρά ιόντα
- 

# ΑΡΧΕΣ ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗΣ

## Κατηγοριοποίηση Ακτινοβολίας

- ✓ Μη-ιοντίζουσα Ακτινοβολία (δεν μπορεί να ιονίσει το υλικό)
- ✓ Ιοντίζουσα Ακτινοβολία (μπορεί να ιονίσει το υλικό άμεσα ή έμμεσα)
  - Άμεσα ιοντίζουσα ακτινοβολία (φορτισμένα σωμάτια) ηλεκτρόνια, πρωτόνια, άλφα σωμάτια, βαρέα ιόντα
  - Έμμεσα ιοντίζουσα ακτινοβολία (ουδέτερα σωμάτια) φωτόνια (x rays, gamma rays), νετρόνια

# ΑΡΧΕΣ ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗΣ

## Κατηγοριοποίηση Ακτινοβολίας

Άμεσα ιοντίζουσα ακτινοβολία εναποθέτει ενέργεια στην ύλη μέσω αλληλεπίδρασης Coulomb μεταξύ των φορτισμένων σωματίων και των τροχιακών ηλεκτρονίων των ατόμων του υλικού.

Έμμεσα ιοντίζουσα ακτινοβολία (φωτόνια ή νετρόνια) εναποθέτει ενέργεια στο υλικό μέσω διαδικασίας 2 βημάτων:

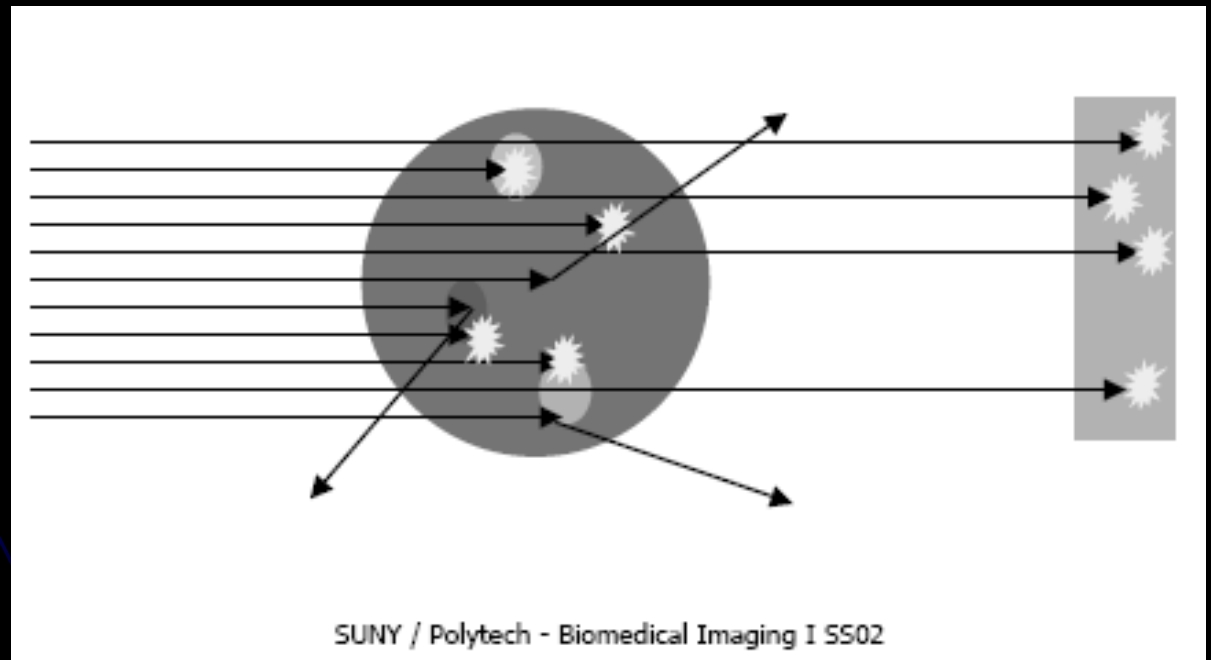
- ✓ Στο πρώτο βήμα ένα φορτισμένο σωματίο απελευθερώνεται στο υλικό (φωτόνια δίνουν ηλεκτρόνια ή ποζιτρόνια, νετρόνια δίνουν πρωτόνια ή βαρέα ιόντα).
- ✓ Στο δεύτερο βήμα, τα απελευθερωμένα φορτισμένα σωματίδια δίνουν ενέργεια στην ύλη μέσω αλληλεπίδρασης Coulomb με τα τροχιακά ηλεκτρόνια.

# Αλληλεπίδραση Ακτινοβολίας και Ύλης

- ΦΩΤΌΝΙΑ Αλληλεπίδραση με πυρήνες και τροχιακά  $e^-$
- Στο φάσμα της Ακτινοδιάγνωσης μόνο  $e^-$
- Διάσπαση μοριακής δομής (δεσμούς μεταξύ των ατόμων)  
Όταν τα  $e^-$  τύχει να είναι αυτά που κάνουν τους δεσμούς.
- Μικρές ενέργειες συγκρατούν τα μόρια για να επηρεάσουν τον τύπο και τον αριθμό των Αλληλεπιδράσεων
- Ατομική δομή όχι μοριακή
- Απορρόφηση, σκέδαση
- Σκέδαση = θόρυβος ή ομιχλώδη

Δεν μεταφέρουν σωστή πληροφορία γιατί αποκλίνουν από την αρχική τους πορεία.

- Οι αλληλεπιδράσεις ακτινοβολίας-Χ και ύλης στη διαγνωστική ακτινολογία αφορούν μόνο στα ηλεκτρόνια των ατόμων
- Εξασθένιση
  - Η διαδικασία με την οποία η πρωτογενής δέσμη τροποποιείται ή απορροφάται κατά τη διέλευσή της από το ανατομικό θέμα
- Κατά τις αλληλεπιδράσεις η ενέργεια των φωτονίων ή απορροφάται ή σκεδάζεται.

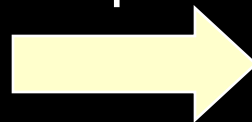


# ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΦΩΤΟΝΙΩΝ

## Κύριες διαδικασίες αλληλεπίδρασης

- ✓ Σύγχρονος (Rayleigh) σκεδασμός
- ✓ Φωτοηλεκτρικό φαινόμενο
- ✓ Compton (incoherent) σκεδασμός
- ✓ Δίδυμος και Τρίδυμος γένεση
- ✓ Φωτοδιάσπαση

Ενέργεια φωτονίου



Πιθανότητα σκέδασης

# Σύμφωνη σκέδαση

- Το άτομο απορροφά φωτόνιο
- Τα ηλεκτρόνια δονούνται στη συχνότητα του φωτονίου
- Το άτομο είναι ασταθές
- Εκλύεται φωτόνιο
- Δεν υπάρχει μεταφορά ενέργειας
- Δεν συμβαίνει ιονισμός
- Μόνο η διεύθυνση του νέου φωτονίου μεταβάλλεται (σκέδαση)
- Γενικά μόνο το 5% των αλληλεπιδράσεων είναι αυτού του τύπου



# ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΦΩΤΟΝΙΩΝ

## Σύγχρονος Σκεδασμός

- Δεν αποδίδεται ενέργεια στο μέσο
- Το φωτόνιο σκεδάζεται σε μικρές γωνίες
- Ενέργειες 10-12 keV
- Μεγάλη για μεγάλο Z, στο Pb και σε υψηλές ενέργειες
- Thomson ένα  $e^-$  Rayleigh όλα.

Η ενεργός διατομή δίδεται προσεγγιστικά από την σχέση:

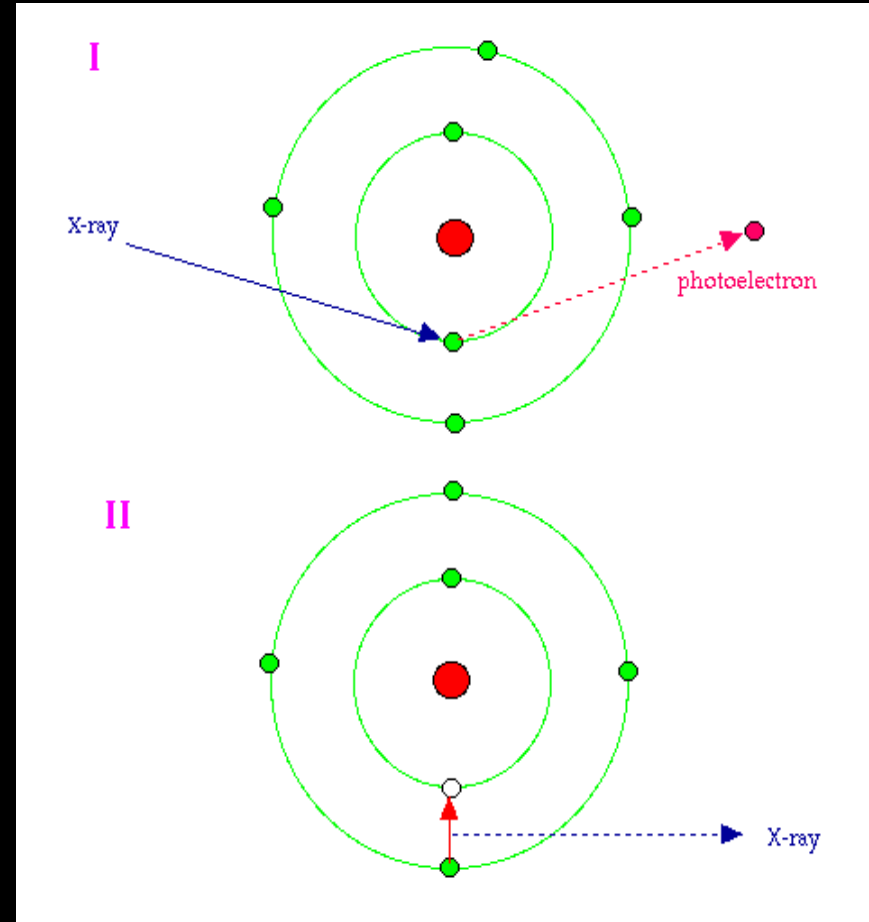
$$\sigma_{coh} \propto Z^{2.5} E_p^{-2}$$

# Φωτοηλεκτρικό φαινόμενο – Δομή ατόμου

- Πυρήνας - ηλεκτρόνιο
- Κ 2 ηλεκτρόνια, L 8
- Κοντά στον Πυρήνα ποιο σφιχτά.
- Περιφέρεια σχεδόν ελεύθερα ηλεκτρόνια
- Ενέργεια δέσμευσης εξαρτάται από το Z
- Pb 88 keV, Ca 4 keV
- Κ σε χαμηλότερο επίπεδο Ενέργειας
- Περιφέρεια σχεδόν ελεύθερα. Κοντά στον Πυρήνα ενεργειακό χρέος και υψηλότερο σε υψηλό Z.

# Φωτοηλεκτρικό φαινόμενο

- Αλληλεπίδραση φωτονίου με ηλεκτρόνιο εσώτερης στιβάδας → απελευθέρωση φωτοηλεκτρονίου
- Παραγωγή ιόντος
- Μεταφορά περιφερικού ηλεκτρονίου στην κενή θέση με απελευθέρωση φωτονίου συγκεκριμένης ενέργειας
- ΠΑΡΑΓΟΝΤΑΙ ΤΡΙΑ ΠΡΑΓΜΑΤΑ
  - Φωτοηλεκτρόνιο
  - Θετικό ιόν
  - Χαρακτηριστική ακτινοβολία



# Φωτοηλεκτρικό φαινόμενο – Δομή ατόμου

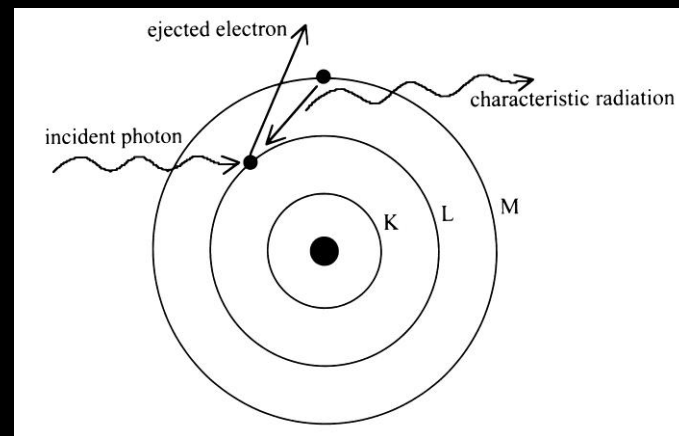
- Πυρήνας - ηλεκτρόνιο
- Κ 2 ηλεκτρόνια, L 8
- Κοντά στον Πυρήνα ποιο σφιχτά.
- Περιφέρεια σχεδόν ελεύθερα ηλεκτρόνια
- Ενέργεια δέσμευσης εξαρτάται από το Z
- Pb 88 keV, Ca 4 keV
- Κ σε χαμηλότερο επίπεδο Ενέργειας
- Περιφέρεια σχεδόν ελεύθερα. Κοντά στον Πυρήνα ενεργειακό χρέος και υψηλότερο σε υψηλό Z.

# ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΦΩΤΟΝΙΩΝ

## Φωτοηλεκτρικό φαινόμενο

Το φαινόμενο αυτό μπορεί να συμβεί μόνο στην περίπτωση που το εισερχόμενο φωτόνιο έχει ενέργεια αρκετή ώστε να υπερνικήσει την ενέργεια συνδέσεως του ηλεκτρονίου που εξέρχεται και το οποίο ονομάζεται **φωτοηλεκτρόνιο**.

Το ηλεκτρόνιο που εξέρχεται έχει κινητική ενέργεια  $(h\nu - b)$  όπου  $h\nu$  η ενέργεια του φωτονίου και  $b$  η ενέργεια συνδέσεως του ηλεκτρονίου, οδεύει μέσα στην ύλη προκαλώντας ιονισμούς έως ότου χάσει όλη την ενέργεια.



***Η διαδικασία αυτή είναι κυρίαρχη για ενέργειες φωτονίων λίγο μεγαλύτερες από την ενέργεια δεσμού του τροχιακού ηλεκτρονίου.***

# ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΦΩΤΟΝΙΩΝ

## Φωτοηλεκτρικό φαινόμενο

Η ατομική ενεργός διατομή (πιθανότητα φωτοηλεκτρικού/άτομο) εξαρτάται από τον ατομικό αριθμό και είναι:

$$\sigma_{pe} \propto Z^3 E_p^{-3}$$

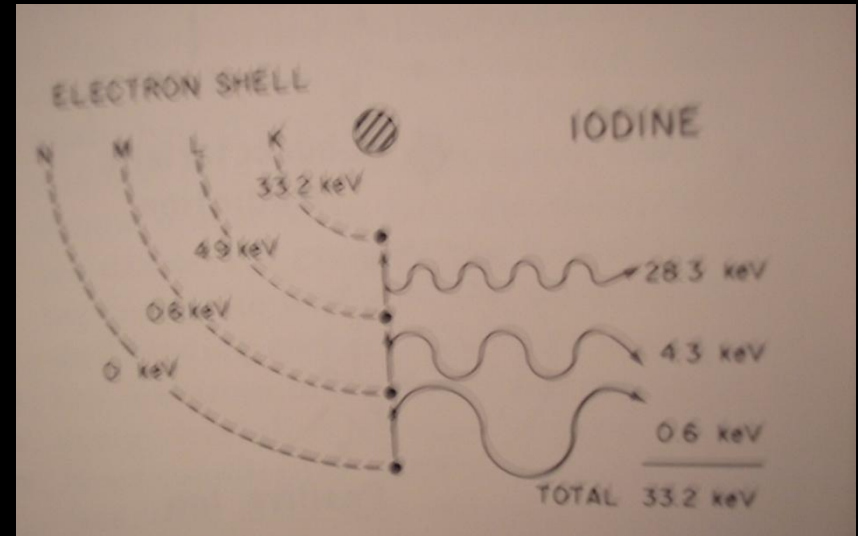
Ε φωτονίου να είναι μεγαλύτερη της  $E$  δέσμευσης.  
Μεγαλύτερη πιθανότητα όταν είναι πολύ κοντά  
Όσο πιο σφιχτά ( $Z$ ), Μεγαλύτερη πιθανότητα.

Υψηλό kVp λιγότερο **Φωτοηλεκτρικό φαινόμενο =**  
**λιγότερη Ακτινοβολία στον εξεταζόμενο**

# Φωτοηλεκτρικό φαινόμενο

Table 4-1. K-Shell Electron Binding Energies of Elements Important in Diagnostic Radiology

ATOMIC NUMBER	ATOM	K-SHELL BINDING ENERGY (keV)
6	Carbon	0.284
7	Nitrogen	0.400
8	Oxygen	0.532
13	Aluminum	1.56
20	Calcium	4.04
50	Tin	29.2
53	Iodine	33.2
56	Barium	37.4
74	Tungsten	69.5
82	Lead	88.0



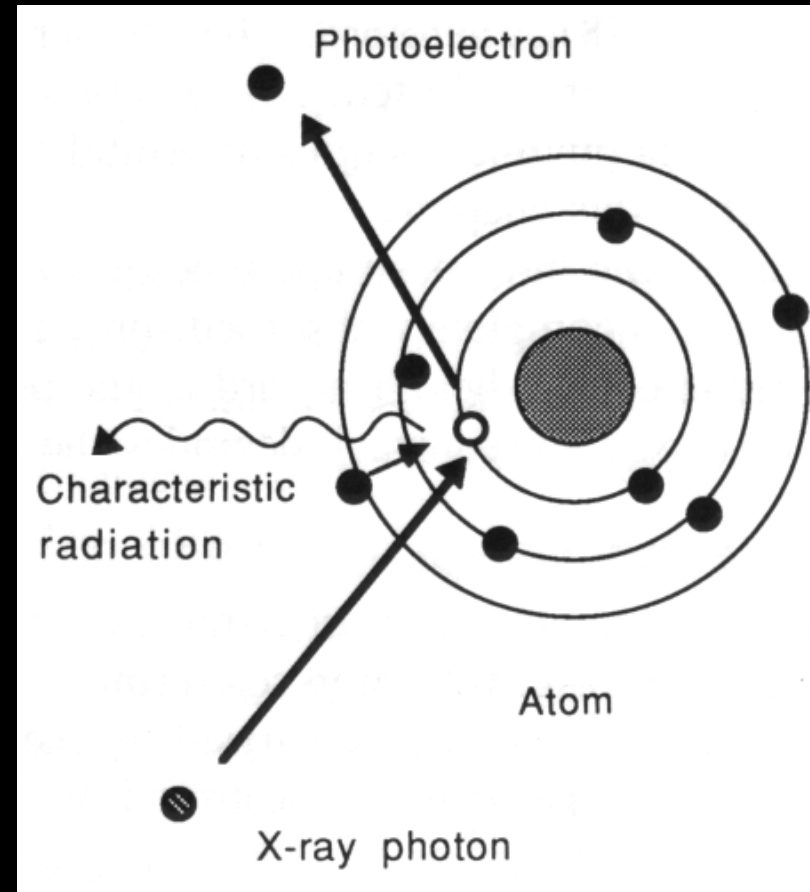
- Τα χαρακτηριστικά φωτόνια από αλληλεπιδράσεις φωτοηλεκτρικού στο σώμα έχουν ελάχιστη ενέργεια και απορροφώνται στο σώμα
- Τα φωτοηλεκτρόνια ως σωματίδια μικρή διαδρομή μέσα στο σώμα
- ΟΛΗ η ενέργεια του πρωτογενούς φωτονίου απορροφάται από το ανατομικό θέμα

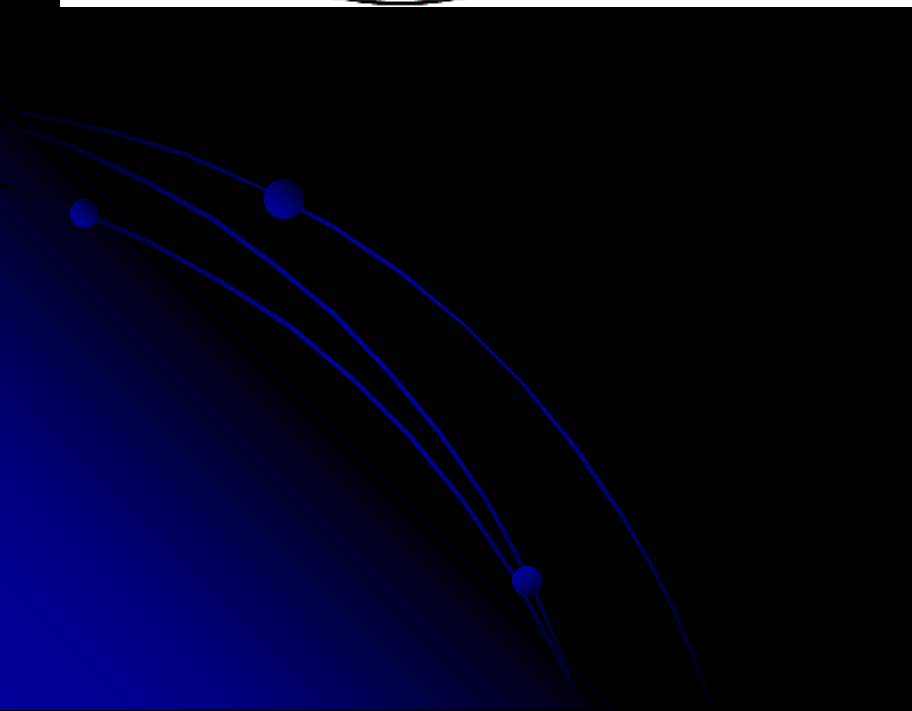
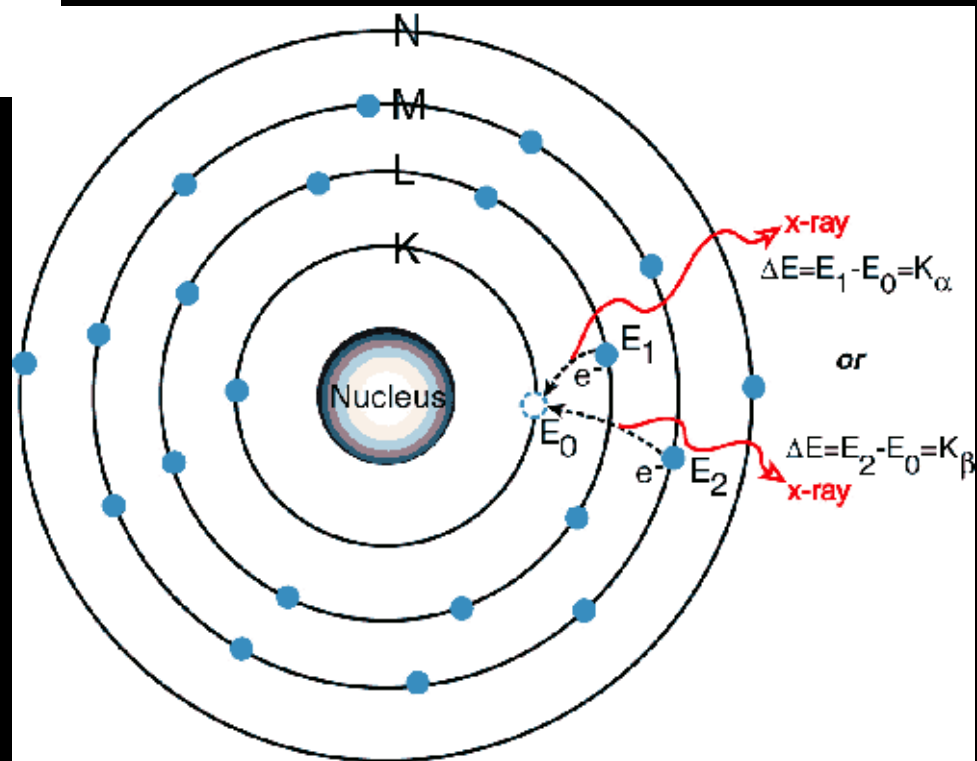
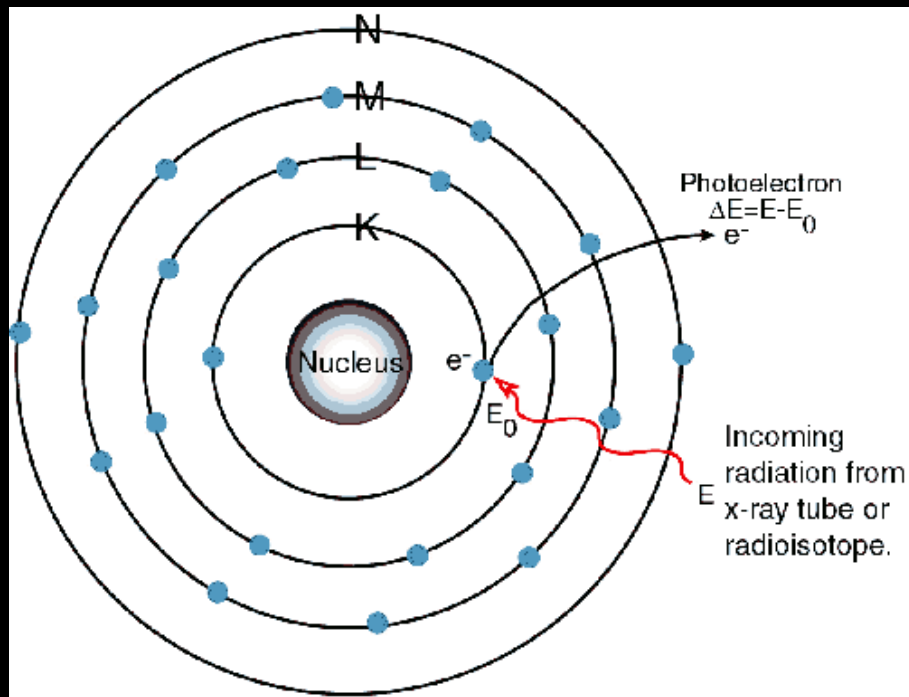
# Φωτοηλεκτρικό φαινόμενο

