

Φυσική της Ακτινοδιαγνωστικής

Γ. Παναγιωτάκης
Ε. Κωσταρίδου

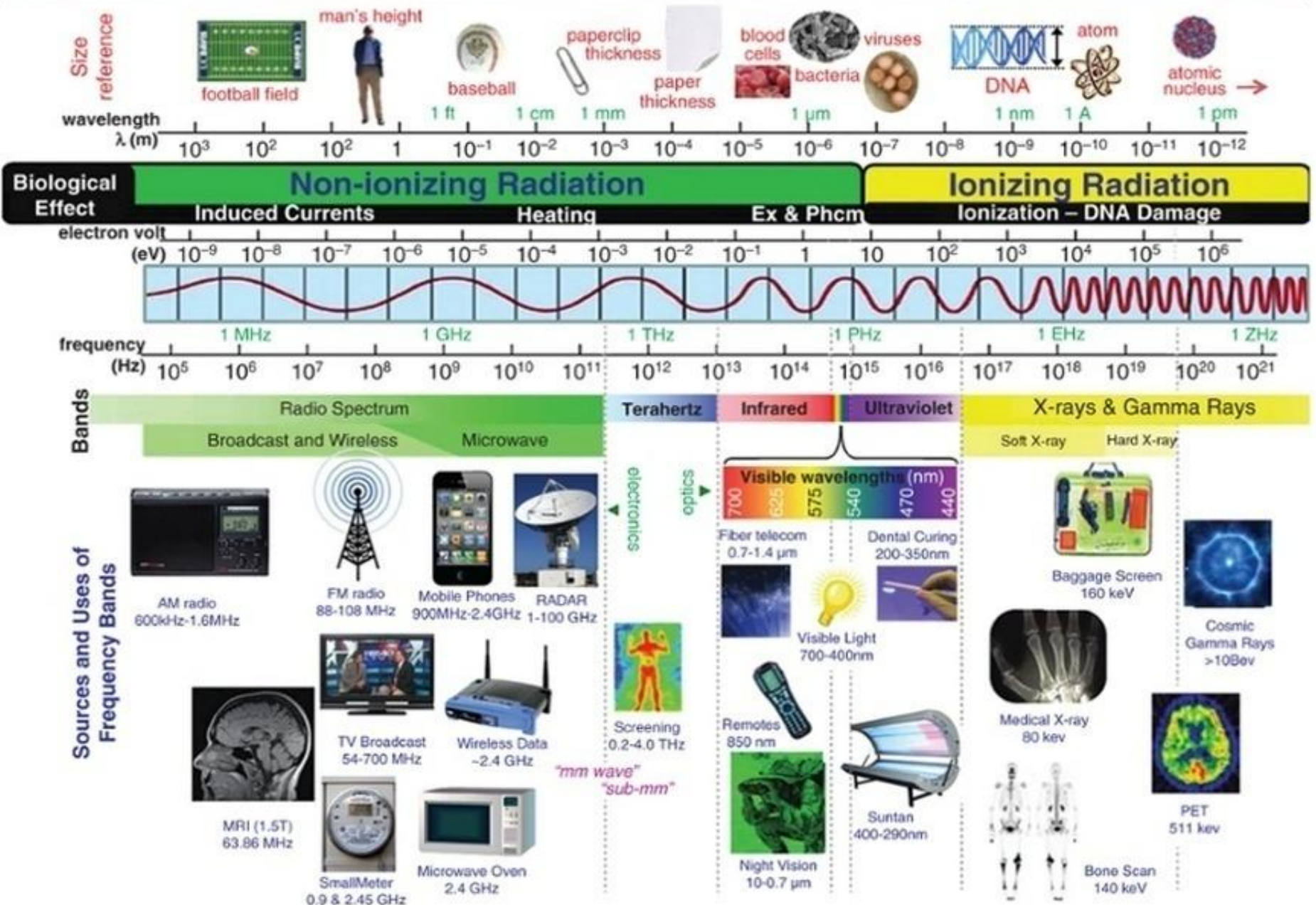
Εργαστήριο Ιατρικής Φυσικής, Τμήμα Ιατρικής, Πανεπιστήμιο Πατρών

(Ενημέρωση: Ε. Κωσταρίδου Δεκέμβριος 2015)

Περιεχόμενα μαθήματος

- Φυσικό υπόβαθρο της ιατρικής απεικόνισης με ακτίνες X
- Συνιστώσες απεικονιστικού συστήματος με ακτίνες X
- Υπολογιστική τομογραφία
- Ποιότητα ιατρικής εικόνας
- Στοιχεία δοσιμετρίας και ακτινοπροστασίας

ELECTROMAGNETIC RADIATION SPECTRUM



Ακτινοβολία Χ

$$E=h\nu; \quad h=4,135 \times 10^{-15} \text{ eV}$$

Diagnostic X-ray energy spectrum 10-150 keV

$$\lambda=c/\nu \quad (c=2,997925 \times 10^8 \text{ m/s})$$

Diagnostic X-ray wavelengths:

0,1 nm(12.4 keV) - 0.01 nm (124 keV)

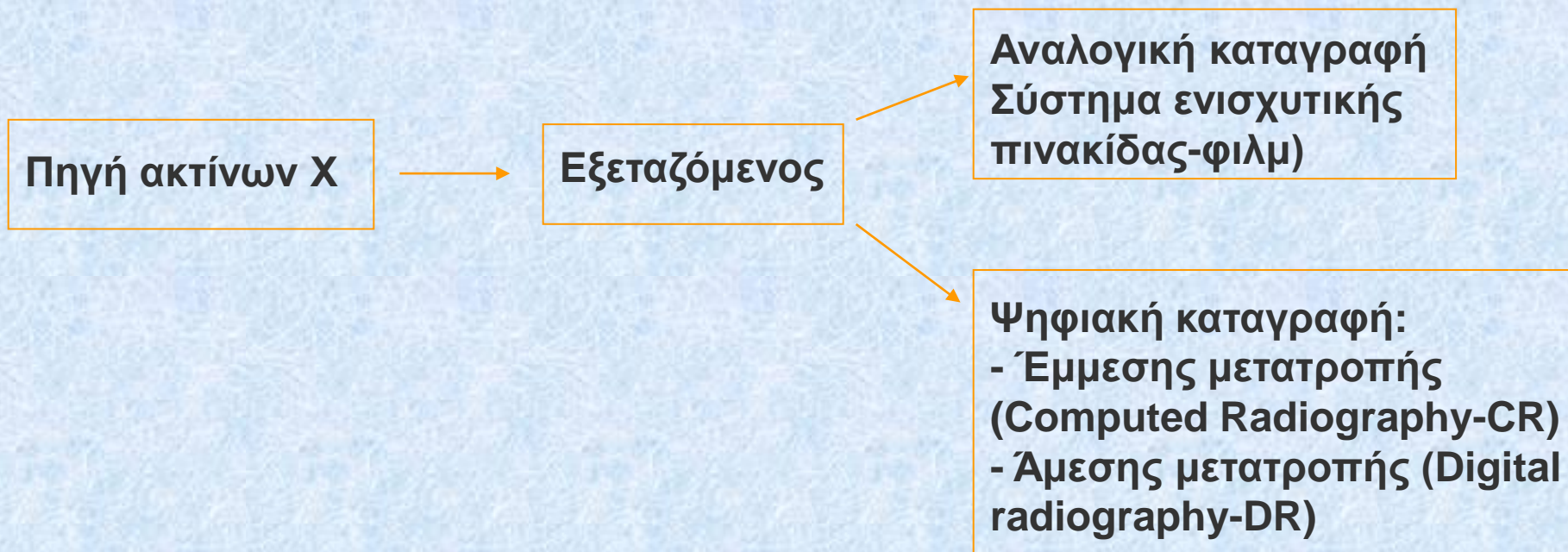
(visible light wavelength spectrum 400 (violet)-650 (red) nm)

X (and γ) rays interact with atoms and have the potential to liberate electrons from the atoms that bind them, resulting in ion pairs (negatively charged electrons and positively charged atoms or molecules) (ionizing radiation).

X and γ rays are the same, but with different spectral characteristics.
A X- and γ - ray of the same energy are the same.

Ακτινοδιαγνωστική Απεικόνιση (Προβολική Απεικόνιση)

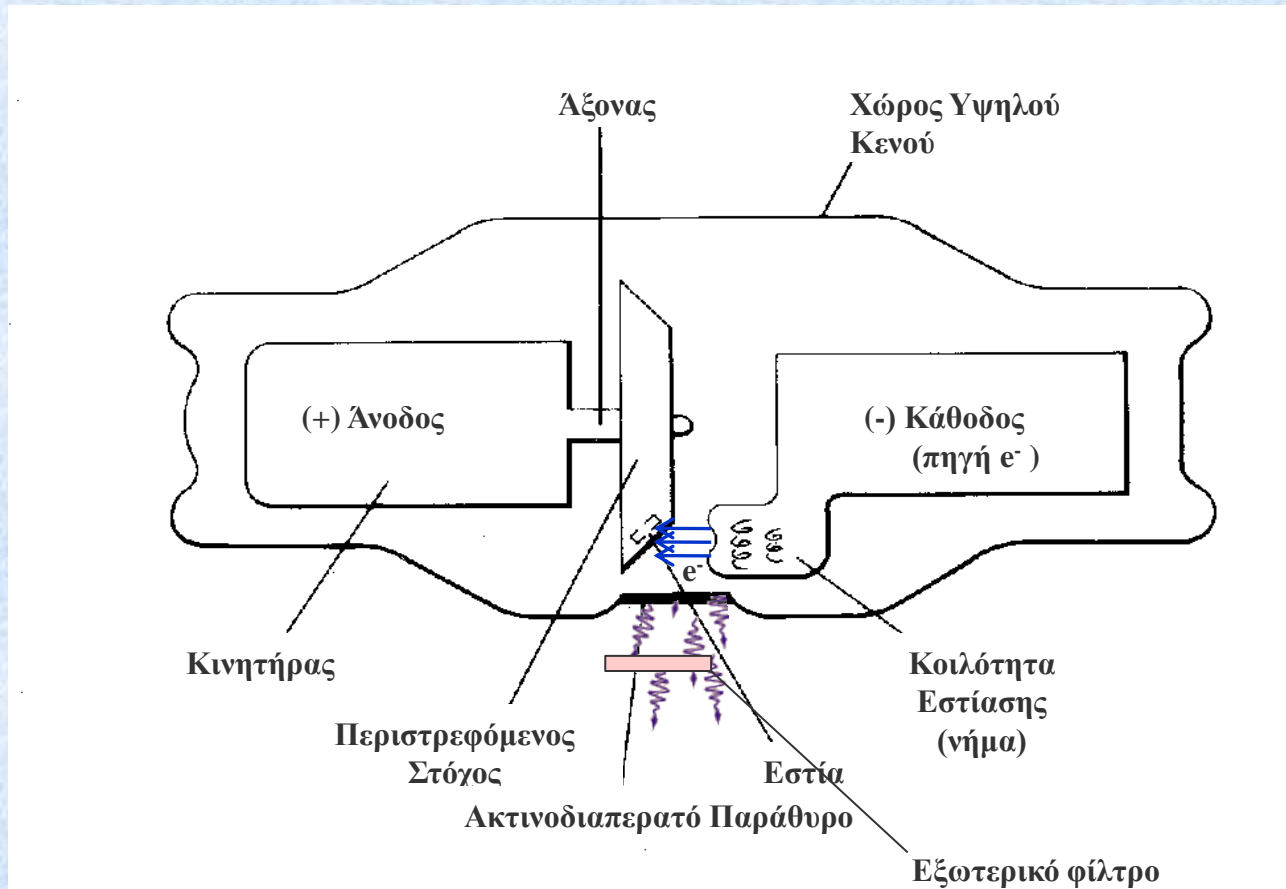
Στόχος της ακτινοδιαγνωστικής απεικόνισης είναι η αναπαράσταση της εσωτερικής ανατομικής δομής του ανθρωπίνου σώματος με τη χρήση ακτίνων Χ. Η απεικόνιση των δομών βασίζεται στην αλληλεπίδραση της ακτινοβολίας Χ με την ύλη (ανθρώπινο σώμα) και την καταγραφή της.



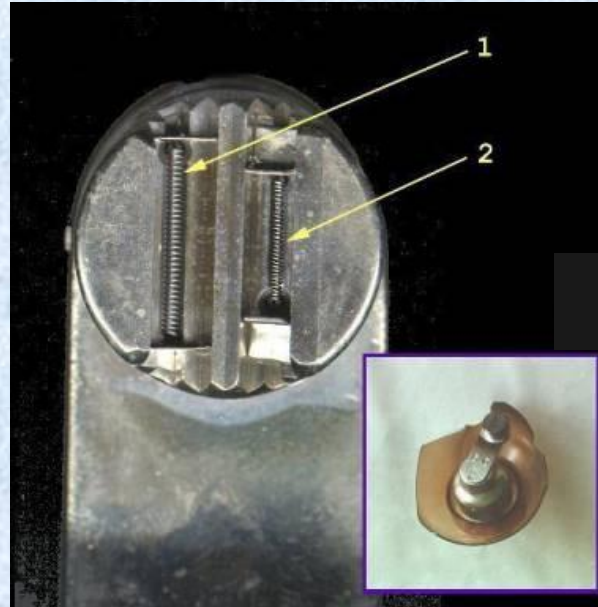
Πηγή ακτίνων Χ: Λυχνία

Μετατροπέας Ενέργειας:

Ηλεκτρική \rightarrow Κινητική \rightarrow Η-Μ (1%), Θερμότητα (99%)



Λυχνία : Κάθοδος - Άνοδος

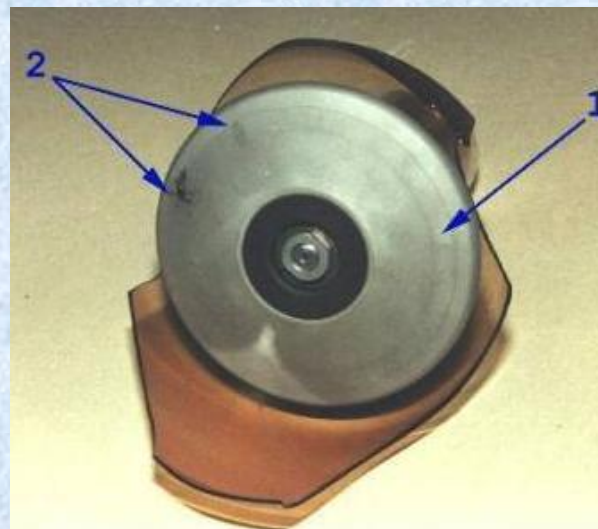


Κάθοδος

Υψηλό σημείο τήξης
(3400°C)