Iodine  
Energy levels  
K 33.2keV  
L 4.3keV  
M 0.6keV

## Παράδειγμα

- Φωτόνιο 40keV εισέρχεται στο άτομο
- Φωτοηλεκτρόνιο από τη στιβάδα K με ενέργεια  $(40 - 33.2) = 6.8\text{keV}$  εξέρχεται
- Ηλεκτρόνιο από τη M- στην K-τροχιά
- Χαρακτηριστική ακτινοβολία  $(33.2 - 0.6) = 31.6\text{KeV}$  απελευθερώνεται προς τυχαία κατεύθυνση.
- Το άτομο έχει τώρα θετικό φορτίο





# Φωτοηλεκτρικό φαινόμενο - συνθήκες

- Το προσπίπτον φωτόνιο πρέπει να έχει αρκετή ενέργεια για εκδιώξει το τροχιακό ηλεκτρόνιο, δηλαδή
- Η ενέργεια του φωτονίου να είναι μεγαλύτερη αλλά παρόμοια προς την ενέργεια δέσμησης
- Το ηλεκτρόνιο να έχει υψηλή ενέργεια αποδέσμησης (εσωτερικής στιβάδας, υψηλός ατομικός αριθμός).



S  
t  
o  
n  
e  
  
R  
o  
w  
s  
  
C  
a  
i  
r  
n  
s  
  
/  
  
H  
i  
g  
h  
l  
a  
n  
d



**Clach an Trushal  
Standing Stone**

**Cnoc Filibhir Bheag  
(Callanish III)**

**Isle of Lewis  
Outer Hebrides**



**Knocknarea  
Cairn Co. Sligo**

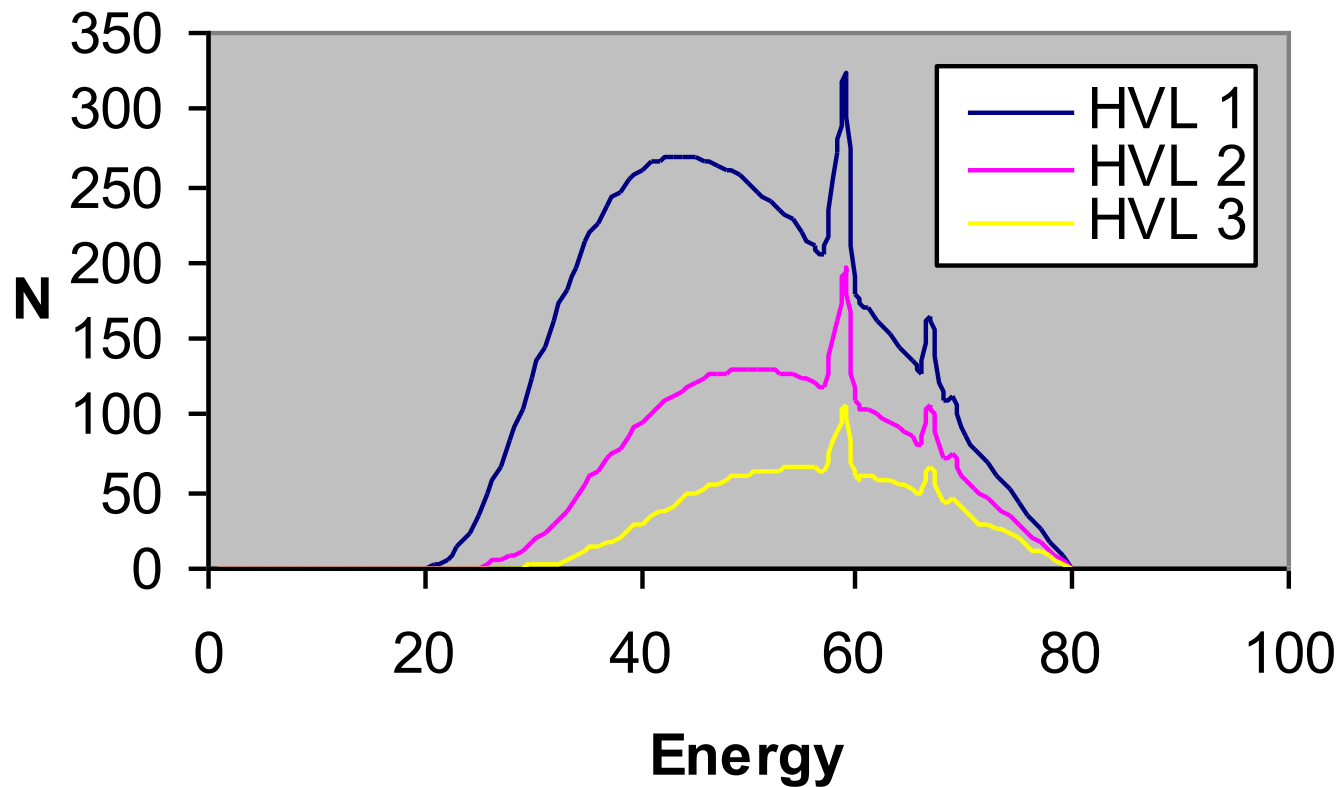


# Φωτοηλεκτρικό φαινόμενο

Εφαρμογές στη διαγνωστική ακτινολογία

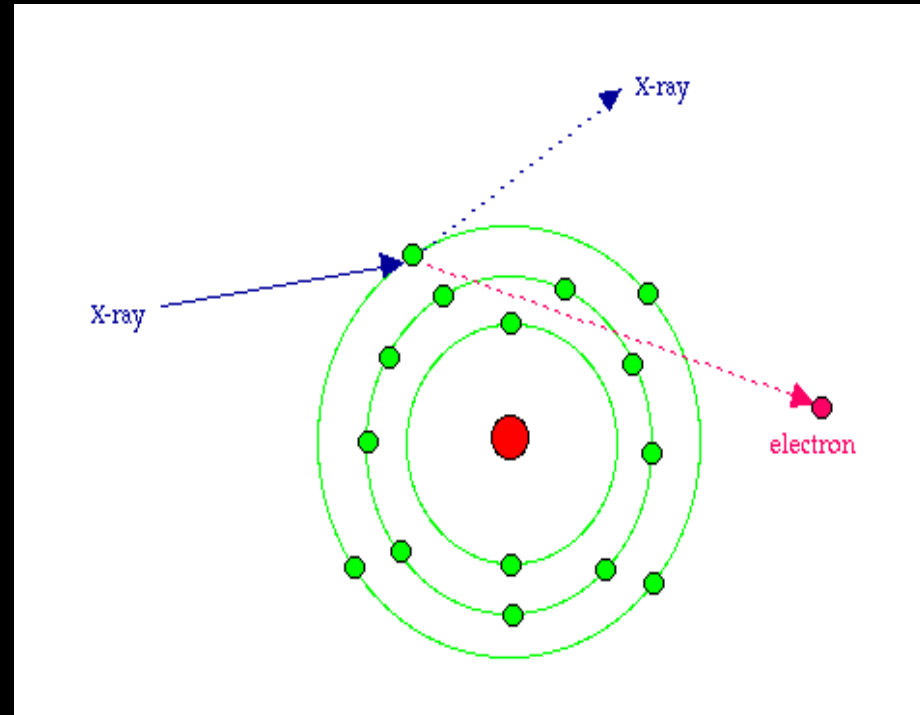
- Το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο συνεπάγεται πλήρη απορρόφηση της ενέργειας των φωτονίων μέσα στους ιστούς
- Αυτό σημαίνει:
  - Υψηλή σκιαγραφική αντίθεση (στην ακτινογραφία)
  - Χαμηλή ακτινοπροστασία (στον ασθενή)
- Ακτινοπροστασία τεχνολόγου / περιβάλλοντος με τη θωράκιση
  - Μόλυβδος ( $Z=82$ )
  - Σχεδόν αποκλειστικά φωτοηλεκτρικό φαινόμενο στις διαγνωστικές ενέργειες

# 80kVp spectrum transmitted through HVLs



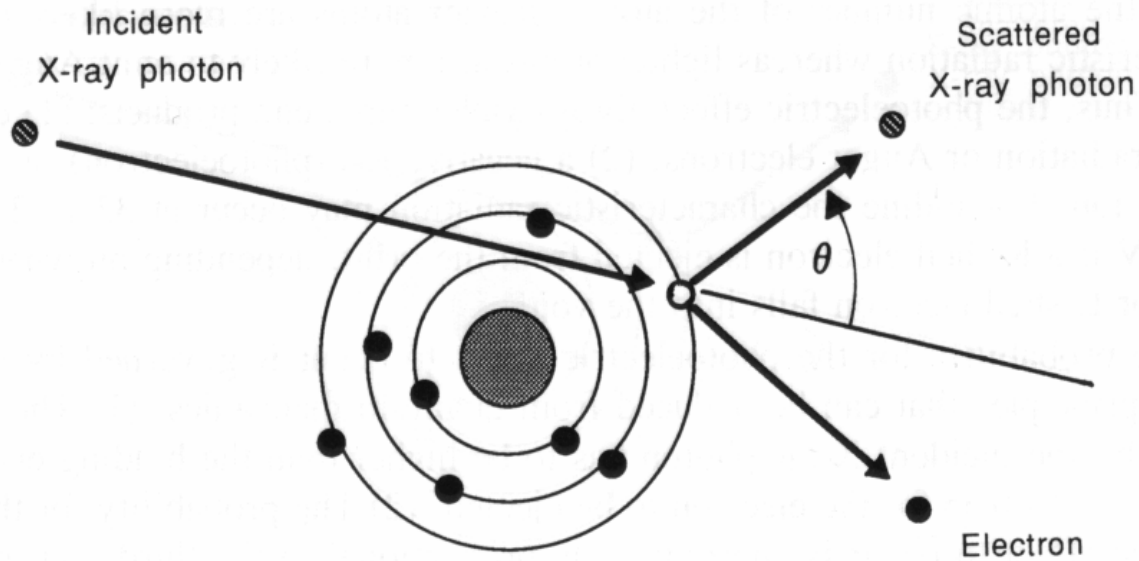
# Φαινόμενο σκέδασης

- Προκύπτει από την αλληλεπίδραση φωτονίου με περιφερικό ηλεκτρόνιο
- Προκύπτει πάντοτε φωτόνιο χαμηλότερης ενέργειας και διαφορετικής πορείας από το αρχικό
- Η αντίδραση παράγει επιπλέον ζεύγος ιόντων (-) ηλεκτρόνιο και (+) άτομο