1. Μεγάλη εστία
+ Μικρή επιφανειακή
πυκνότητα θερμικού φορτίου
- χαμηλή χωρική διακριτική
ικανότητα, αυξημένη
ασάφεια

2. Μικρή εστία
+ υψηλή χωρική διακριτική
ικανότητα, μικρή ασάφεια
- Μεγάλη επιφανειακή
πυκνότητα θερμικού φορτίου

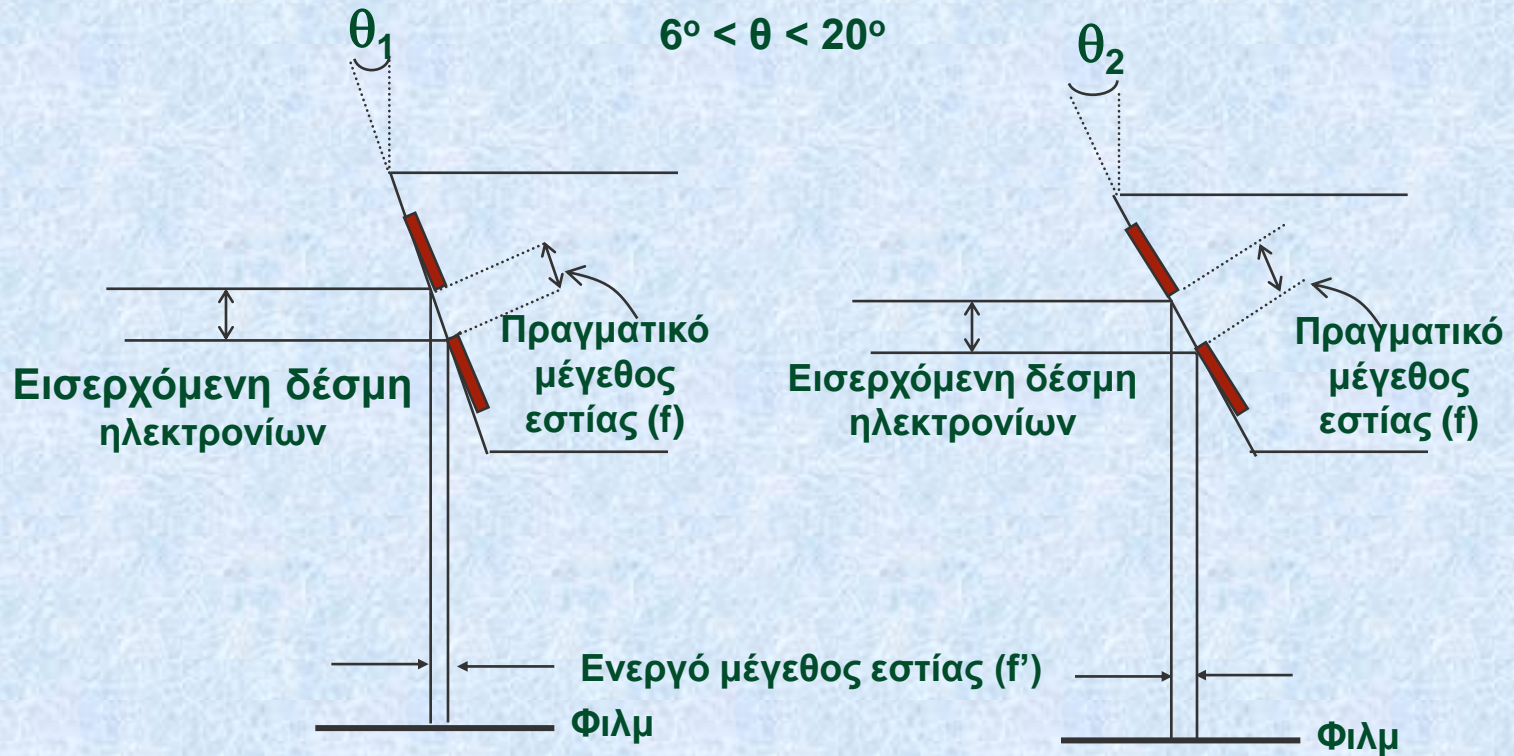


Άνοδος

Υψηλό σημείο τήξης
Υλικό υψηλού Z
($Z_{\text{W}} 74$, $Z_{\text{Mo}} 42$)

1. Τροχιά e^{-}
2. Καταστροφή
ανόδου

Η αρχή της γραμμικής εστίας



$$f' = f \cdot \sin \theta$$

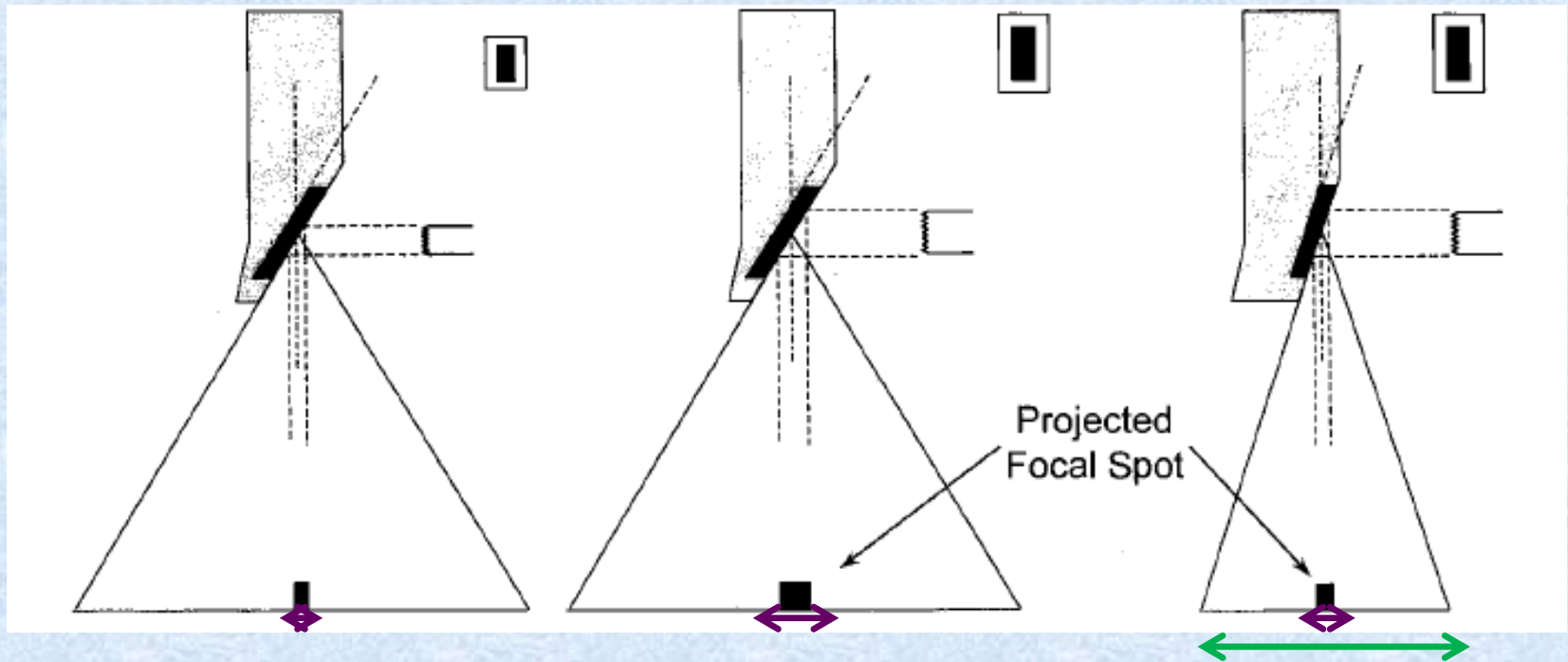
$$\theta_2 > \theta_1 \rightarrow f'_2 > f'_1$$

Επίδραση θ στο μέγεθος πεδίου και στη χωρική διακριτική ικανότητα

Large anode angle
Small filament length

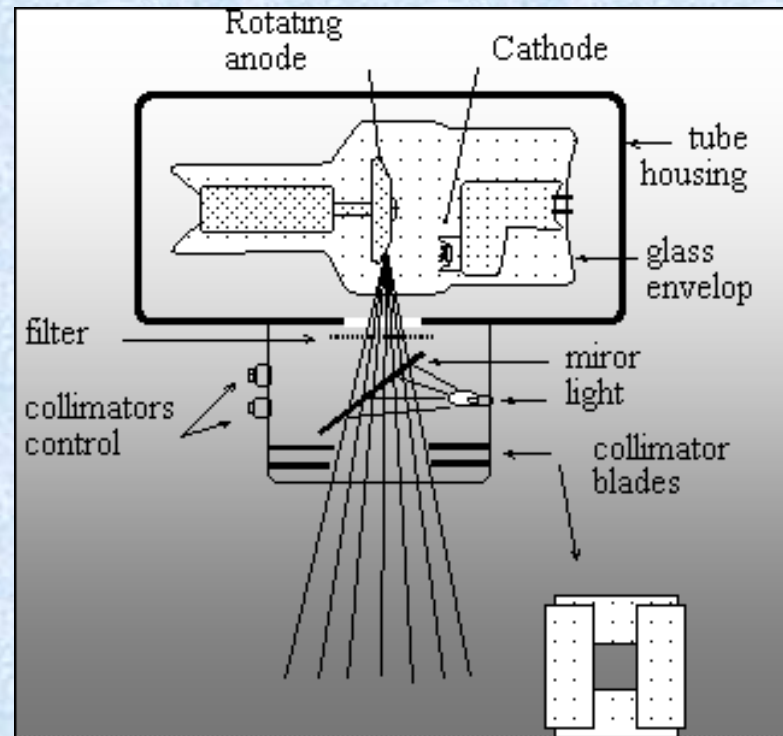
Large anode angle
Long filament length

Small anode angle
Long filament length



Η γωνία θ (σε συνδιασμό με το εύρος της δεσμής ηλεκτρονίων επηρεάζει το μέγεθος πεδίου (**field coverage**) και το **φαινόμενο (ενεργό) μέγεθος εστίας**, δηλ. τη χωρική διακριτική ικανότητα.

Σχήμα και μέγεθος πεδίου ακτινοβολίας



Η δέσμη που κατευθύνεται προς την έξοδο της λυχνίας (παράθυρο) έχει μεγάλο εύρος και απαιτεί διαμόρφωση ως προς το μέγεθος και το σχήμα της, ώστε να στοχεύει την περιοχή ενδιαφέροντος και όχι παρακείμενους ιστούς (επιπλέον δόση).

Η δέσμη συνήθως διαμορφώνεται με διαφράγματα βάρους που συνοδεύονται από σύστημα φωτεινού πεδίου που επιτρέπει τον ακριβή εντοπισμό του πεδίου ακτινοβολίας.

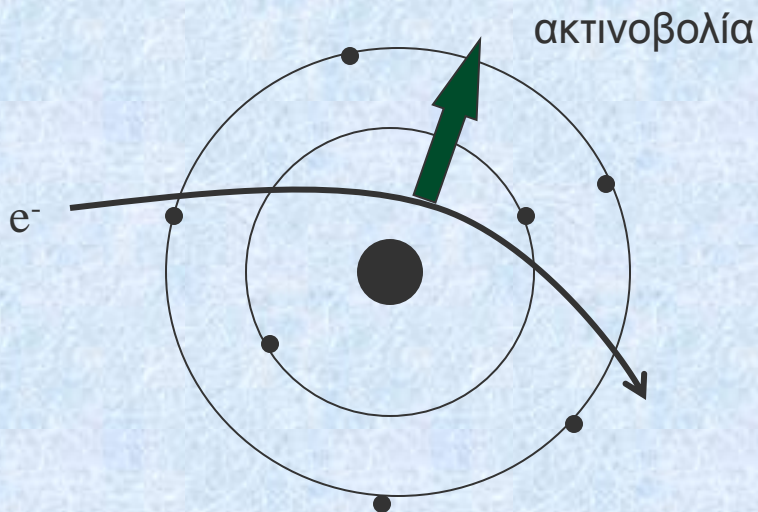
Τι συμβαίνει στη άνοδο ?

Τα ηλεκτρόνια προσπίπτουν στο στόχο της ανόδου με ενέργεια:

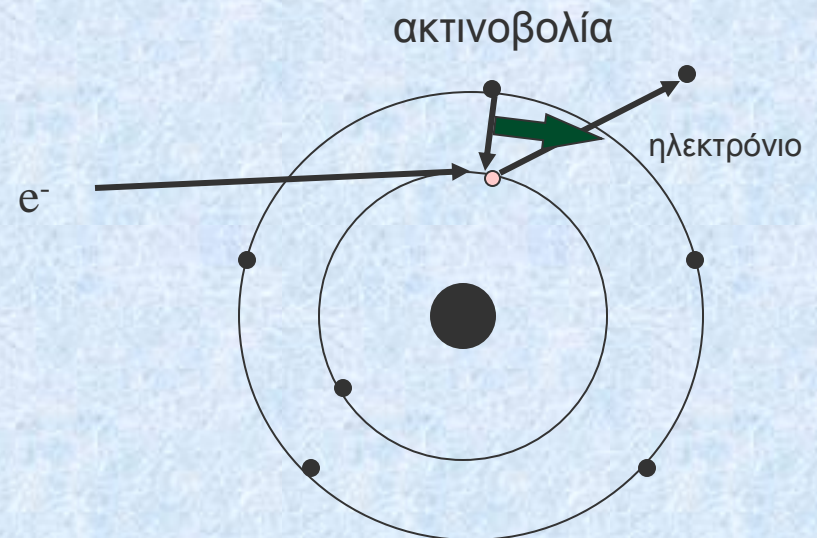
$$E = e \cdot V \text{ (πχ. για } V=100\text{kV, } E=100\text{keV)}$$

Αλληλεπίδραση των e^- με τους δομικούς λίθους του στόχου παράγει φωτόνια X με δύο μηχανισμούς:

(α) Ακτινοβολία πέδησης



(β) Χαρακτηριστική ακτινοβολία

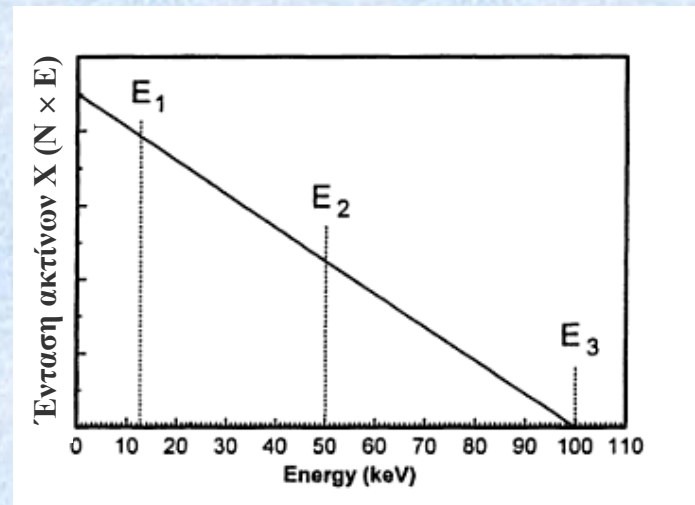
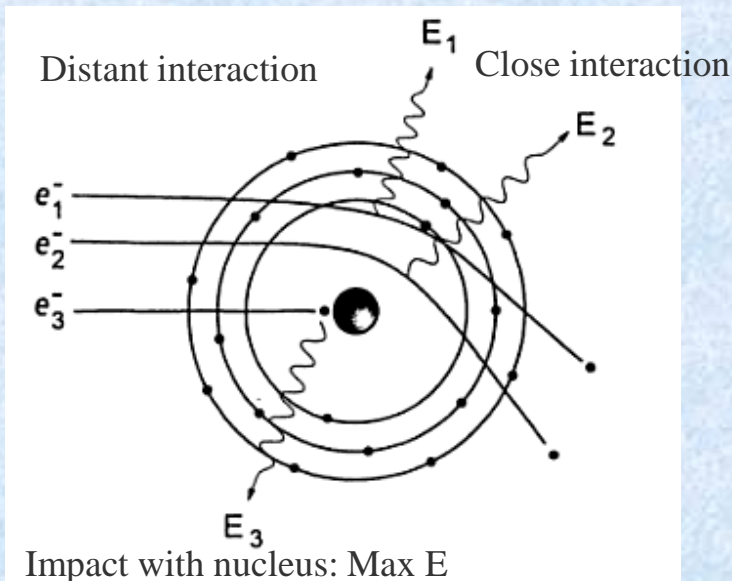


Παραγωγή ακτίνων X με ακτινοβολία πέδησης: Συνεχές φάσμα ακτίνων X

Οφείλεται σε επιβράδυνση των e^- από το ηλεκτροστατικό πεδίο του πυρήνα και την αρχή διατήρησης της ενέργειας (αλληλεπιδράσεις τύπου Coulomb)

π.χ. E_1 : μέρος της αρχικής κινητικής ενέργειας του e_1^- και E_3 όλη η αρχική κινητική ενέργεια του e_3^-

Η ένταση της παραγόμενης δέσμης ακτίνων X λόγω πέδησης είναι αντίστροφη συνάρτηση της ενέργειας (οι αλληλεπιδράσεις που παράγουν ακτίνες X χαμηλότερης ενέργειας είναι πιο πιθανές), με αποτέλεσμα η παραγόμενη ακτινοβολία X να είναι **πολυχρωματική**.



$$f(E) = k \times Z \times (E_{\max} - E)$$

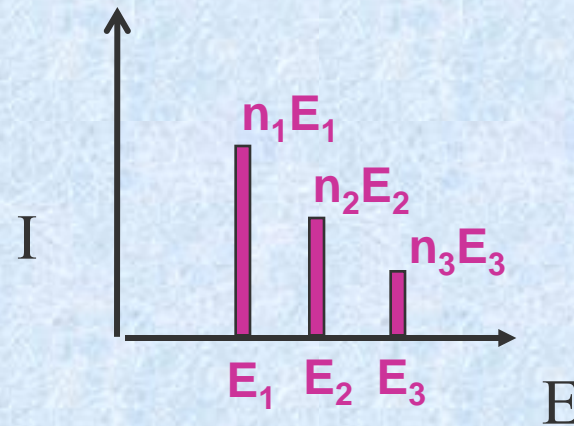
Τι είναι συνεχές φάσμα ?

Η ακτινική απόσταση αλληλεπίδρασης από τον πυρήνα r καθορίζει την περίμετρο $2\pi r$, που αντιστοιχεί στην πιθανότητα αλληλεπίδρασης των προσπιπτόντων ηλεκτρονίων και του πυρήνα. Καθώς το r αυξάνει και η πιθανότητα αλληλεπίδρασης και επομένως και το πλήθος των παραγομένων ακτίνων (φωτονίων) χ με τον μηχανισμό πεδήσεως (bremsstrahlung).

Η κατανομή της πιθανότητας αυτής (αριθμού φωτονίων) ως συνάρτηση της ενέργειάς τους, αντιστοιχεί στο φάσμα της παραγόμενης ακτινοβολίας χ .

$$I = \sum_{i=1}^n N_i h\nu_i$$

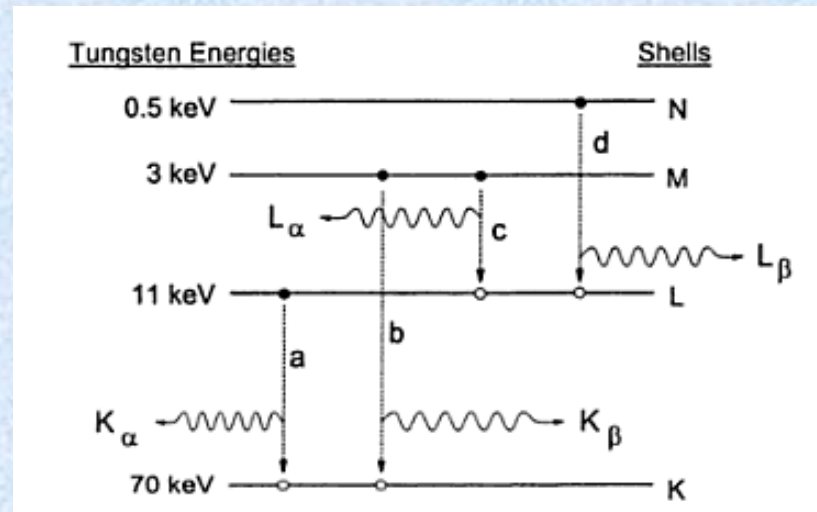
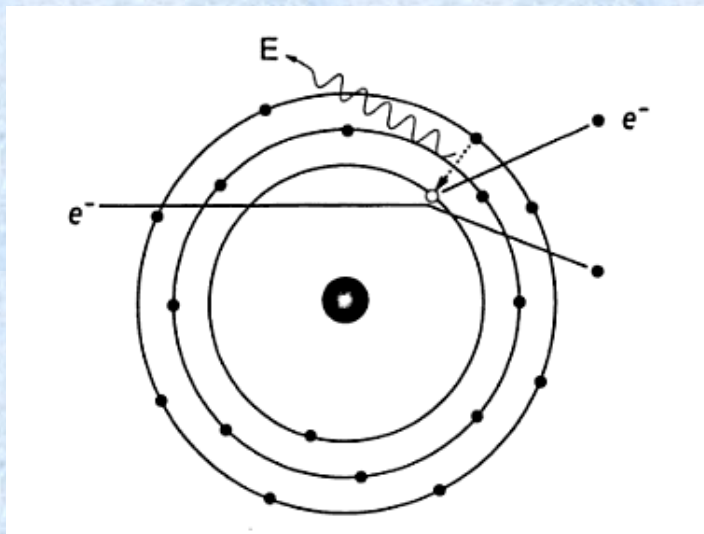
Όπου N_i το πλήθος των φωτονίων χ ενέργειας $h\nu_i$



Παραγωγή χαρακτηριστικής ακτινοβολίας

Οφείλεται σε αλληλεπιδράσεις (τύπου Coulomb) των προσπιπτόντων ηλεκτρονίων με τα τροχιακά ηλεκτρόνια, με αποτέλεσμα την απομάκρυνση τροχιακών ηλεκτρονίων και τη δημιουργία ελεύθερων θέσεων, οι οποίες καλύπτονται από e^- εξωτερικών στιβάδων

Η ενέργεια της χαρακτηριστικής ακτινοβολίας X που εκπέμπεται αντιστοιχεί στη **διαφορά των ενεργειών σύνδεσης** των ηλεκτρονίων μεταξύ γειτονικών ή μη ενεργειακών στιβάδων. (Η ενέργεια επίσης αυτή μπορεί με μεταφερθεί σε άλλο τροχιακό e^- το οποίο έτσι απομακρύνεται από το άτομο, Auger e^-)

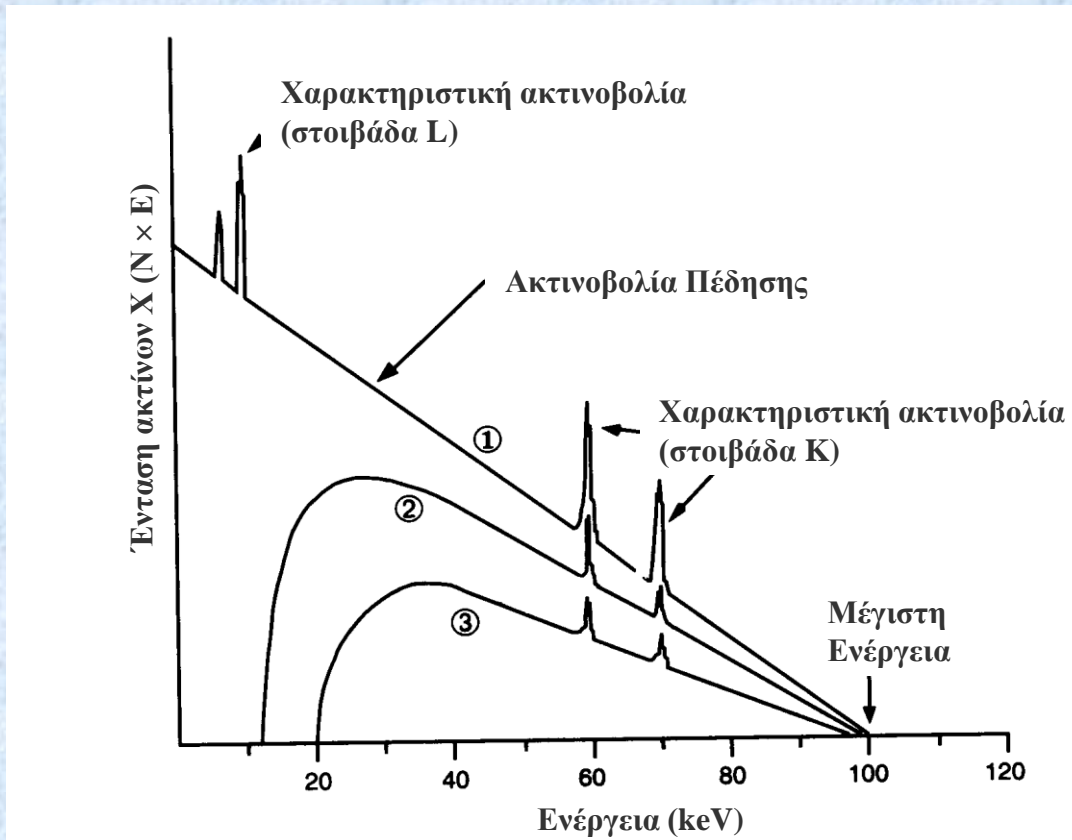


Ενέργειες σύνδεσης τροχιακών ηλεκτρονίων του ατόμου Βολφραμίου.

Τι είναι συνολικό φάσμα ακτινοβολίας ?

Γραφική αναπαράσταση του πλήθους των παραγόμενων φωτονίων X για κάθε ενέργεια για όλο το εύρος των ενεργειών της δέσμης

Συνιστώσες του φάσματος: **συνεχές φάσμα (ακτινοβολία πέδησης)**
γραμμικό φάσμα (χαρακτηριστική ακτινοβολία)



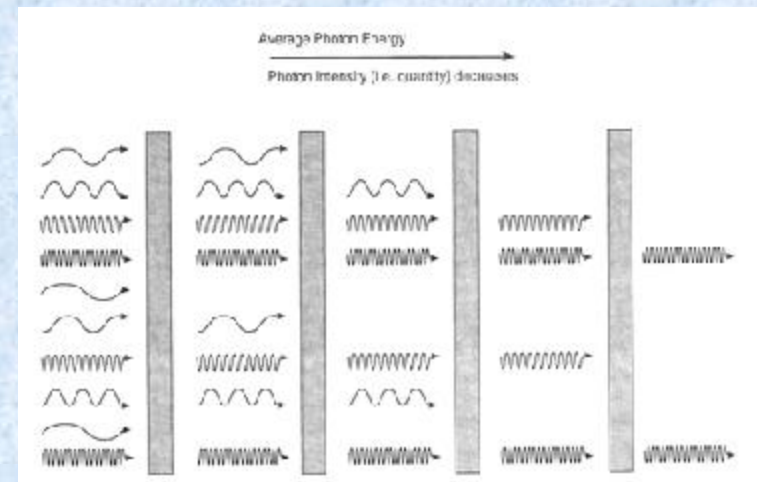
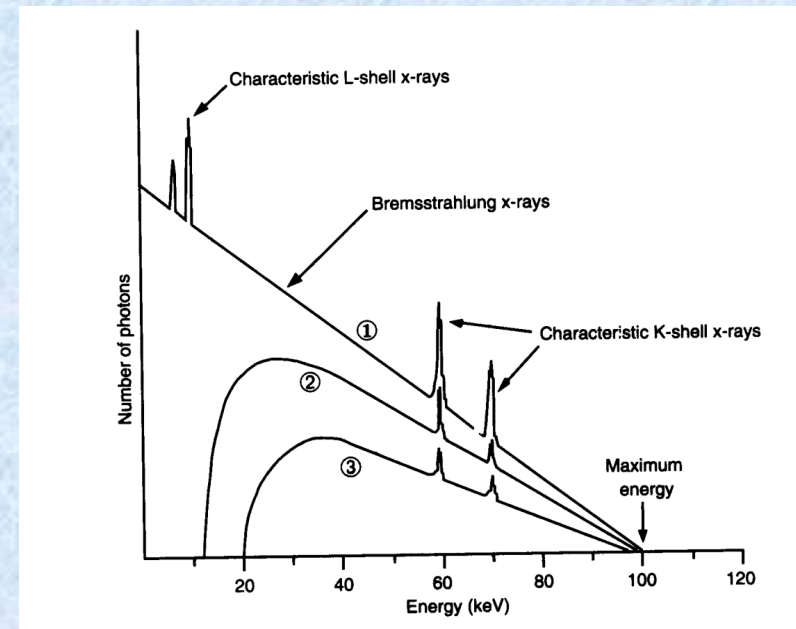
- (1) Φάσμα στο κενό
- (2) Φάσμα μετά από το ενυπάρχον φίλτρο
- (3) Φάσμα μετά από το πρόσθετο φίλτρο

Φάσμα ακτίνων Χ: επίδραση φίλτρου

Το φίλτρο της λυχνίας καθορίζει τον αριθμό φωτονίων χαμηλών ενεργειών (“μαλακά” φωτόνια, $E < 25\text{keV}$) της δέσμης που απορροφώνται από το σώμα του ασθενούς χωρίς να συμβάλλουν στην απεικόνιση, ενώ παράλληλα αυξάνουν τη δόση (ανεπιθύμητα).