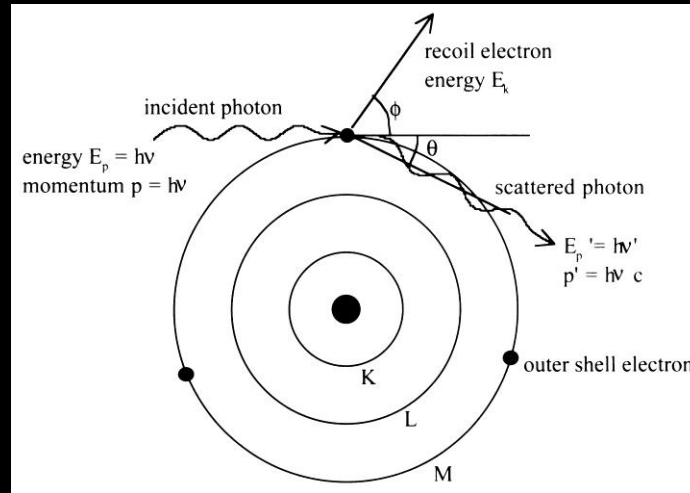
# Φαινόμενο σκέδασης

$$E' = \frac{E}{1 + \left(\frac{E}{m_e c^2}\right)(1 - \cos \theta)}$$

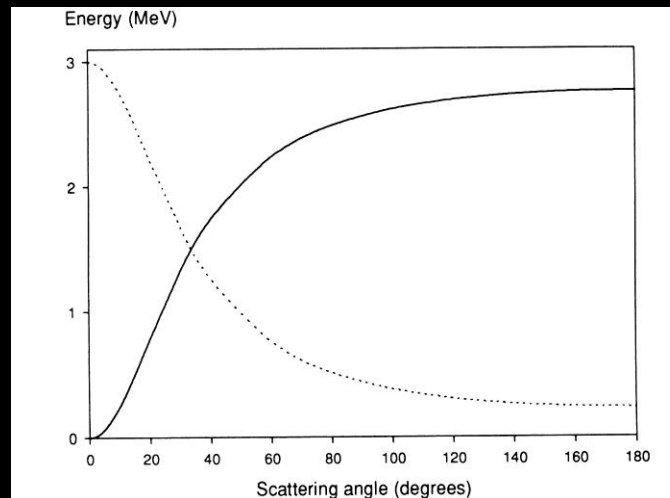


# ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΦΩΤΟΝΙΩΝ

## Σκέδαση Compton



$$E_p' = E_p - E_k$$

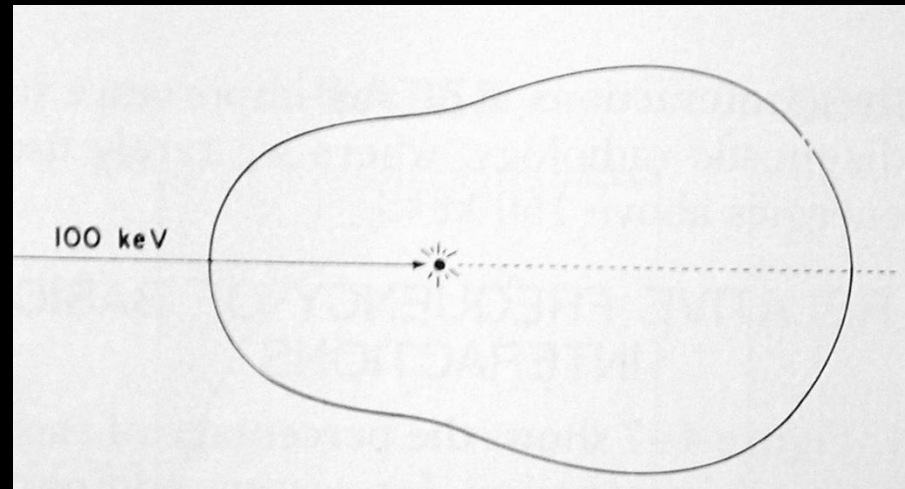
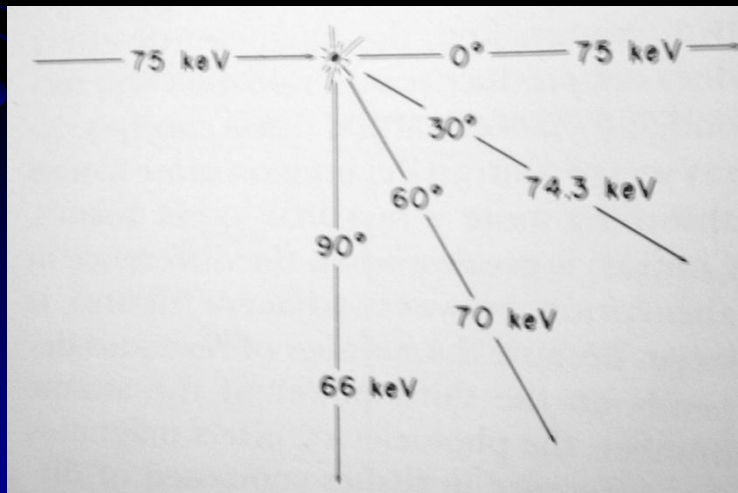


- Μεγάλη γωνία σκέδασης, λιγότερη ενέργεια στο φωτόνιο
- Στις υψηλές ενέργειες κατακρατά περισσότερη ενέργεια το  $e$ .

Σκέδαση Compton είναι ανάλογη της  $\rho$  του απορροφητικού υλικού και του αριθμού των  $e$  ανά μονάδα μάζας.

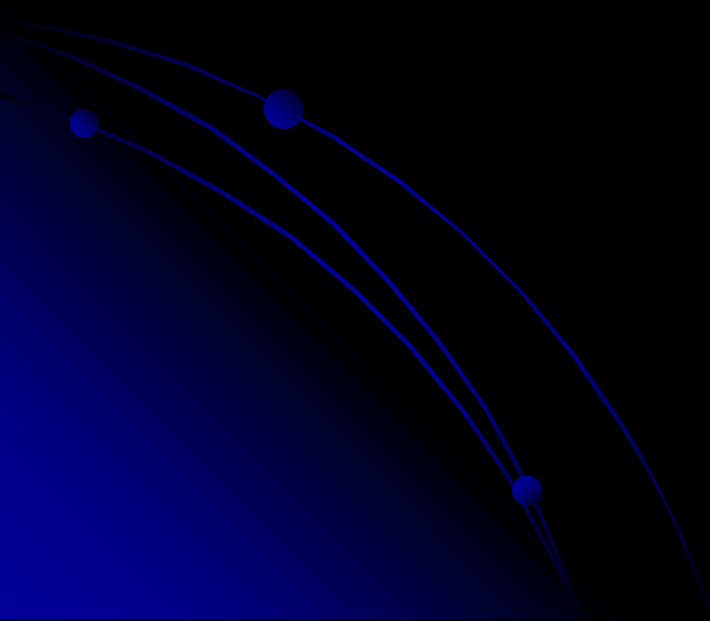
# Φαινόμενο σκέδασης

- Η πιθανότητα να συμβεί φαινόμενο σκέδασης εξαρτάται από τον αριθμό των ηλεκτρονίων του ιστού δηλ. την πυκνότητα του ιστού
- Επίσης από την ενέργεια των φωτονίων



# Φαινόμενο σκέδασης

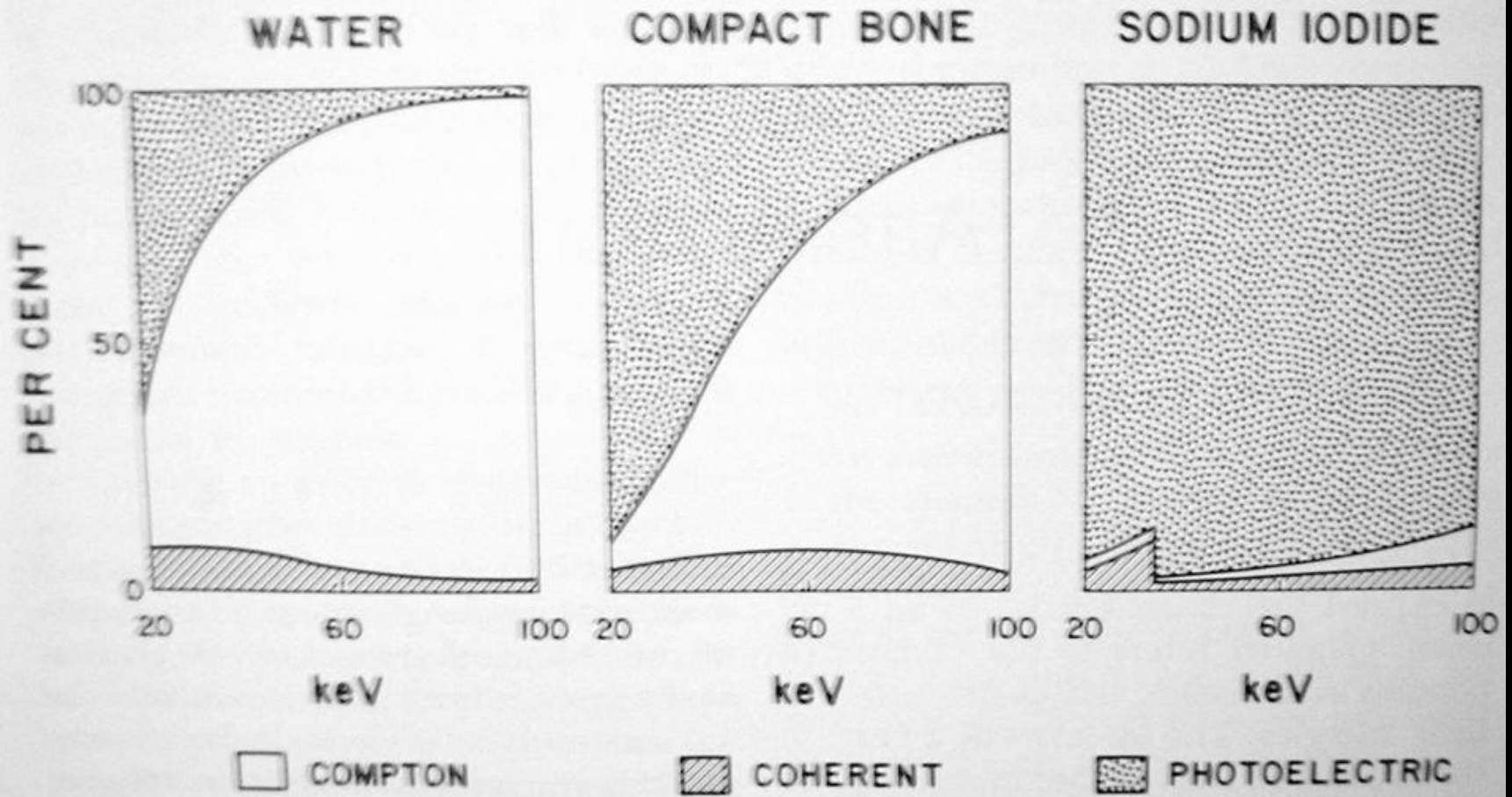
- Ακτινοπροστασία
- Ομίχλωση



# Φαινόμενο σκέδασης- Πιθανότητες

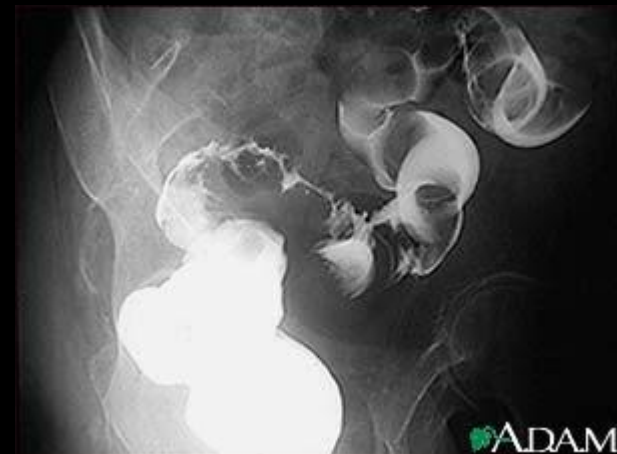
- Αριθμό  $e^-$  = Πυκνότητα και Αριθμό  $e^-$  ανά γραμμάριο.
- Όλα τα στοιχεία έχουν ίδιο Αριθμό  $e^-$  ανά γραμμάριο, ανεξάρτητα από τον  $Z$ .
- Ανεξάρτητο από τον  $Z$ ,
- Ενέργεια φωτονίων και Πυκνότητα.
- Φωτόνια Υψηλής Ενέργειας έχουν περισσότερες Πιθανότητες να περάσουν.