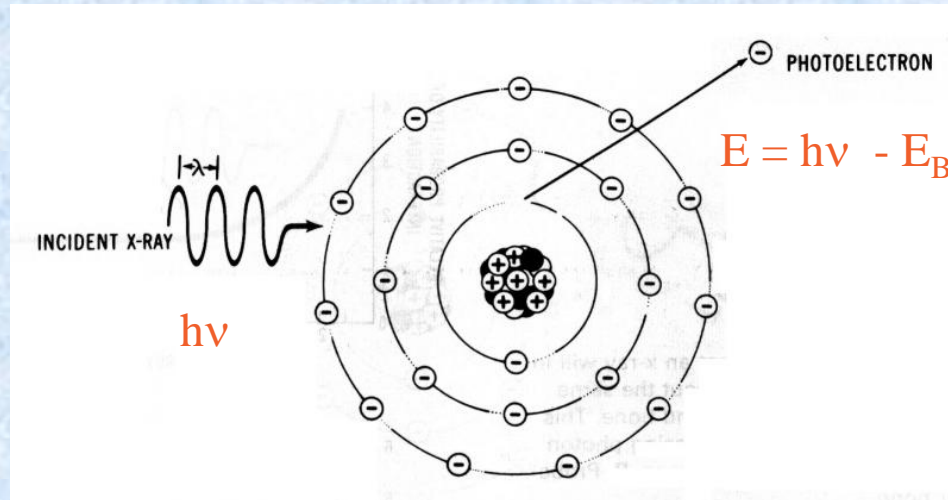
Τα περισσότερα απορροφώνται από το ενυπάρχον φίλτρο. Για την εξάλειψη των υπολοίπων χρησιμοποιείται εξωτερικό φίλτρο.

Τα φίλτρα απορροφούν φωτόνια όλων των ενεργειών αλλά περισσότερα φωτόνια χαμηλών ενεργειών με αποτέλεσμα την ελάττωση του πλήθους των φωτονίων Χ (**Ποσότητα**) και την αύξηση της μέσης ενέργειας του φάσματος (E_{max} σταθερό) (**Ποιότητα**).



Αλληλεπίδραση ακτινοβολίας-ύλης

Φωτοηλεκτρικό φαινόμενο: το προσπίπτον φωτόνιο απορροφάται πλήρως, εφόσον $h\nu > E_B$, μεταφέροντας όλη την ενέργεια του σε ένα ηλεκτρόνιο εσωτερικής στιβάδας του ατόμου. Το ηλεκτρόνιο εκπέμπεται ως φωτοηλεκτρόνιο και το άτομο ιονίζεται.

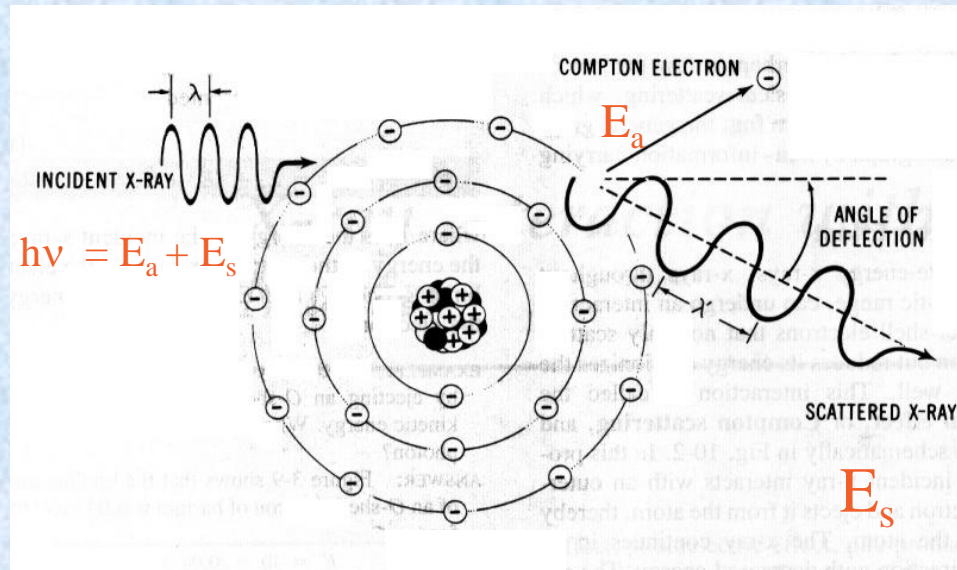


Πιθανότητα φωτοηλεκτρικού φαινομένου (η οποία εκφράζεται από τον αντίστοιχο συντελεστή εξασθένησης) \downarrow για $E_{\text{φωτονίου}}$ ($1/E \exp\{3\}$) \uparrow
και \uparrow για Z ($Z \exp\{3,5\}$) \uparrow

Αποτελεί την κυρίαρχη αλληλεπίδραση σε χαμηλές ενέργειες και για υλικά υψηλού Z

Αλληλεπίδραση ακτινοβολίας-ύλης

Φαινόμενο Compton: φωτόνιο σχετικά χαμηλής ενέργειας αλληλεπιδρά με ηλεκτρόνιο εξωτερικής στοιβάδας του ατόμου και εκτρέπεται από την πορεία του (**ανελαστική σκέδαση**). Το τροχιακό ηλεκτρόνιο απορροφά μέρος της ενέργειας του φωτονίου και εκπέμπεται ως ηλεκτρόνιο Compton. Το άτομο ιονίζεται. Το σκεδαζόμενο φωτόνιο συνεχίζει να κινείται στο μέσο με άλλη διεύθυνση και χαμηλότερη ενέργεια.

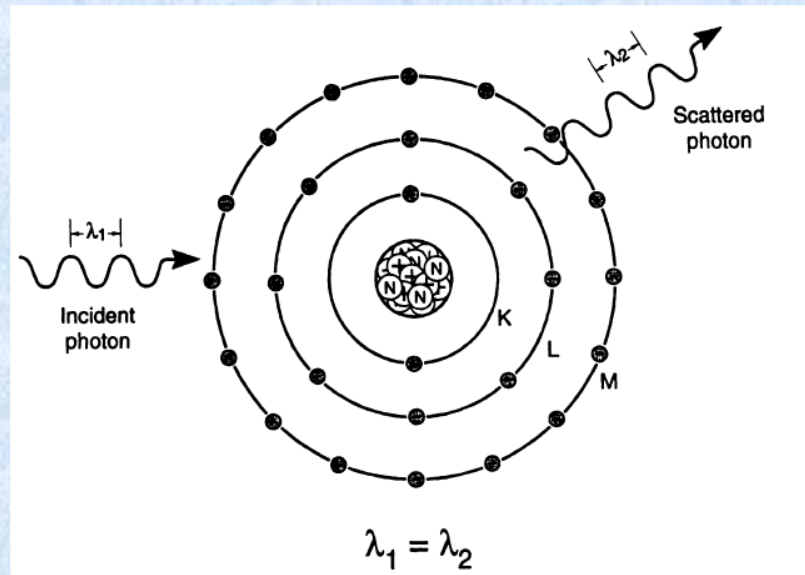


Πιθανότητα σκέδασης Compton (η οποία εκφράζεται από τον αντίστοιχο συντελεστή εξασθένισης) \uparrow για $E_{\text{φωτονίου}} \uparrow$
και \downarrow για $\gg E_{\text{φωτονίου}}$

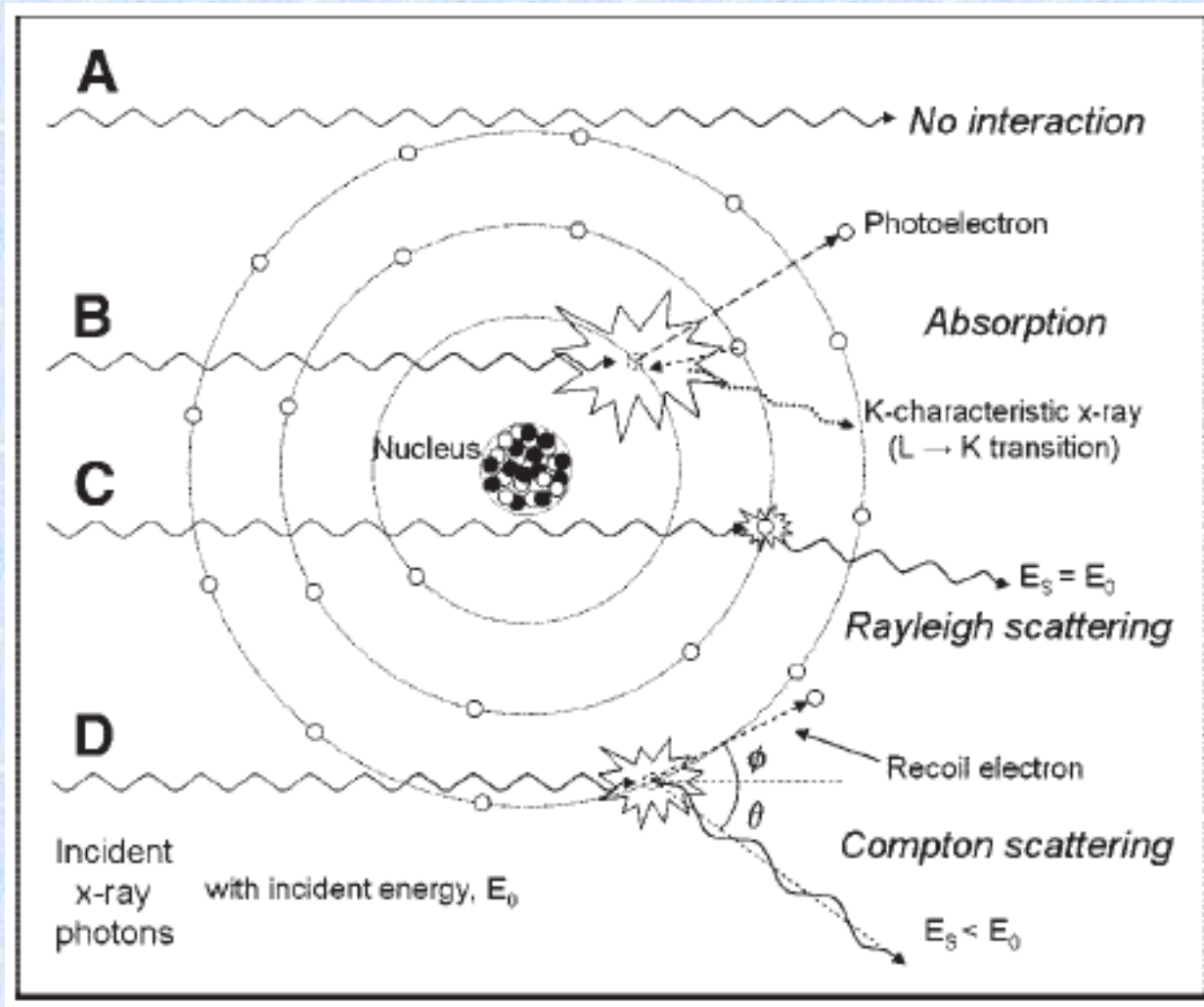
Στο διαγνωστικό εύρος ενεργειών πρακτικά δεν εξαρτάται από το Z αλλά από την πυκνότητα των ηλεκτρονίων γύρω από τον πυρήνα. Κυρίαρχο φαινόμενο στο διαγνωστικό εύρος ενεργειών.

Αλληλεπίδραση ακτινοβολίας-ύλης

Φαινόμενο Thomson: φωτόνιο χαμηλής ενέργειας ($\sim <10 \text{ keV}$) αλληλεπιδρά με ηλεκτρόνιο εξωτερικής στοιβάδας του ατόμου (ή με όλα τα ηλεκτρονια του ατόμου συνολικά, φαινόμενο **Rayleigh**) και εκτρέπεται από την πορεία του (**ελαστική σκέδαση**). Κατά την ελαστική σκέδαση το X φωτόνιο αλλάζει διεύθυνση αλλά η απώλεια ενέργειας είναι αμελητέα. Δεν συμβαίνει ιονισμός του ατόμου. Στα 70 keV μόνο ένα πολύ μικρό ποσοστό των αλληλεπιδράσεων των ακτίνων X οφείλονται στην ελαστική σκέδαση και συμβάλουν κυρίως στην ομίχλωση του ακτινογραφικού φιλμ (fogging)



Αλληλεπίδραση ακτινοβολίας-ύλης στο εύρος ακτινοδιαγνωστικών ενεργειών (10-150 keV)

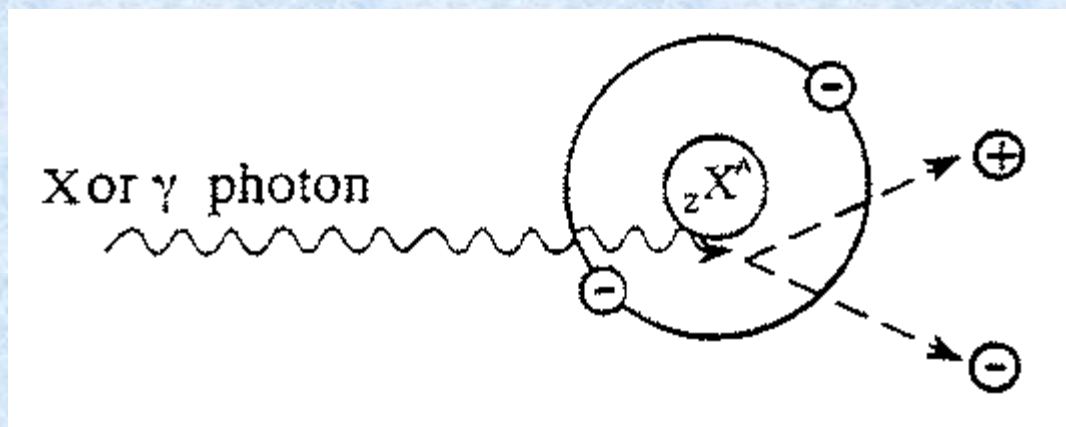


[Adapted from: J A Siebert & J M Boone, J Nucl Med Technol 2005]

Αλληλεπίδραση ακτινοβολίας-ύλης (εκτός εύρους ακτινοδιαγνωστικών ενεργειών >150 keV)

Δίδυμος γένεση: φωτόνιο υψηλής ενέργειας (κατώφλιο $E_{\text{φωτονίου}} > 1,022$ MeV) εξαϋλώνεται παράγοντας ένα ηλεκτρόνιο και ένα ποζιτρόνιο. **Τα ποζιτρόνια ζουν πολύ λίγο και εξαφανίζονται, αφού επιδράσουν με ένα άλλο e^- της ύλης, σχηματίζοντας 2 φωτόνια ενέργειας 0.511 MeV.**

(αξιοποίηση του φαινόμενου στην απεικόνιση πυρηνικής ιατρικής)

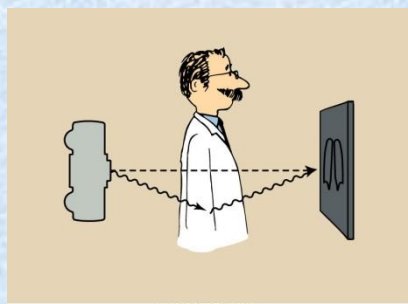


Πιθανότητα διδύμου γένεσης (η οποία εκφράζεται από τον αντίστοιχο συντελεστή εξασθένησης) \uparrow για $E_{\text{φωτονίου}} \uparrow$ ($E_{\text{φωτονίου}} \gg$)

Ποια ακτινοβολία αξιοποιείται για τη παραγωγή εικόνας?