# Σχετική συχνότητα των βασικών αλληλεπιδράσεων



# Εφαρμογή του φωτοηλεκτρικού φαινομένου

- Βάριο ( $Z=56$ )
- Ιώδιο ( $Z=53$ )



# ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΦΩΤΟΝΙΩΝ

## Δίδυμος γένεση

Η δίδυμος γένεση συμβαίνει κυρίως στο πεδίο των πυρήνων του ατόμου του υλικού εξασθενήσεως. Το φωτόνιο εξαφανίζεται και εμφανίζονται ένα ηλεκτρόνιο και ένα ποζιτρόνιο, δηλαδή συμβαίνει **υλοποίηση** της ενέργειας.

Προφανώς για να συμβεί το φαινόμενο, η ενέργεια του φωτονίου θα πρέπει να είναι τουλάχιστον ίση ή μεγαλύτερη του 1.02 MeV δηλαδή του διπλασίου της μάζας ηρεμίας του ηλεκτρονίου (0.511 MeV).

Ένα φωτόνιο με ενέργεια  $> 1.02$  MeV μπορεί τελείως να εξαφανιστεί με ταυτόχρονη παραγωγή ενός ηλεκτρονίου και ενός ποζιτρονίου (*ηλεκτρόνιο θετικού φορτίου*)  
Η ισοδύναμη ενέργεια της μάζας ενός ηλεκτρονίου είναι 0.51MeV

$$E_{\text{photon}} = h\nu = e^- + e^+ + 2E_{\text{kin}}$$

# ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΦΩΤΟΝΙΩΝ

## Δίδυμος γένεση

Για ενέργειες φωτονίων λίγων MeV ο μαζικός συντελεστής του φαινομένου είναι ανάλογος του  $\ln(h\nu)$  και του  $Z^2$  για υλικά με μικρό ατομικό αριθμό ενώ για υλικά με μεγάλο ατομικό αριθμό (επειδή η επίδραση του πεδίου του πυρήνα ελαττώνεται σημαντικά από τα πεδία των περιφερικών ηλεκτρονίων) ο μαζικός συντελεστής είναι ανάλογος σε δύναμη μικρότερη του 2.

$$\sigma_{pair} \propto Z^2 \log E_p$$

$$\left(\frac{\mu}{\rho}\right)_{pair} \propto \frac{Z^2}{A} \log E_p$$

Μετά την παραγωγή τους τα δύο σωματίδια χάνουν την κινητική τους ενέργεια με ιοντισμούς μέσα στην ύλη. Το ηλεκτρόνιο τελικά θα καλύψει κάποια κενή θέση στον ηλεκτρονικό φλοιό κάποιου ατόμου.

# ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΦΩΤΟΝΙΩΝ

## Δίδυμος γένεση

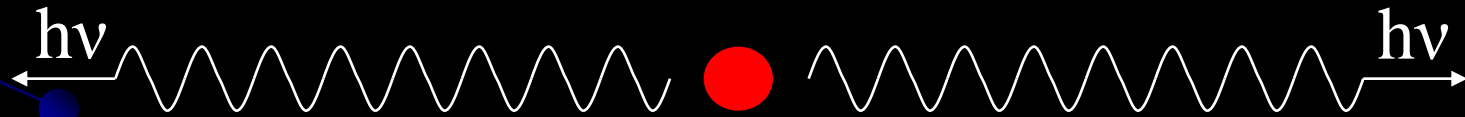
Το ποζιτρόνιο (αντιύλη) σχηματίζει με κάποιο ηλεκτρόνιο ένα σύστημα, το positronium (σαν άτομο υδρογόνου). Το σύστημα υφίσταται για χρονικό διάστημα  $<10^{-7}$  sec. Τότε τα δύο σωματίδια ενώνονται, παύουν να υφίστανται και στην θέση τους δημιουργούνται δύο φωτόνια το καθένα με ενέργεια ίση με 0.511 MeV και με διευθύνσεις διαφέρουσες κατά  $180^\circ$ .

Ποζιτρόνιο



Ηλεκτρόνιο

$h\nu$   
511 keV



511 keV

Δύο φωτόνια ταξιδεύουν σε ακριβώς αντίθετες κατευθύνσεις

$$E = mc^2$$

# ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΦΩΤΟΝΙΩΝ

$$\Phi = \Phi_0 e^{-\mu z}$$

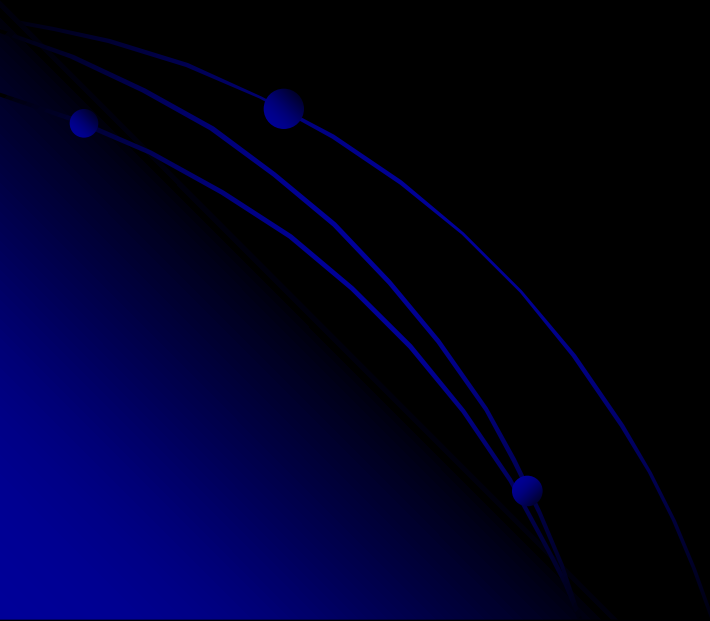
$$\frac{\mu}{\rho} = \sum_i f_i \left( \frac{\mu}{\rho} \right)_i$$

$$\frac{\mu}{\rho} = \sum_i f_i \left[ \left( \frac{\mu}{\rho} \right)_{i,pe} + \left( \frac{\mu}{\rho} \right)_{i,incoh} + \left( \frac{\mu}{\rho} \right)_{i,pair} \right] \Rightarrow$$

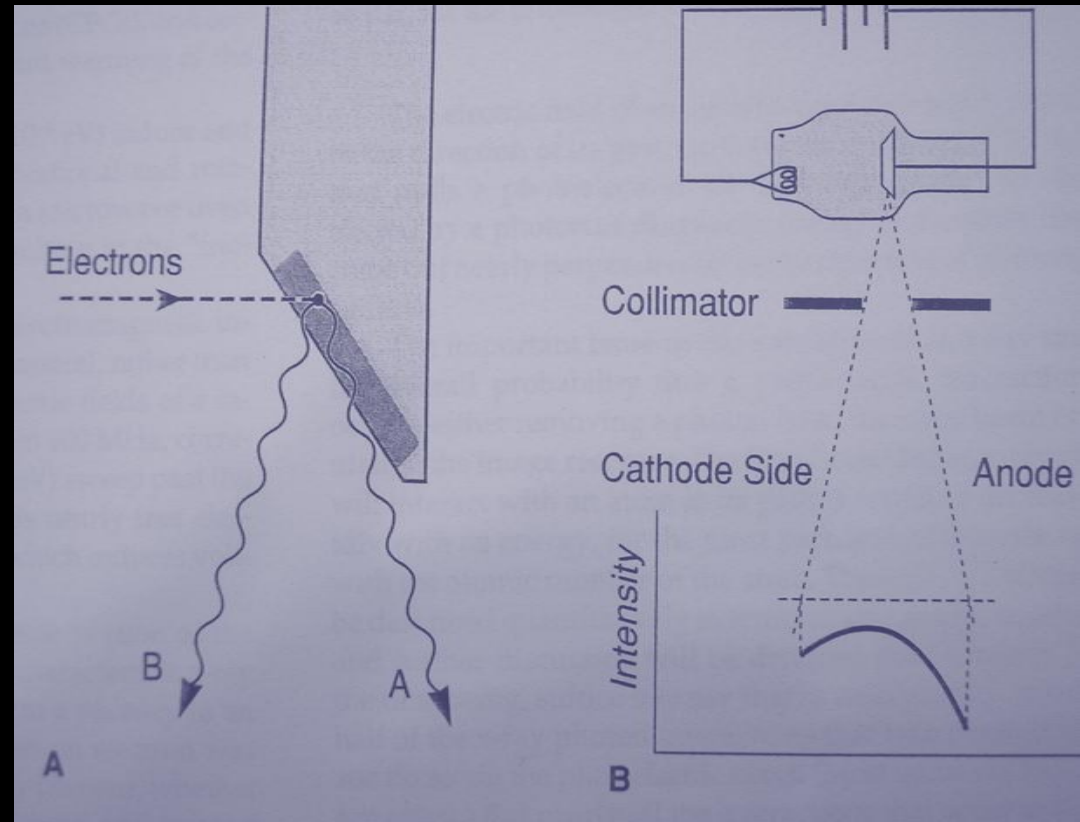
$$\frac{\mu}{\rho} = N_A \sum_i f_i \frac{1}{A} \left[ \sigma_{i,pe} + \sigma_{i,incoh} + \sigma_{i,pair} \right]$$

- Φαινόμενο πτέρνας

- Ένταση της ακτινολογικής δέσμης  
ανομοιόμορφη.



- Η ένταση της ακτινολογικής δέσμης προς την μεριά της καθόδου είναι υψηλότερη από της ανόδου
- Αλληλεπιδράσεις των φωτονίων μέσα στο υλικό της ανόδου
- Χρησιμοποιείται στη μαστογραφία &
- στην απεικόνιση διαβαθμιζόμενου πάχους δομών, όπως ο μηρός.



- Φαινόμενο πτέρνας

- Ένταση της ακτινολογικής δέσμης ανομοιόμορφη.

1. Παχύτερο τμήμα στην άνοδο.
2. Λιγότερο έντονο σε μεγάλες εστιακές αποστάσεις.
3. Λιγότερο έντονο σε μικρά φιλμ
4. Σκλήρυνση δέσμης προς την άνοδο.

Δευτερογενής: Είναι αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης των φωτονίων με την ύλη.

- Ακτινοβολία διαρροής, κατευθύνεται προς το κέλυφος της λυχνίας και την διαπερνά.
- Σκεδαζόμενη Ακτινοβολία, είναι αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης των φωτονίων με την ύλη και παράγεται από τις σκεδάσεις (σύγχρονος και Compton).