Τα φαινόμενα που είναι σημαντικά στο ακτινοδιαγνωστικό εύρος ενεργειών είναι τα φαινόμενα **φωτοηλεκτρικό** και **Compton**.

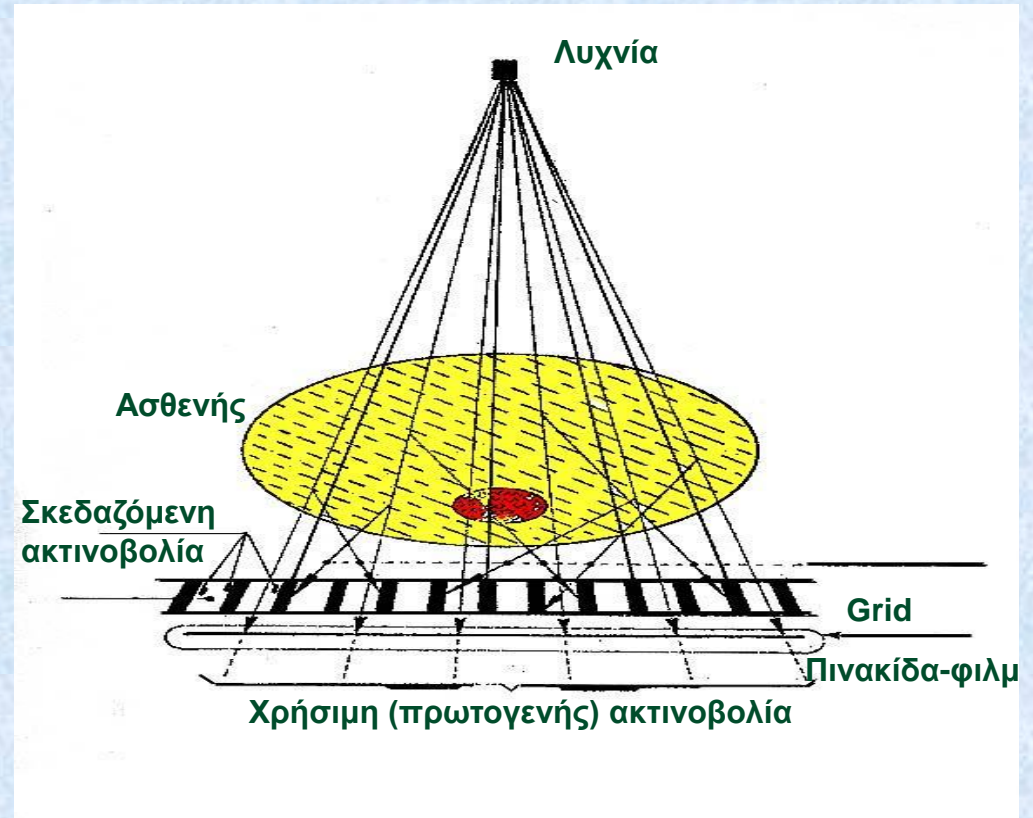
1. Το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο δεν παράγει ακτινοβολία X (αφαίρεση φωτονίων X από τη προσπίπτουσα δέσμη).
2. Το Compton συνοδεύεται από σκεδαζόμενη ακτινοβολία X, η οποία όμως είναι ανεπιθύμητη για τη παραγωγή εικόνας, λόγω λανθασμένης πληροφορίας ως προς τη θέση.



Αντιδιαχυτικό διάφραγμα

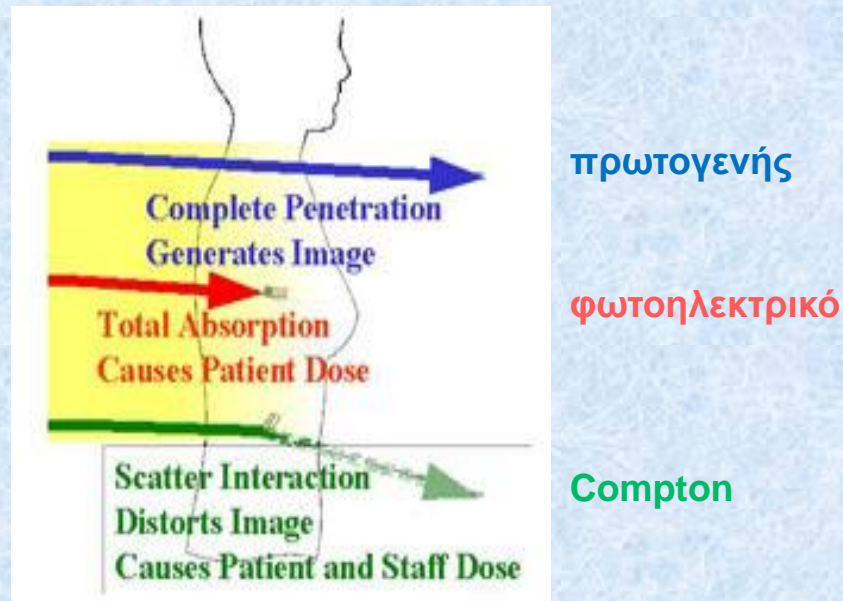
Για τη μείωση της σκεδαζόμενης ακτινοβολίας χρησιμοποιούνται αντιδιαχυτικά διαφράγματα.

Το αντιδιαχυτικό διάφραγμα επιτρέπει τη διέλευση ακτίνων X που η κατεύθυνση τους είναι παράλληλη προς τις λωρίδες του διαφράγματος (μόλυβδος).

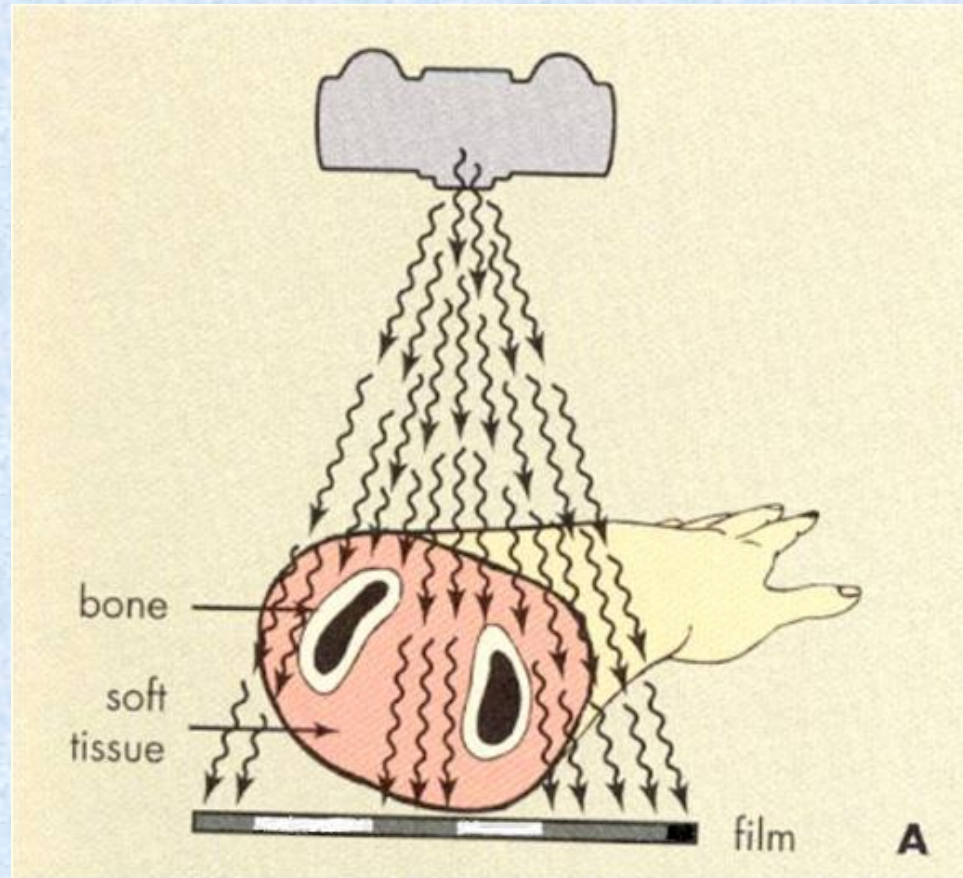


Διαφορά εξασθένησης (1)

1. Το φωτοηλεκτρικό παρέχει πληροφορία των φωτονίων X που δεν φτάνουν στον ανιχνευτή εικόνας.
2. Η σκέδαση Compton παρέχει φωτόνια X, λιγότερο ενεργητικά, που προέρχονται από λάθος θέση (διεύθυνση)
3. Στον ανιχνευτή εικόνας φτάνουν φωτόνια X που δεν έχουν αλληλεπιδράσει με το προς απεικόνιση αντικείμενο (**πρωτογενής ακτινοβολία**).



Διαφορά εξασθένησης (2)



Οι τοπικές διαφορές της πρωτογενούς ακτινοβολίας και αλληλεπιδράσεων φωτοηλεκτρικού (και Compton) φαινομένων, αποτελούν το σήμα που καταγράφεται από τους ανιχνευτές εικόνας στην Ακτινοδιαγνωστική.

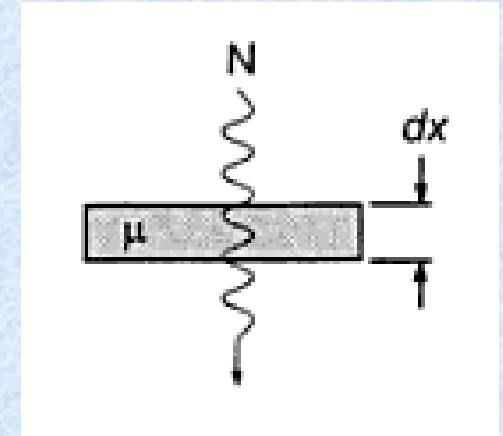
Οι αλληλεπιδράσεις συμβαίνουν σε επίπεδο ατόμου αλλά καταγράφονται μακροσκοπικά (π.χ. γειτονικές περιοχές του φιλμ ή στοιχεία ανιχνευτή).

Γραμμικός συντελεστής εξασθένησης ακτινοβολίας X: υλικό/πάχος υλικού

Οι προαναφερθέντες μηχανισμοί αλληλεπίδρασης φωτονίων X και ύλης σε επίπεδο ατόμου, είναι υπεύθυνοι για την μακροσκοπική εξασθένηση της έντασης της προσπίπτουσας ομοιόμορφης δέσμης στο προς απεικόνιση αντικείμενο.

$$dN = -\mu N dx \quad \Rightarrow \quad \int_{N_o}^N \frac{dN}{N} = -\mu \int_0^X dx \quad \Rightarrow$$

$$\ln \frac{N}{N_o} = -\mu X \quad \Rightarrow \quad N = N_o e^{-\mu X}$$



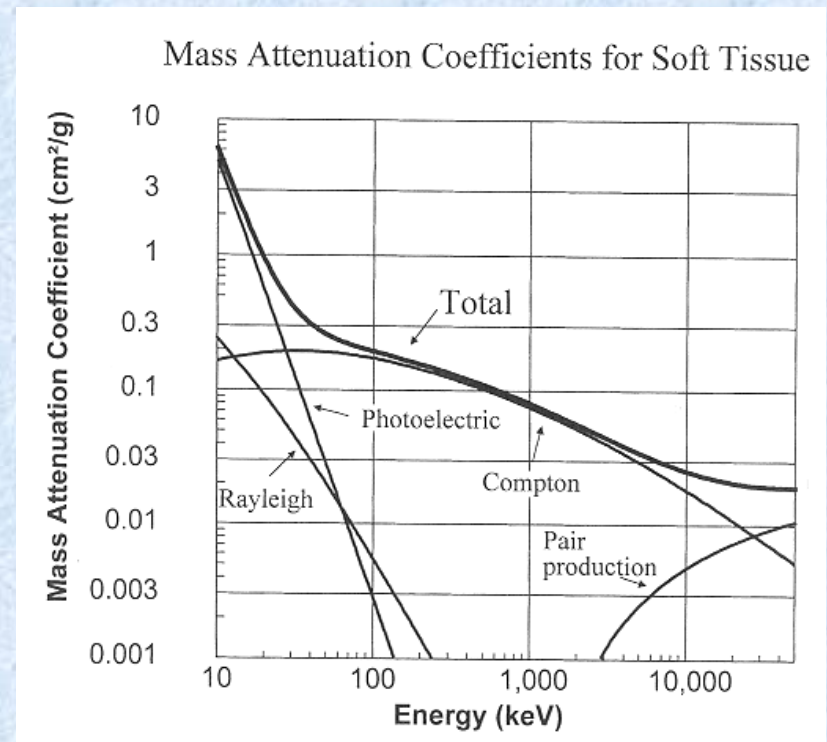
Ο γραμμικός συντελεστής εξασθένησης μ έχει μονάδες αντιστρόφου μήκους, και εκφράζει τη πιθανότητα εξασθένησης ενός φωτονίου X ανά μονάδα μήκους του υλικού. Στο εύρος ακτινοδιαγνωστικών ενεργειών (10-150 keV) οι μηχανισμοί που συμμετέχουν είναι το φωτοηλεκτρικό και σκέδαση Compton.

Μαζικός συντελεστής εξασθένησης (μ/ρ)

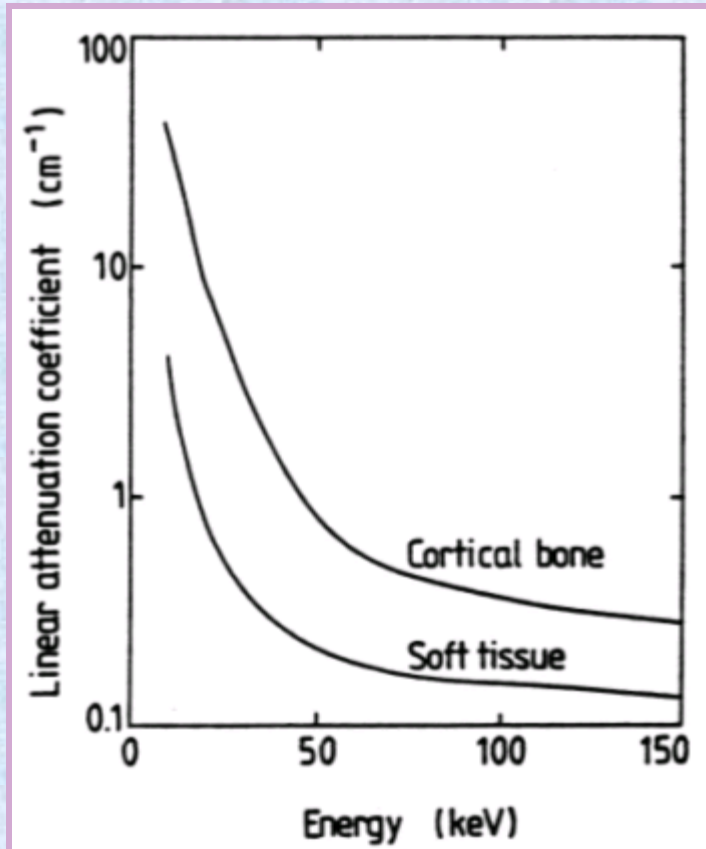
Το $\mu(Z, \rho_e, E)$ είναι συνάρτηση του ατομικού αριθμού Z , της πυκνότητας e -καθώς και της ενέργειας E της προσπίπτουσας δέσμης ακτίνων Χ σε αυτό.

Διαίρεση του μ με τη πυκνότητα παρέχει το συντελεστή μαζικής εξασθένησης με μονάδες $\frac{[l^2]}{[m]}$

Και το μ και το μ/ρ εκφράζουν τη συνολική πιθανότητα εξασθένησης, που οφείλεται σε όλες τις επιμέρους αλληλεπιδράσεις.

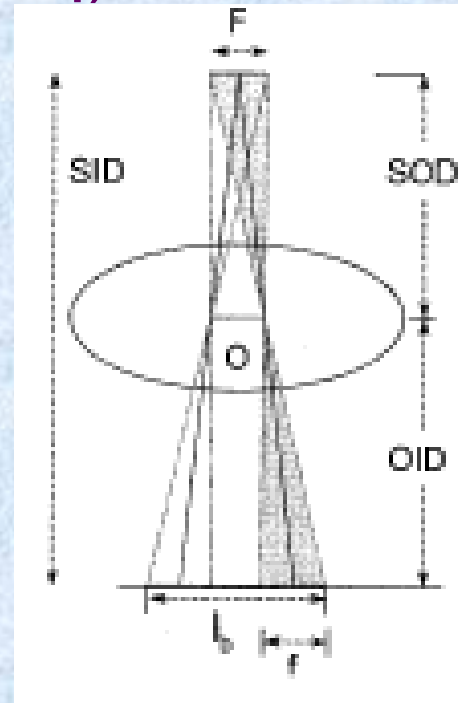
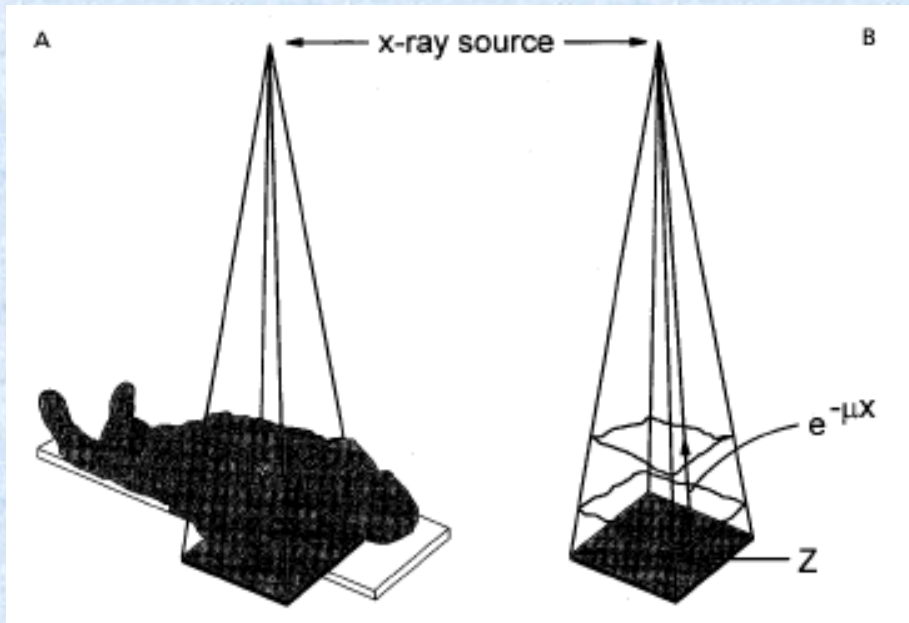


Η αρχή της απεικόνισης με ακτίνες X



Ο γραμμικός συντελεστής εξασθένησης του οστού είναι πολύ μεγαλύτερος του γραμμικού συντελεστή εξασθένησης του μαλακού ιστού.

Προβολική Απεικόνιση (δισδιάστατη απεικόνιση)



Μεγέθυνση

$$M = \frac{I}{O} = \frac{SID}{SOD}$$



$$\frac{f}{F} = \frac{OID}{SOD} = \frac{SID - SOD}{SOD} = \frac{SID}{SOD} - 1$$

Ασάφεια Ακμών

Η απεικόνιση με ακτίνες X αφορά στη διέλευση της δέσμης που παράγεται από τη λυχνία ακτίνων X μέσω του ασθενούς και την πρόσπτωσή της στον ανιχνευτή εικόνας. Το σήμα που καταγράφεται είναι ανάλογο της σχετικής εξασθένισης (διαφορά εξασθένησης) κατά μήκος της διαδρομής (x) κάθε ακτίνας της δέσμης σε κάθε θέση της εικόνας (Z).

Παράμετροι που επηρεάζουν την παραγωγή ακτίνων Χ

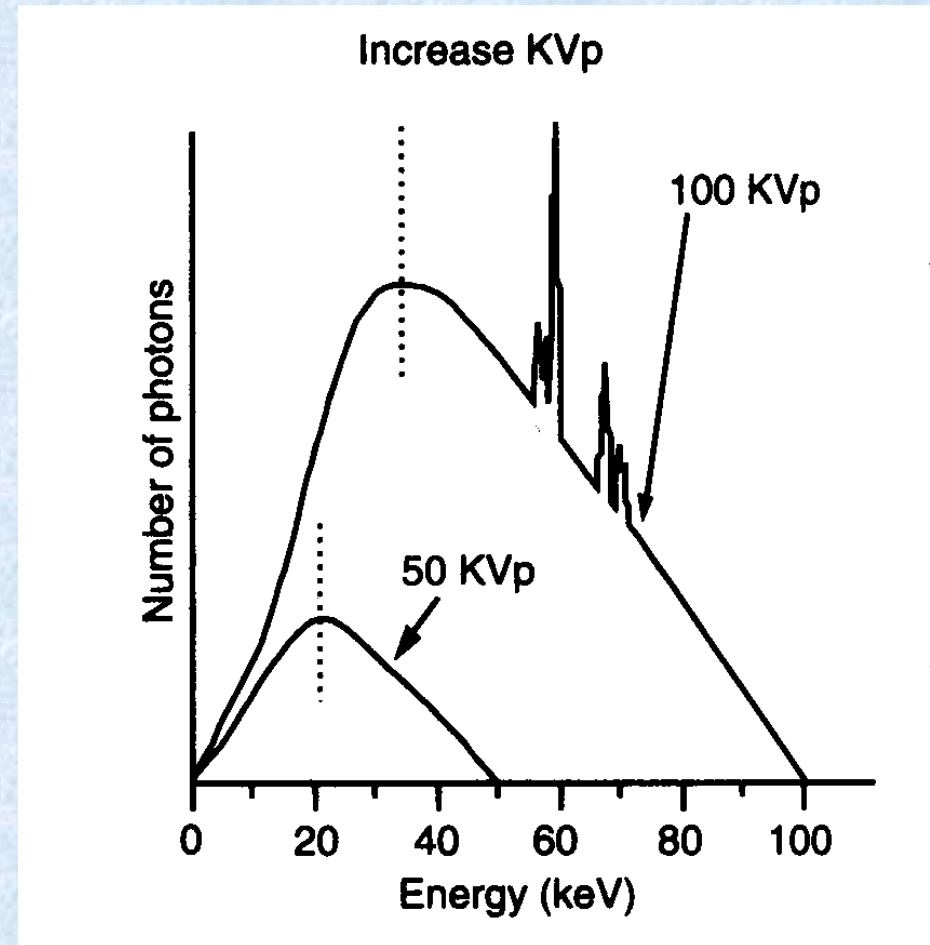
1. Υλικό ανόδου ($\propto Z \times E$)
2. Υψηλή τάση λυχνίας (**exposure** $\propto \exp\{kVp\}^2$)
3. Ένταση ρεύματος λυχνίας (mA)
4. Χρόνος έκθεσης (s)
5. Φίλτρα δέσμης ακτίνων Χ
6. Κυματομορφή γεννήτριας υψηλής τάσης

Φάσμα ακτίνων Χ: επίδραση υψηλής τάσης

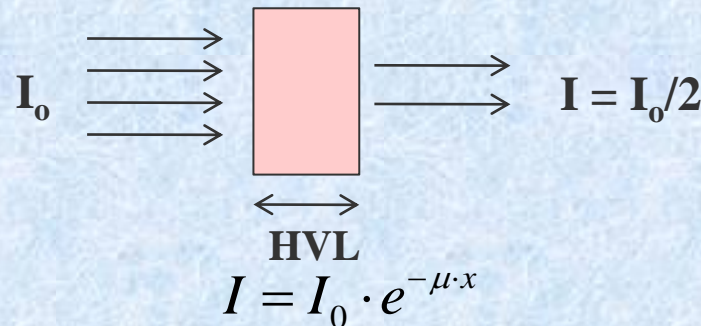
Υψηλή τάση επιδρά στη μέγιστη ενέργεια του συνεχούς φάσματος E_{max} με επακόλουθο την τροποποίηση του ενεργειακού περιεχομένου του (**Ποιότητα**) (στο σχήμα οι στικτές γραμμές αντιστοιχούν στη μέση ενέργεια του φάσματος).

Ο αριθμός φωτονίων (**ένταση-ποσότητα**) της δέσμης είναι ανάλογος του $(kVp)^2$ (εμβαδό καμπύλης)

Εάν η υψηλή τάση (kVp) είναι μικρότερη του κατωφλίου των χαρακτηριστικών, οι χαρακτηριστικές εξαφανίζονται (βλ. φάσμα 50 kVp). Εάν είναι πάνω από αυτό τότε οι χαρακτηριστικές εμφανίζονται πάντα στην ίδια θέση (βλ. φάσμα 100 kVp).



Φάσμα ακτίνων Χ: ποιότητα δέσμης



Η ποιότητα της δέσμης εξαρτάται από την υψηλή τάση και το πάχος του φίλτρου. Δέσμη υψηλής μέσης ενέργειας (“σκληρή”) εξασθενεί λιγότερο κατά τη διέλευσή της από την ύλη.

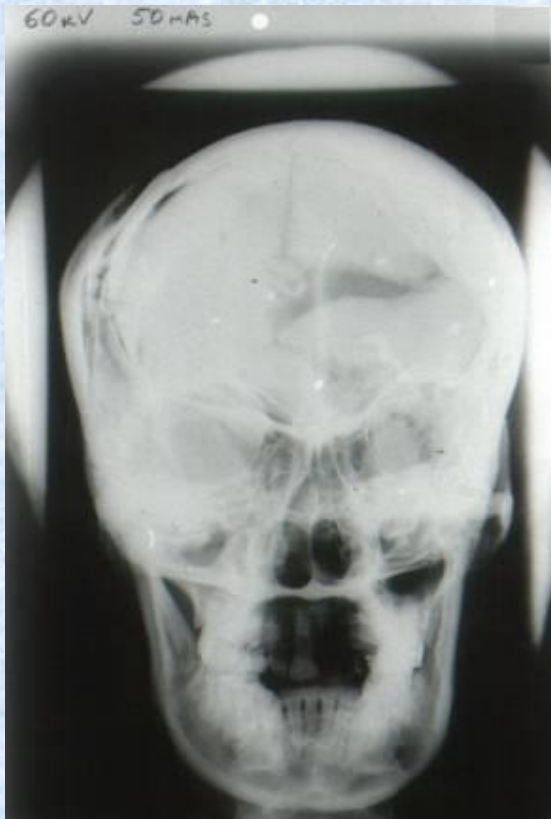
ΠΑΧΟΣ ΥΠΟΔΙΠΛΑΣΙΑΣΜΟΥ

Η ποιότητα της δέσμης εκφράζεται σε πάχος κάποιου υλικού (συνήθως Al) που είναι ικανό να μειώσει την ένταση της δέσμης στο μισό της αρχικής της τιμής. Το πάχος αυτό καλείται πάχος υποδιπλασιασμού (Half Value Layer – HVL)