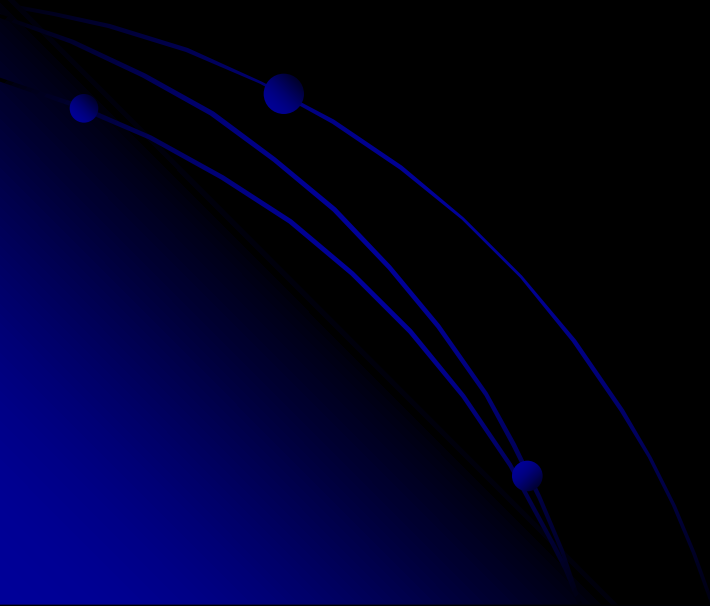
# Ποσότητα Ακτινοβολίας

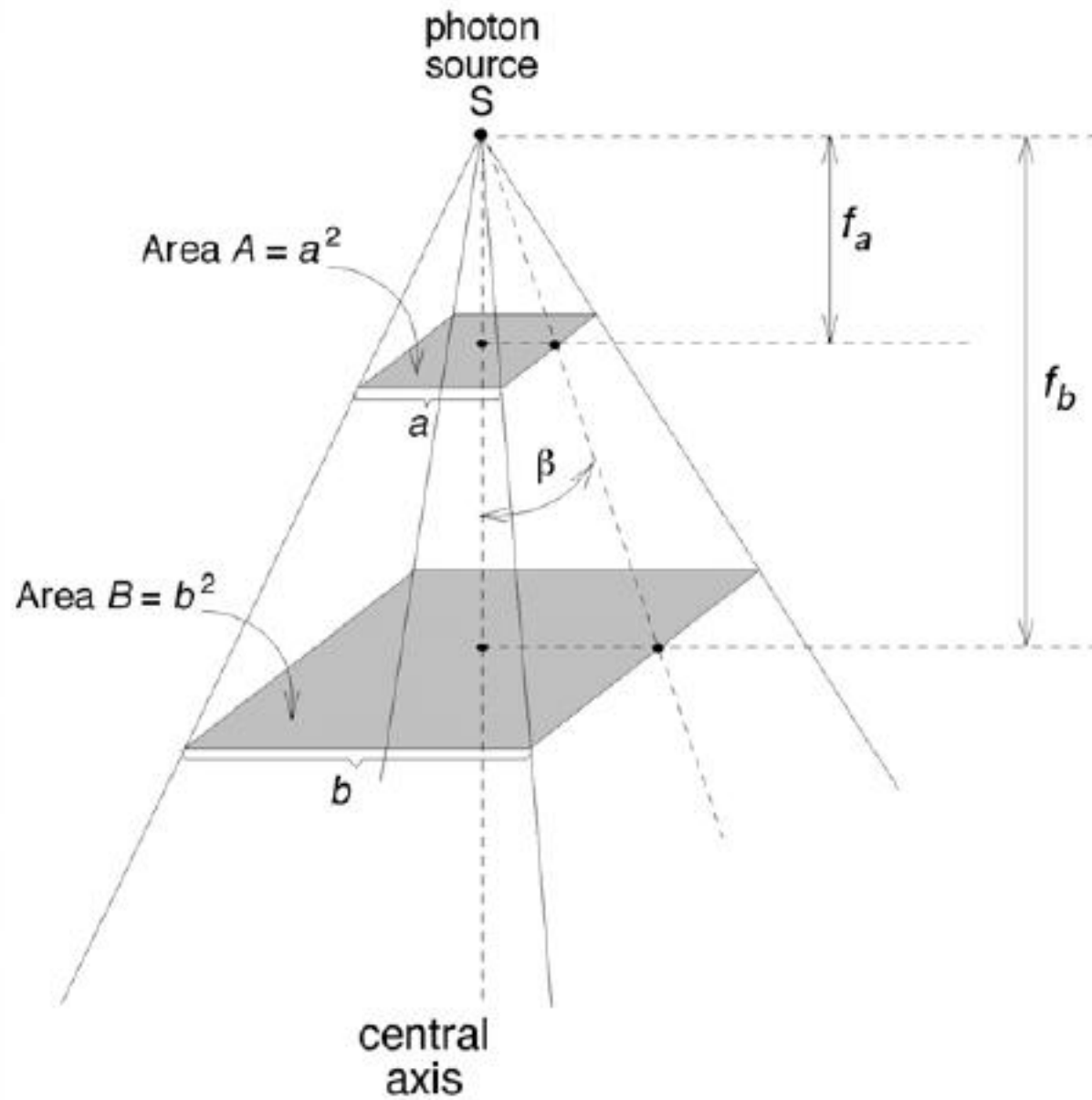
- Αριθμός φωτονίων

Εξαρτάται

$mAs = mA \times sec$ , Απόσταση  $I_1/I_1 = d_2^2/d_1^2$ ,

KV έμμεσα, Φίλτρα (Διήθηση).



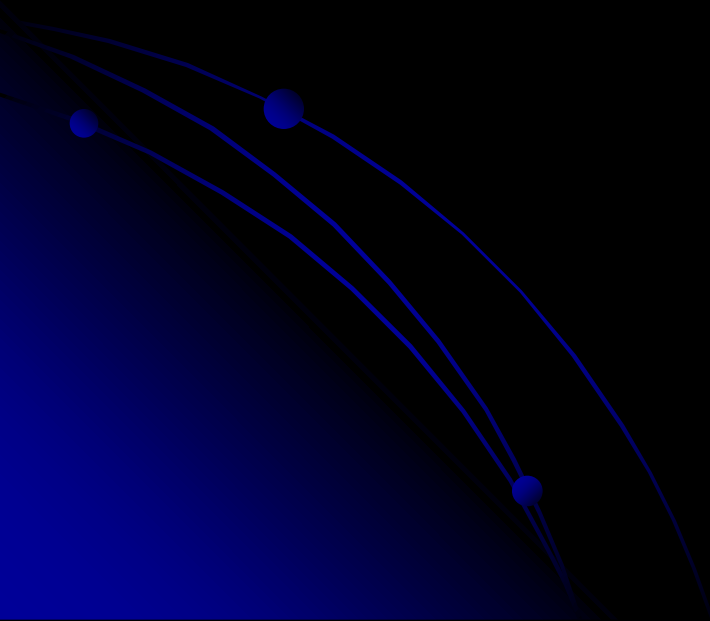


# ΑΡΧΕΣ ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗΣ

## Γραμμικός και μαζικός συντελεστής εξασθένησης

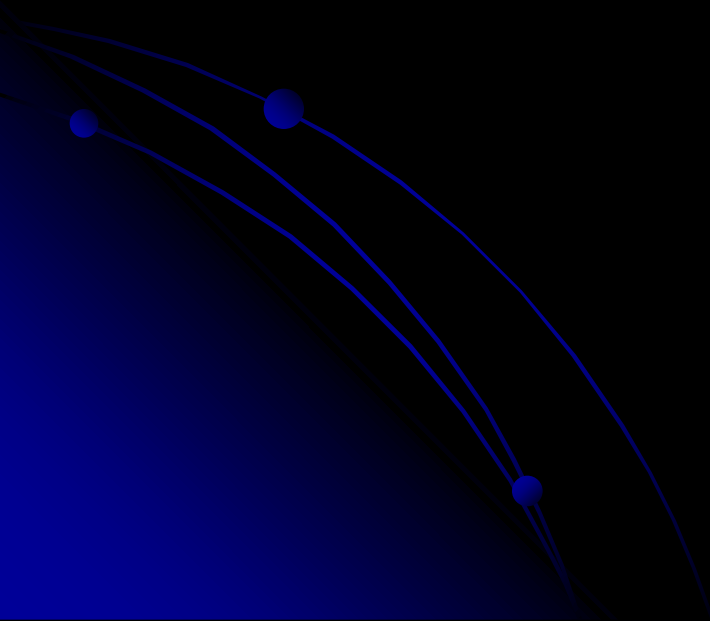
- Τα φωτόνια  $\gamma$  και  $X$  κατά την είσοδό τους στους ιστούς, χάνουν ενέργεια λόγω:
  - αλληλεπίδρασης με τα σωματίδια των ιστών
  - Γεωμετρική εξασθένηση  $I=I_0(X_0^2/X^2)$
- Αποτέλεσμα: εξασθένηση της δέσμης φωτονίων

$$I = I_0 e^{-\mu x}$$



# Ποιότητα δέσμης

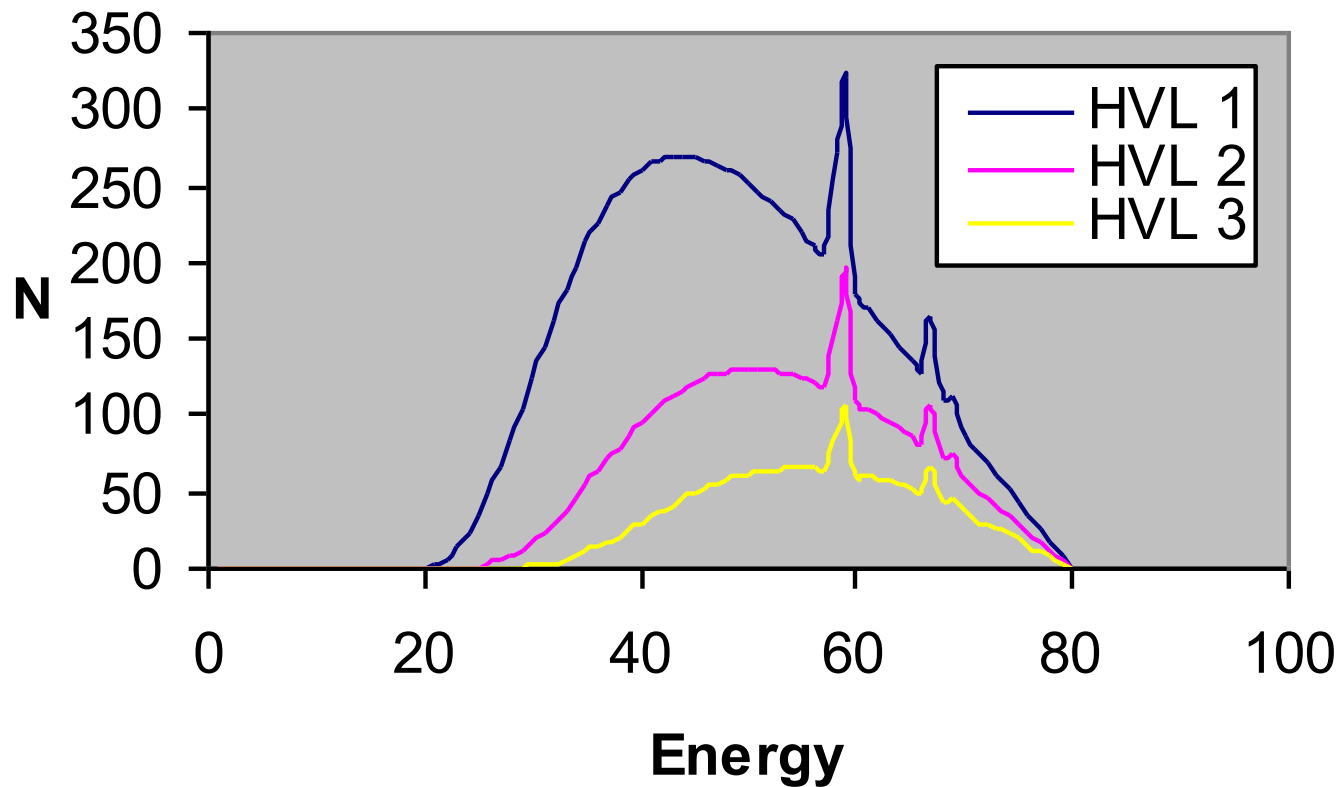
- ΚV Διαφορά Δυναμικού
- Φιλτράρισμα



# Πάχος Υποδιπλασιασμού

- Χαρακτηρίζει Διεισδυτικότητα
- Πάχος υλικού που εξασθενεί η ένταση στο μισό
- Μεγάλο πάχος μεγάλη Διεισδυτικότητα
- Εξασθενεί περισσότερο τα φωτόνια χαμηλής ενέργειας
- Περισσότερο πάχος για την ίδια δέσμη

# 80kVp spectrum transmitted through HVLs



# HVLs for 80 kVp beam

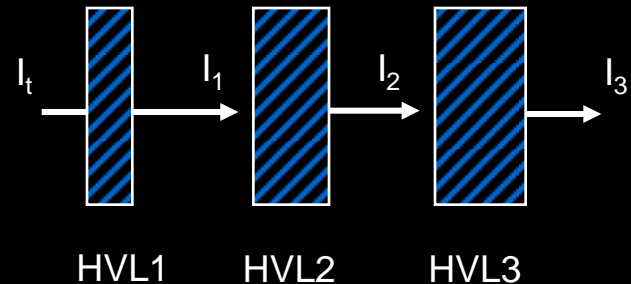
- The  $I_{tot}$  was calculated using the equation