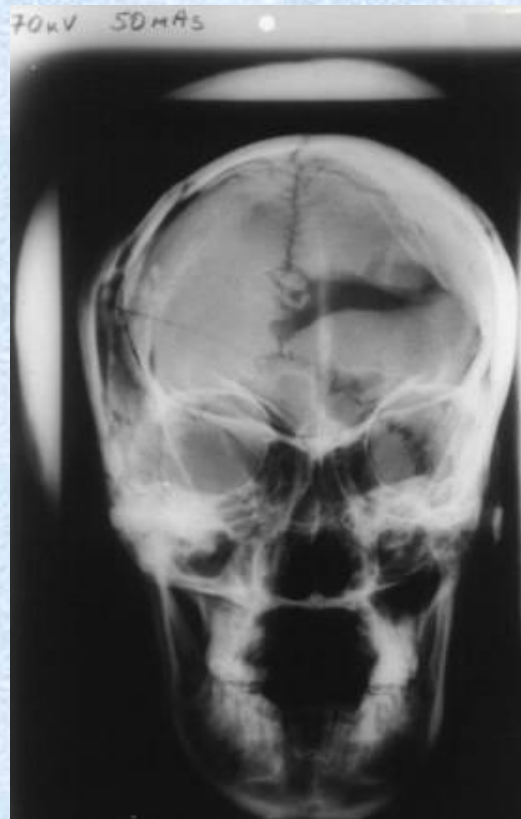
Επομένως $\mu \cdot HVL = 0.693$

Επίδραση υψηλής τάσης στην απεικόνιση

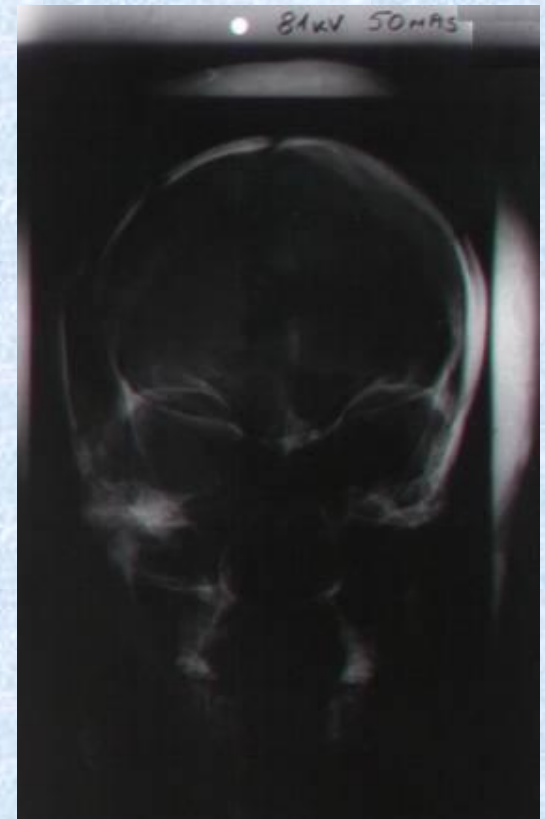
60 kV - 50 mAs



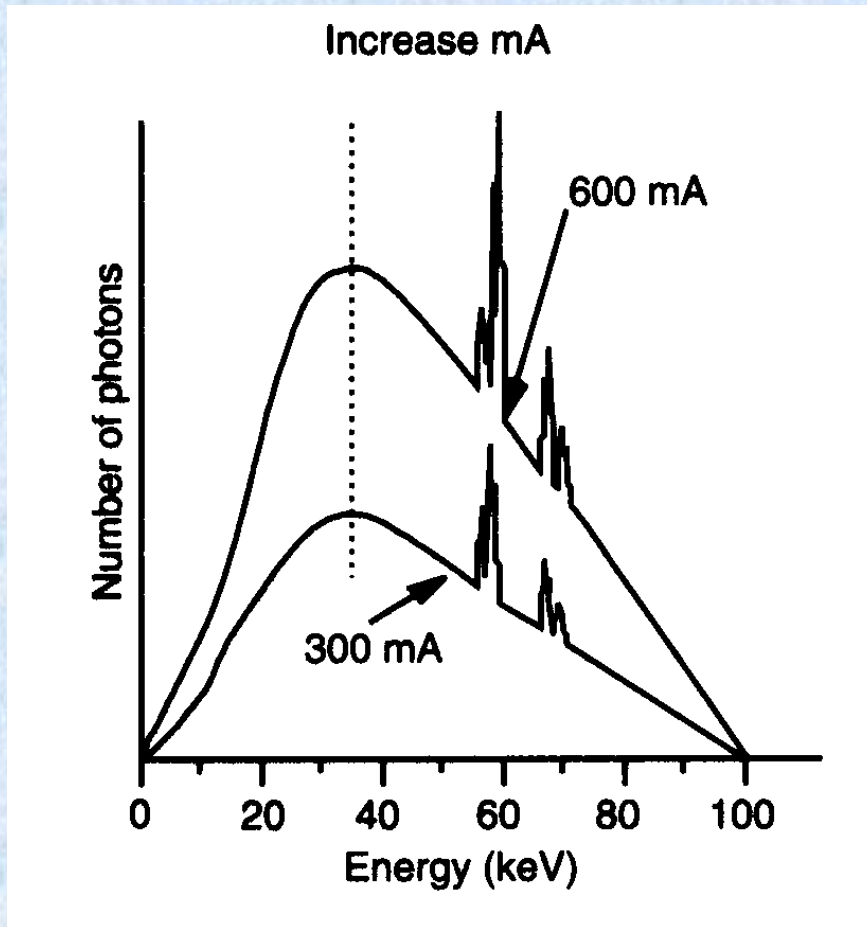
70 kV - 50 mAs



80 kV - 50 mAs



Φάσμα ακτίνων Χ: επίδραση έντασης ρεύματος και χρόνου έκθεσης



Ο αριθμός φωτονίων Χ που παράγονται κατά τη διάρκεια της ακτινοβολήσης είναι ευθέως ανάλογος με την ένταση ρεύματος της λυχνίας (mA) (πλήθος e^- που επιταχύνονται από την κάθοδο στην άνοδο).

Ο αριθμός φωτονίων Χ που παράγονται κατά τη διάρκεια της ακτινοβολήσης είναι ευθέως ανάλογος του χρόνου ακτινοβολήσης (ms έως min).

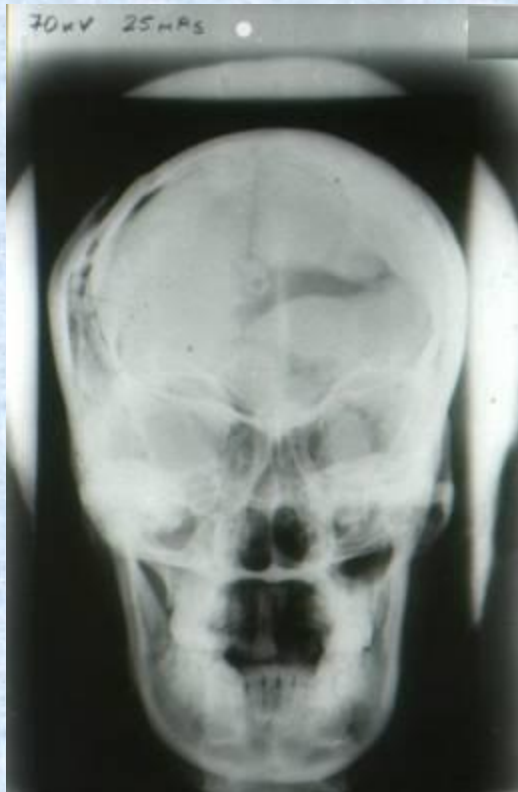
Ο αριθμός φωτονίων Χ που παράγονται κατά τη διάρκεια της ακτινοβολήσης είναι ανάλογος του γινομένου τους (mAs)

Η μέγιστη ενέργεια, καθώς και η μορφή του ενεργειακού φάσματος **δεν αλλάζει** (βλ. στικτές γραμμές).

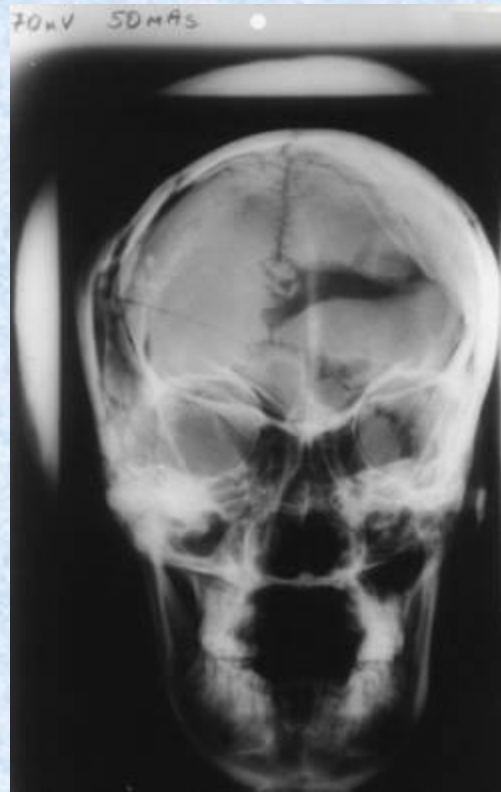
Η χαρακτηριστική ακτινοβολία είναι ανεξάρτητη της έντασης του ρεύματος της λυχνίας, αλλά η έντασή της αλλάζει.

Επίδραση έντασης ρεύματος στην απεικόνιση

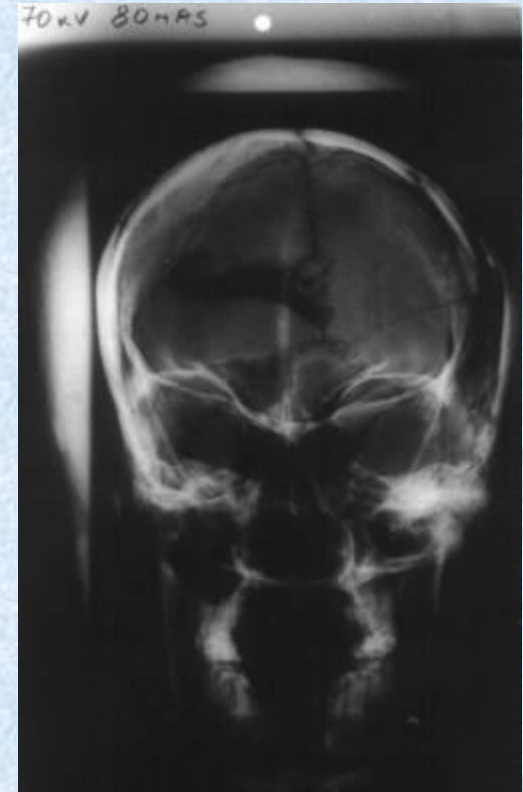
70 kV - 25 mAs



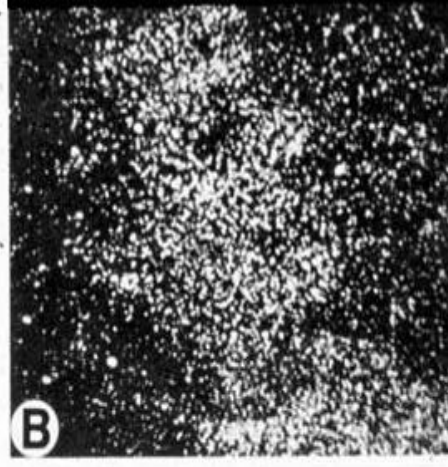
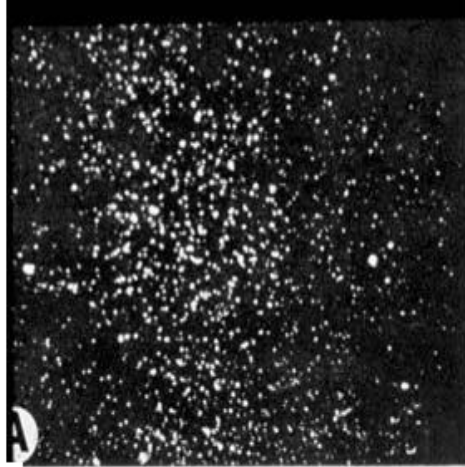
70 kV - 50 mAs



70 kV - 80 mAs



Επίδραση του αριθμού φωτονίων στη σύσταση εικόνας



Ανιχνευτές Εικόνας στην Προβολική Απεικόνιση με Ακτίνες Χ

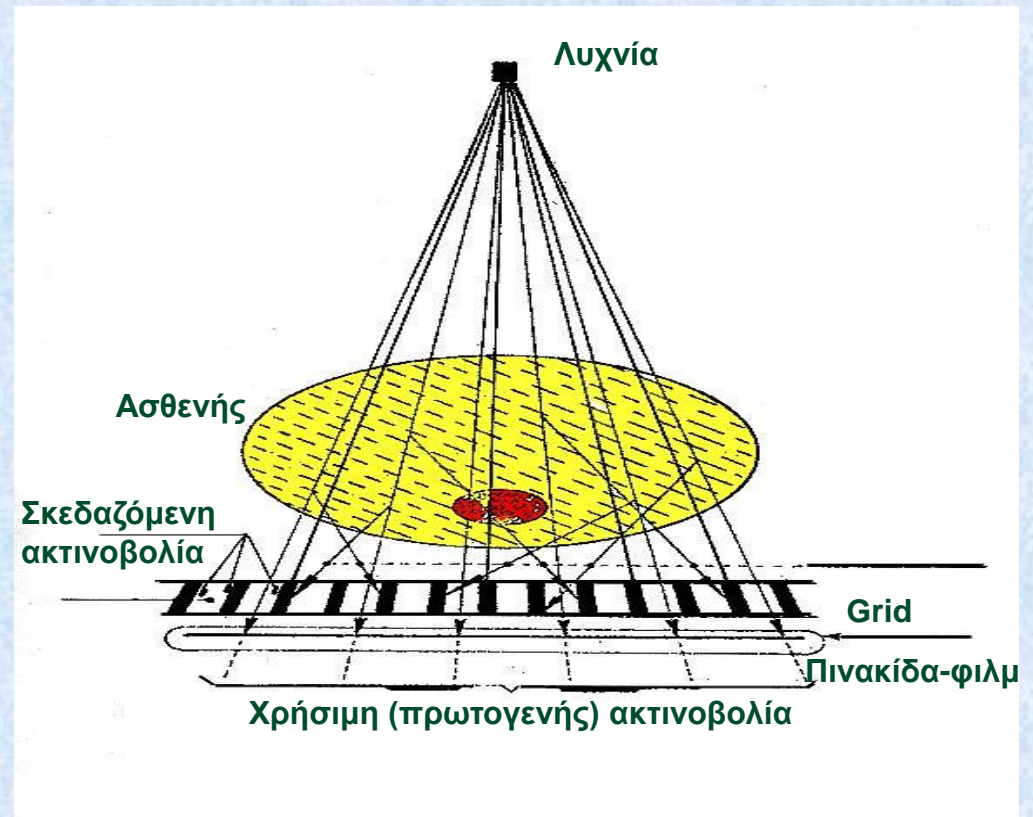
1. Ο «ιστορικός» ανιχνευτής
(ακτινογραφικό φιλμ)
2. Τεχνολογίες Ψηφιακών
Ανιχνευτών

Αντιδιαχυτικό διάφραγμα

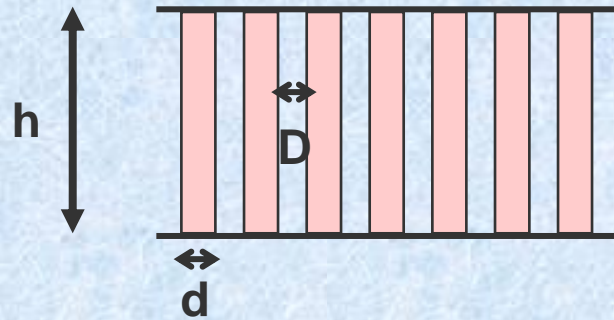
Χρησιμοποιείται για την μείωση της σκεδαζόμενης ακτινοβολίας η οποία είναι σημαντική για πάχος άσθηνή $> 10\text{cm}$.