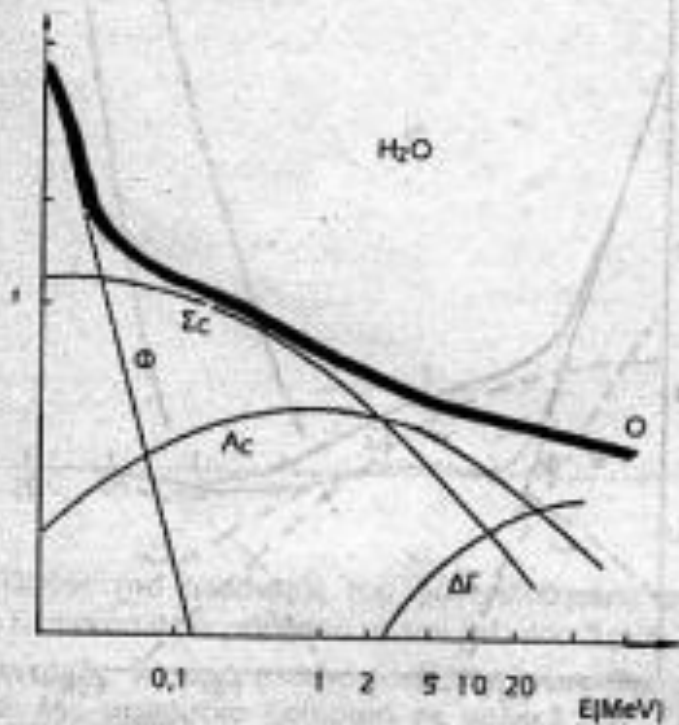
$$I_{tot} = \sum I_i * e^{-\mu_i x}$$

(where  $i=1-80$  and  $x=0.25\text{cm}$ )

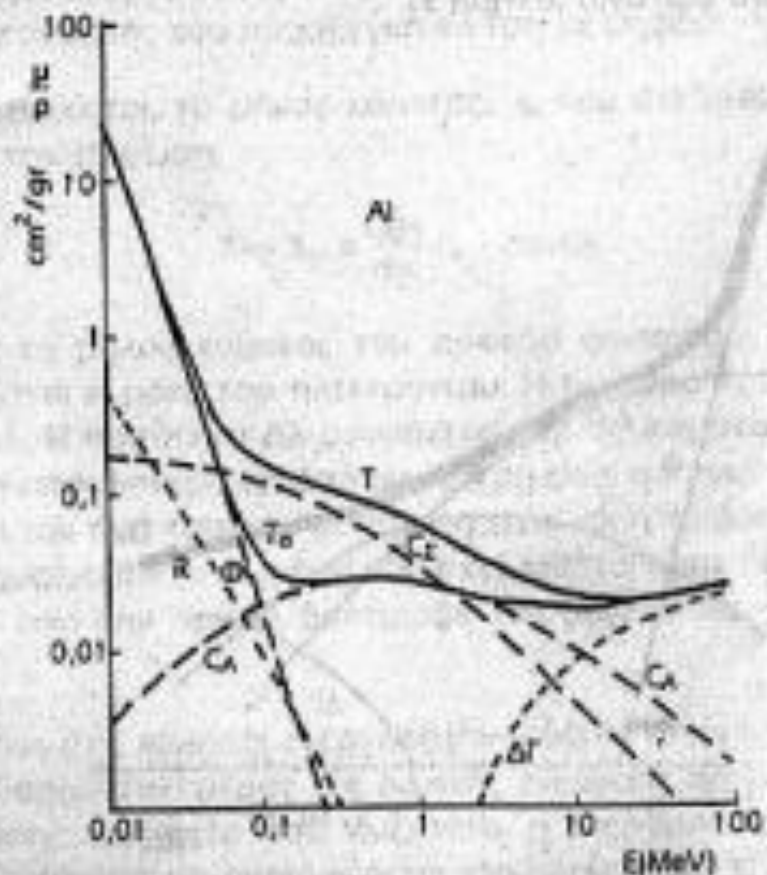
- Then the 1<sup>st</sup> HVL was determined interactively by changing the thickness, so that the initial value was reduced by half.
- The same procedure was used and for the 2<sup>nd</sup> and 3<sup>rd</sup> HVL using as input the values shown in the diagram

	A	B	D	T	U	Z	AB
1	E (keV)	80 kV	Al μ	lx	HVL1	HVL2	HVL3
2	1	0	3200,04	0	0,51	0,66	0,757
3	2	0	6109,56	0	57966	228993	114496,5
4	3	0	2127,897	0	11418,0266		19846,2
5	4	615	973,269	0			
6	5	954	522,18	0			
7	6	1323	311,283	3,9298E-291			
8	7	1732	200,0106	9,5897E-186			
9	8	1894	125,064	5,443E-124			

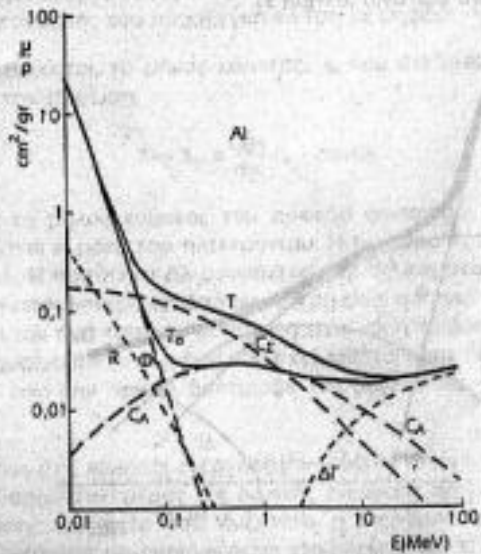




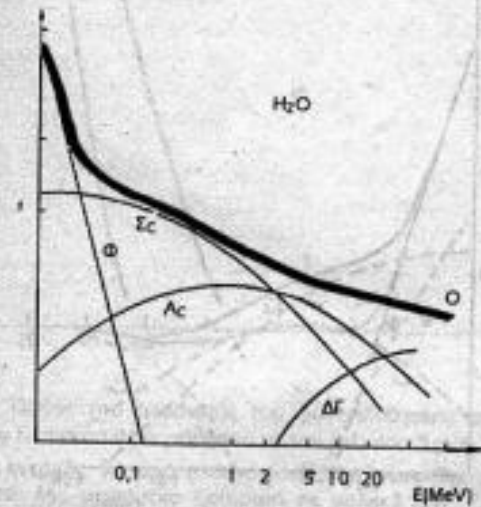
Σχήμα 3α. Μάζικος συντελεστής εξασθένησης  $\mu/\rho$  στο νερό  
 O: ολικός συντελεστής,  $\Phi$ : για το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο,  $\Sigma_c$ ,  $A_c$ : για τη σκέδαση και την απορρόφηση Compton,  $\Delta\Gamma$ : για τη δίδυμη γένεση. Λογαριθμικές κλίμακες



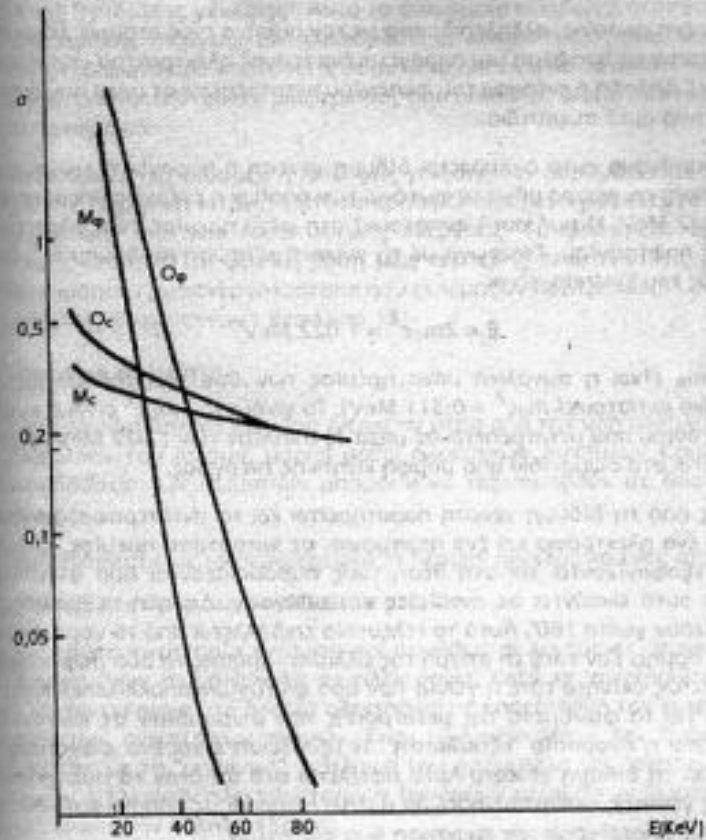
Σχήμα 3γ. Μασικός συντελεστής εξασθένησης ακτινοβολίας X και γ στο Αλουμίνιο  
 T: ολικός, T<sub>a</sub>: ολικός απορρόφησης, Φ: φωτοηλεκτρικού φαινομένου, C<sub>s</sub>: σκέδα-  
 σης Compton, C<sub>a</sub>: απορρόφησης Compton, R: φαινομένου Rayleigh, ΔΓ: δίδυμη  
 γένεσης



Σχήμα 3γ. Μάζικος συντελεστής εξασθένησης ακτινοβολίας Χ και γ στο Αλουμίνιο. Τ: ολικός, Τ<sub>α</sub>: ολικός απορρόφησης, Φ: φωτοηλεκτρικό φαινόμενο, C<sub>ε</sub>: σκέδαση Compton, C<sub>α</sub>: απορρόφησης Compton, R: φαινομένου Rayleigh, ΔΓ: δίδυμη γένεσης



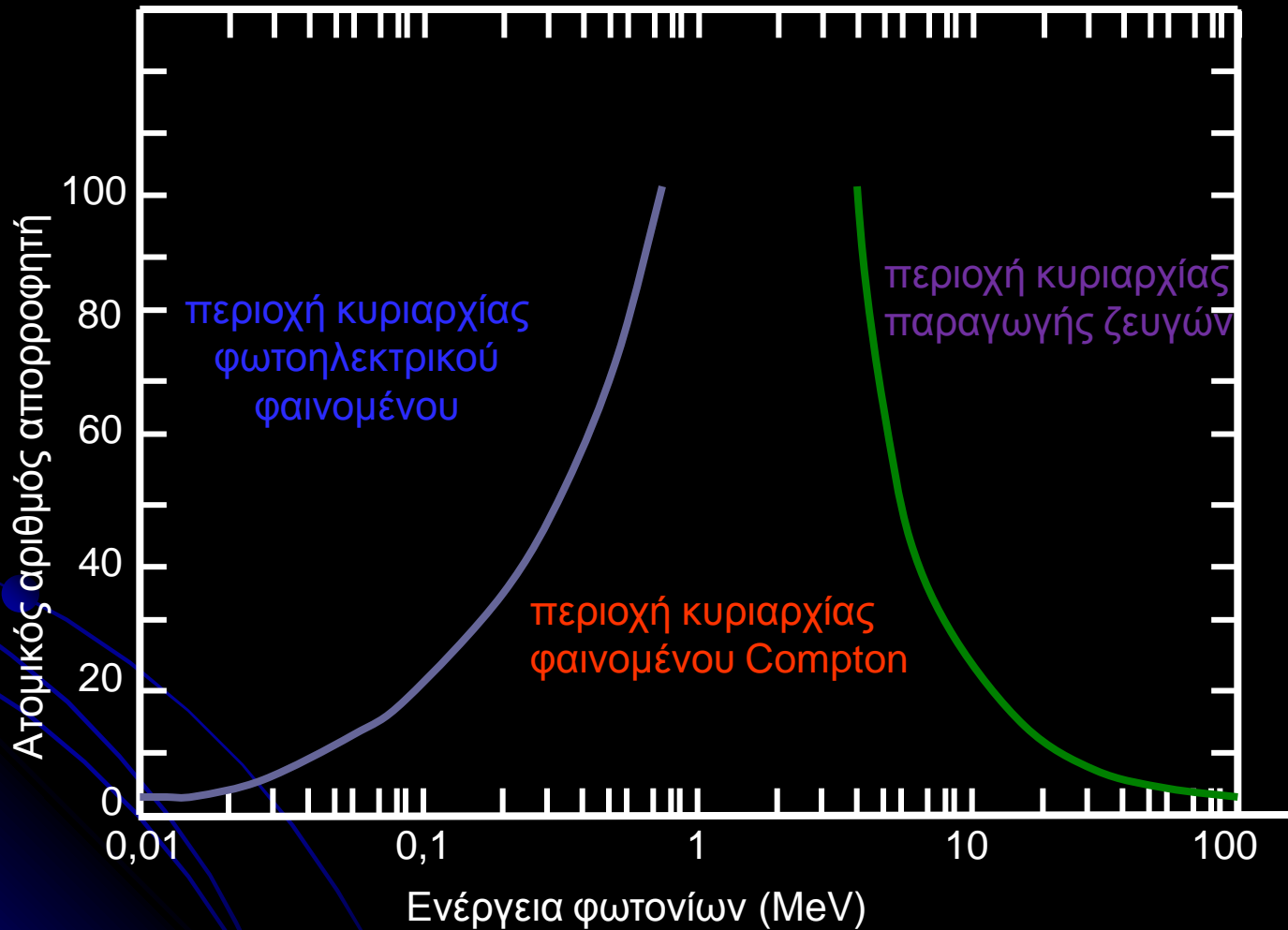
Σχήμα 3α. Μάζικος συντελεστής εξασθένησης μ/ρ στο νερό. Ο: ολικός συντελεστής, Φ: για το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο, Σ<sub>ε</sub>, A<sub>ε</sub>: για τη σκέδαση και την απορρόφηση Compton, ΔΓ: για τη δίδυμη γένεση. Λογαριθμικές κλίμακες



Σχήμα 35. Πιθανότητα εμφάνισης του φωτοηλεκτρικού φαινομένου και του φαινομένου Compton σε συνάρτηση με την ενέργεια (keV)

$\sigma$ : σχετική ενεργός διατομή (πιθανότητα),  $M_\phi$ : φωτοηλεκτρικό φαινόμενο σε μαλακό ιστό,  $M_\sigma$ : φαινόμενα Compton σε μαλακό ιστό,  $O_\phi$ : φωτοηλεκτρικό φαινόμενο σε ιστό,  $O_\sigma$ : φαινόμενα Compton σε οστό,  $E$ : ενέργεια

# ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΦΩΤΟΝΙΩΝ



- Υλικό ανόδου

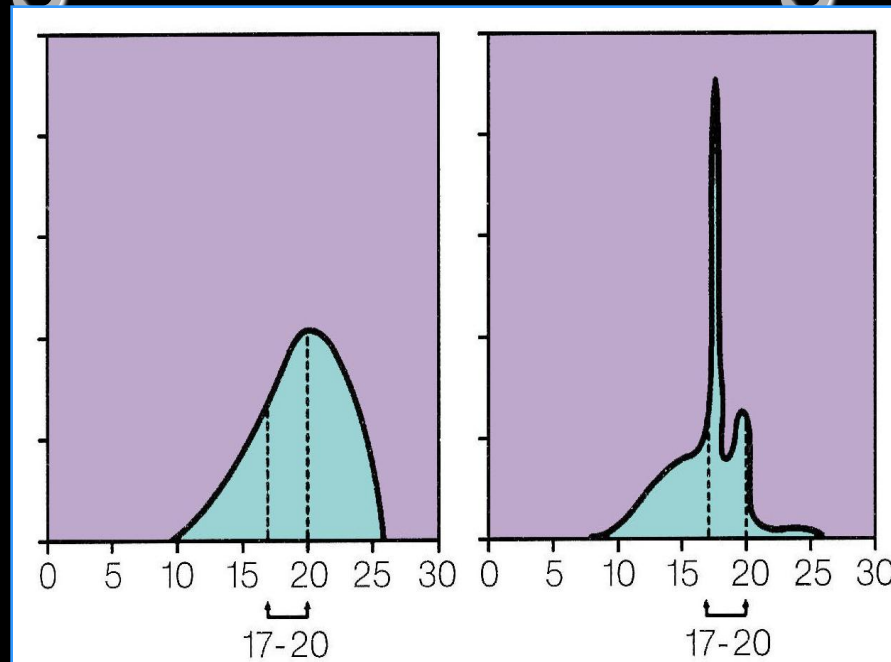
## Βολφράμιο

- Όχι εξάχνωση
- Υψηλό Z
- Περισσότερα φωτόνια από πέδηση
- Καθορίζει την ποιότητα της Χαρακτηριστικής Ακτινοβολίας

## Μολυβδαίνιο

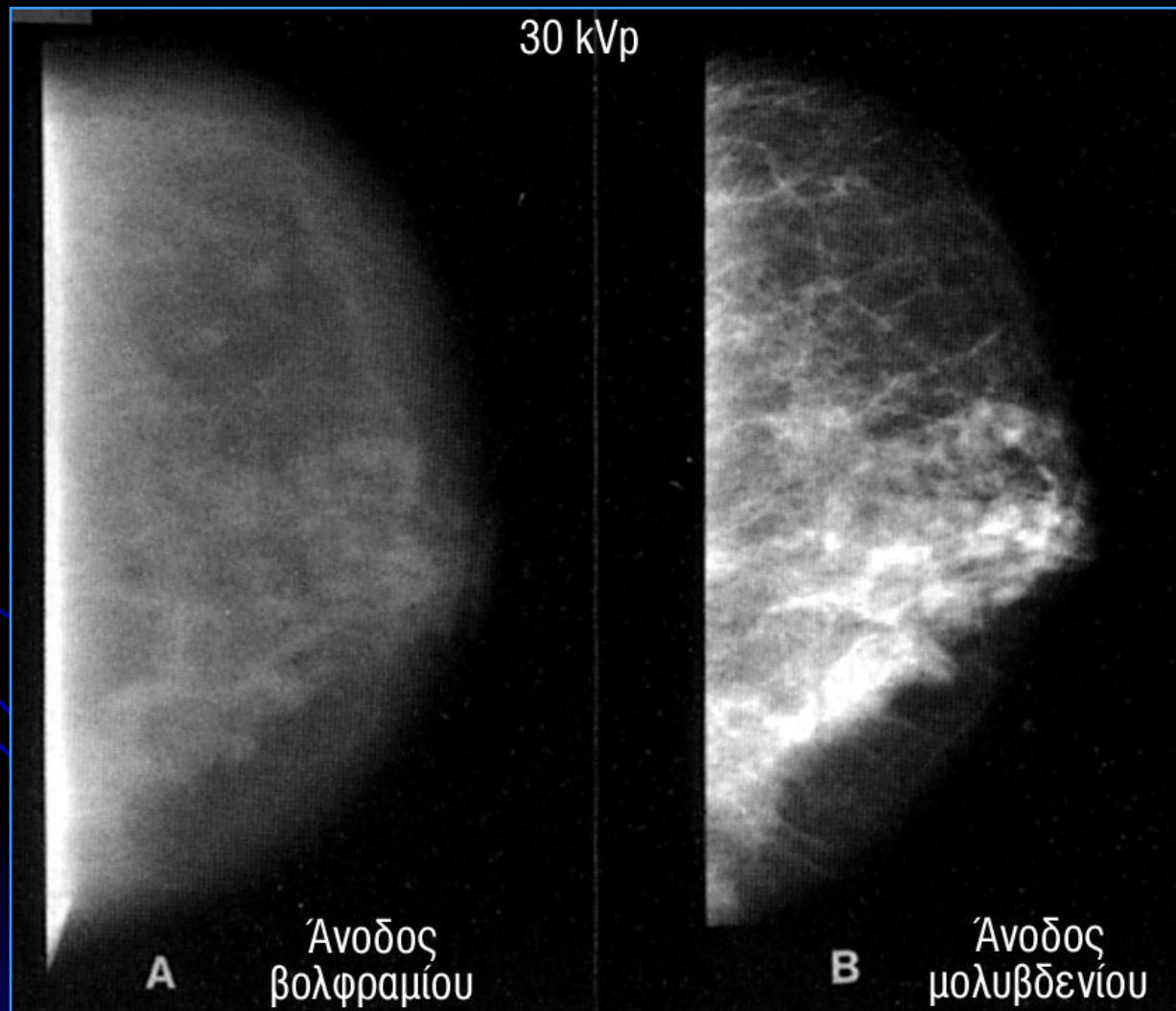
Μικρός Z, σε συνδυασμό με χαμηλό KVp, μεγάλο ποσοστό Χαρακτηριστικής Ακτινοβολίας

# K-edges in mammography



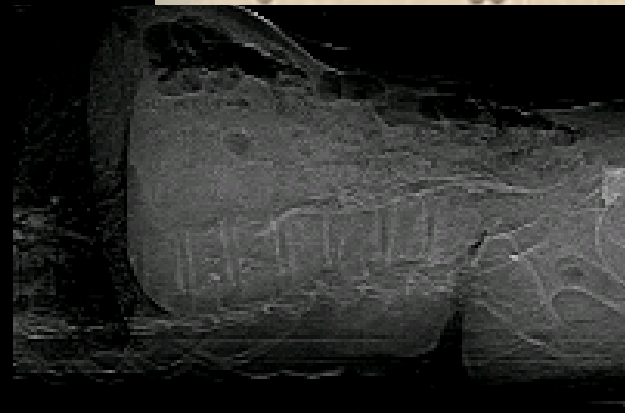
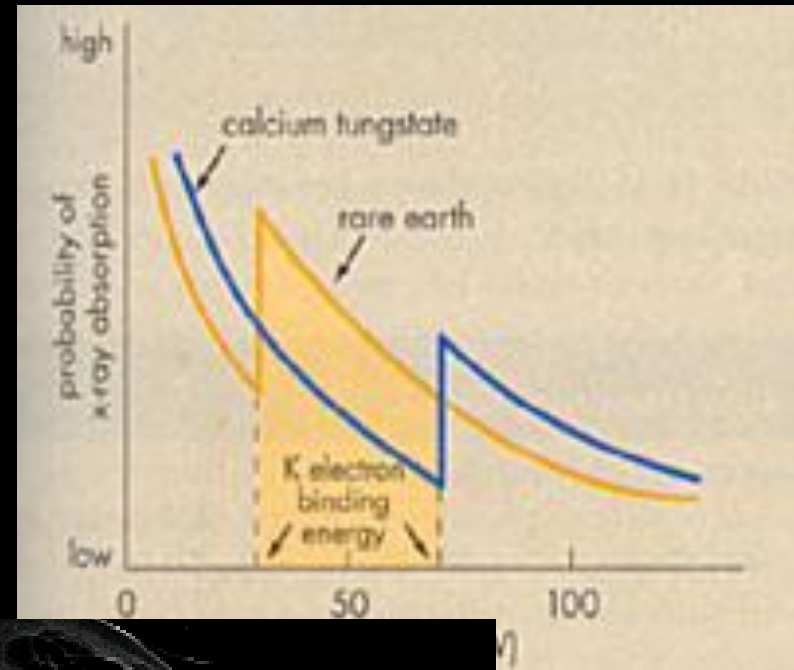
- High number of photons of energy at 17-20 keV (k-edge at 17.9 keV) that produces images with high subject contrast
- Reduced number of unneeded photons with energies >20 keV
- Unfortunately decreased total number of photons > increased dose!

# Tungsten vs molybdenum



# K-edges use in intensifying screens

- The most used X-rays in diagnostic radiology are in the range of 35-70keV where the k-shell absorption edge of rare earth screens is more constant and higher than that of calcium tungstate



# Compound filters

- Compound filters are composed from two or more materials that complement one another in their absorbing abilities
- These filters absorb the characteristic k-edge photons created by the previous layer
- The material with the highest  $Z$  is placed towards the tube

# K-edges in contrast media



- Barium and iodine have ideal k-shell binding energies (32keV, 34 keV respectively)
- These binding energies are approximately the same as the mean energy of most diagnostic x-ray beams, so attenuation is more intense than it would be for a higher atomic number element such as lead

# K-edge absorption in digital imaging

- By taking two images around the k-edge of iodine (33 keV) an energy subtraction image is produced due to the abrupt and large increase in absorption