Επιτρέπει τη διέλευση ακτίνων X που η κατεύθυνση τους είναι παράλληλη προς τις λωρίδες του διαφράγματος (μόλυβδος).

Μείωση της σκεδαζόμενης ακτινοβολίας αυξάνει την αντίθεση εικόνας.



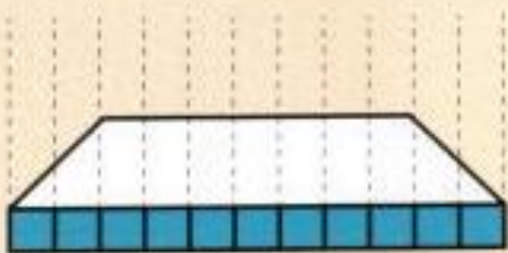
Παράμετροι αντιδιαχυτικού διαφράγματος



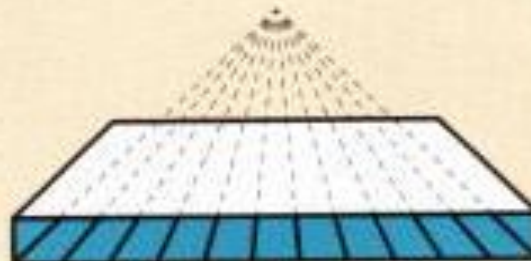
Λόγος $r = h/D$, ($5 < r < 16$)

Πυκνότητα λωρίδων (lines/mm) = $1 / (D+d)$

Διαπερατότητα πρωτογενούς ακτινοβολίας = $D / (D+d) \cdot 100$



Παράλληλο



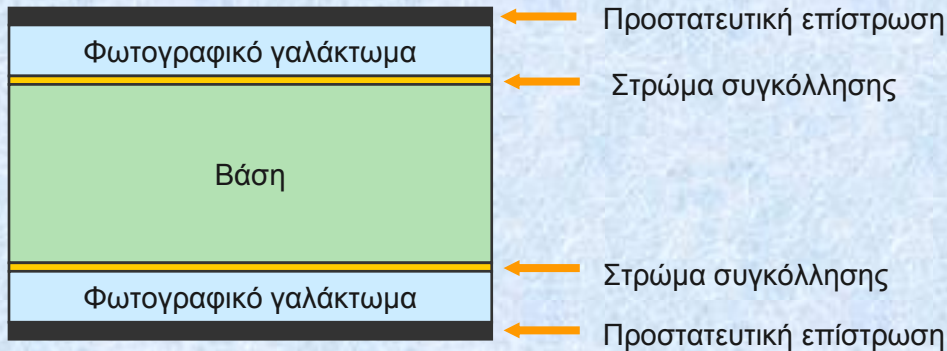
Εστιασμένο



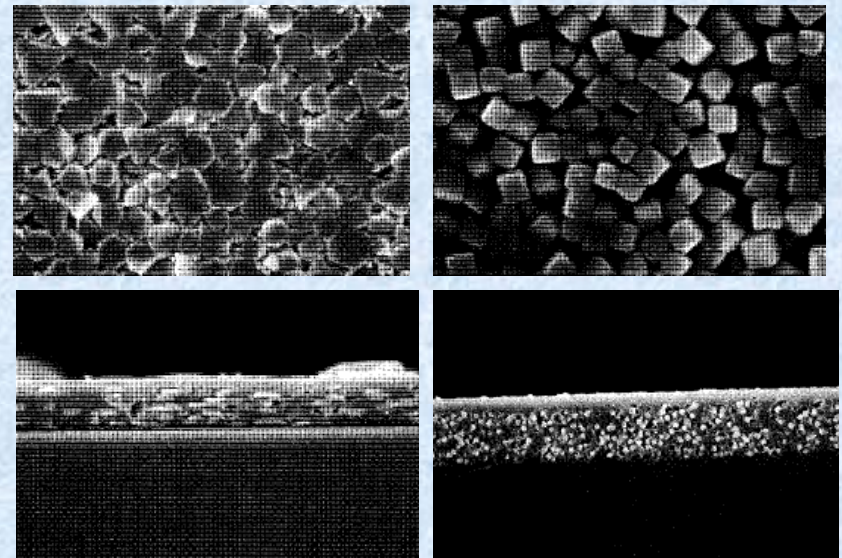
Διασταυρούμενο

Δομή ακτινογραφικού φιλμ

Τα οπτικά φωτόνια προσβάλουν το φιλμ και αντιδρούν χημικά με τους κόκκους AgBr (και AgI) του φιλμ. Κατά την εμφάνιση του φιλμ, απομακρύνονται οι κόκκοι AgBr (και AgI) που δεν αντέδρασαν, ενώ οι υπόλοιποι “μαυρίζουν” το φιλμ στα σημεία που επέδρασε η ακτινοβολία.

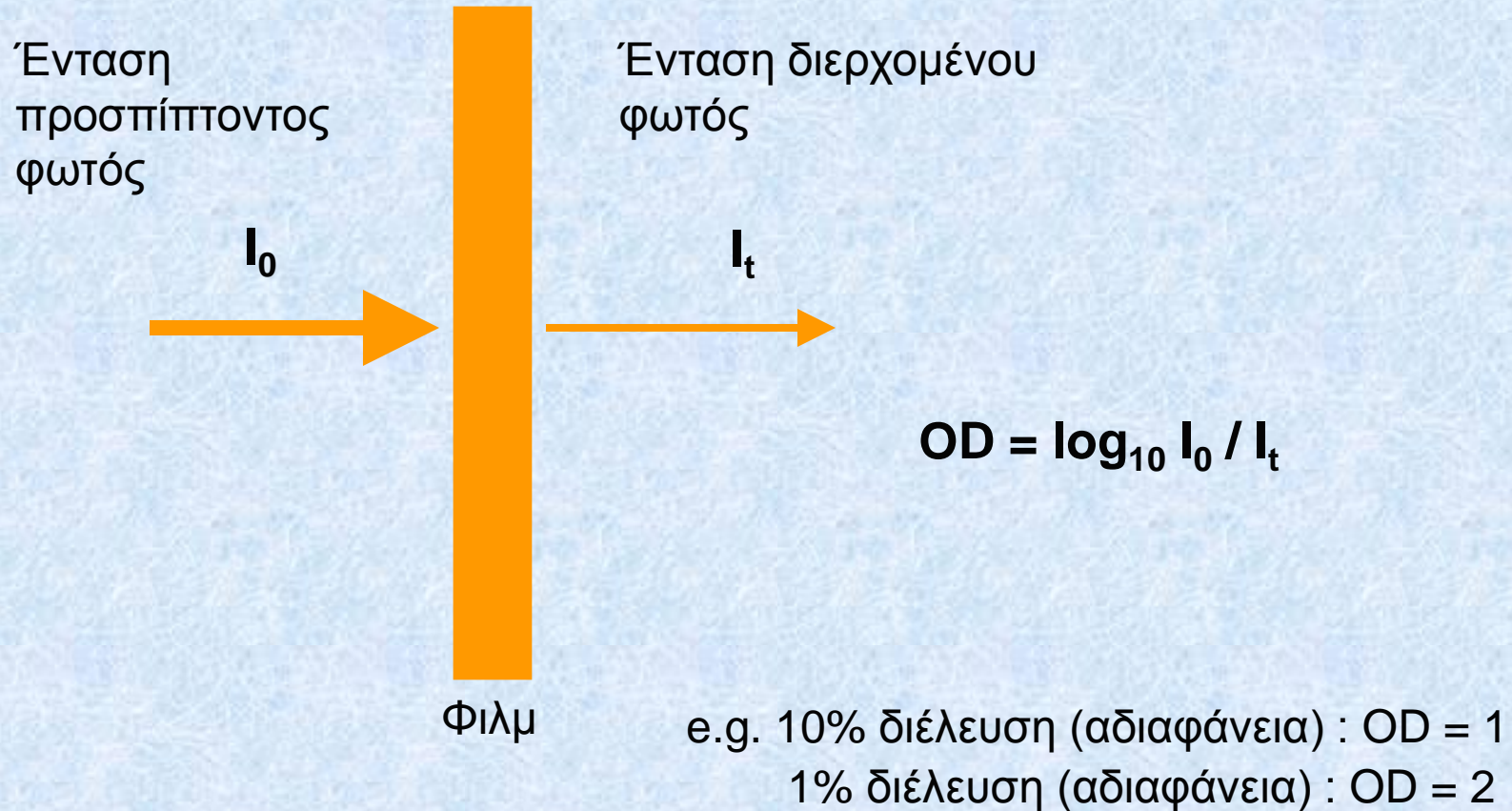


Φιλμ διπλής επίστρωσης



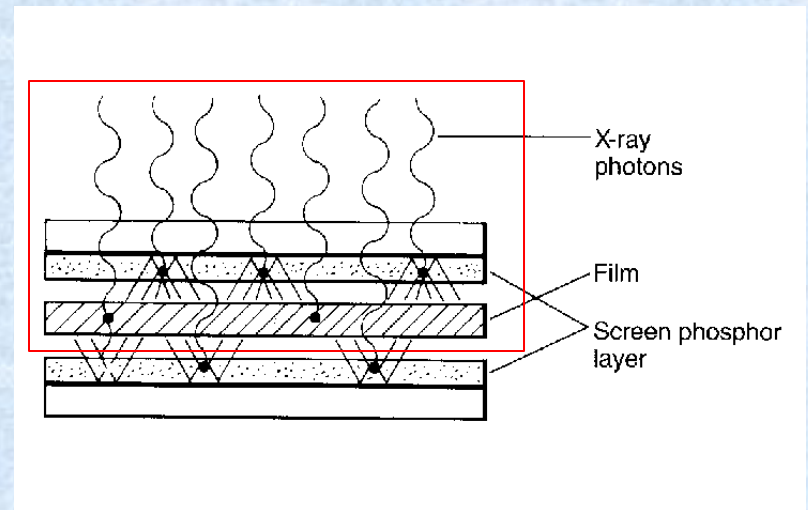
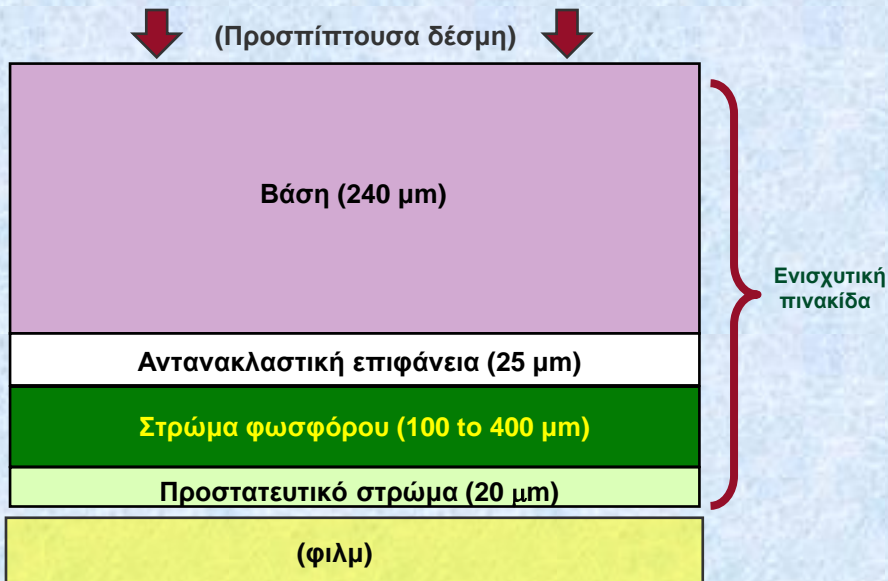
Κάτοψη και πλάγια όψη 2 φιλμ διαφορετικού σχήματος κόκκων.

Οπτική Πυκνότητα

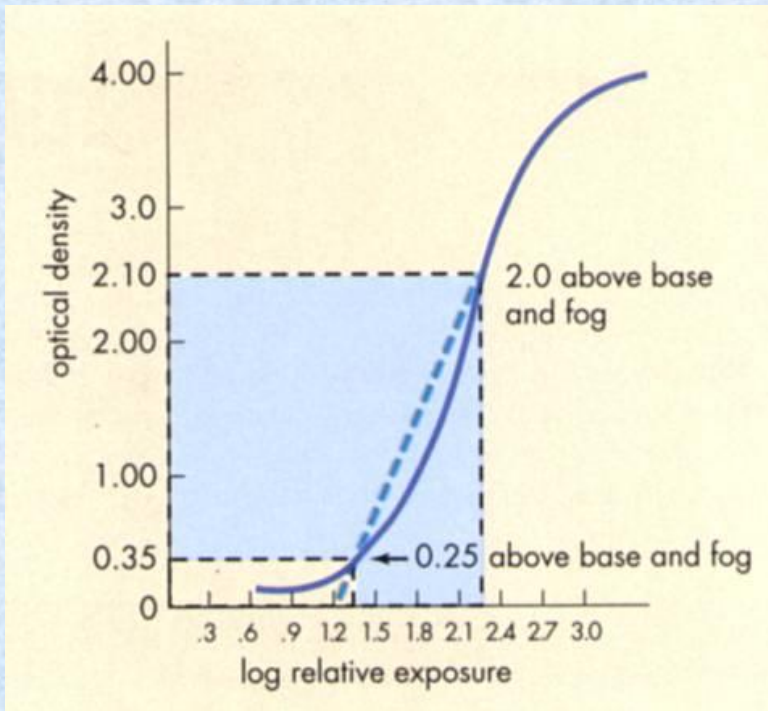


Ενισχυτική πινακίδα

Ο ρόλος της ενισχυτικής πινακίδας είναι η μετατροπή των φωτονίων X σε οπτικά φωτόνια μέσω του φαινομένου φωταύγειας και ειδικότερα του φθορισμού, καθώς και η ενίσχυση του σήματος.



Χαρακτηριστική καμπύλη φιλμ

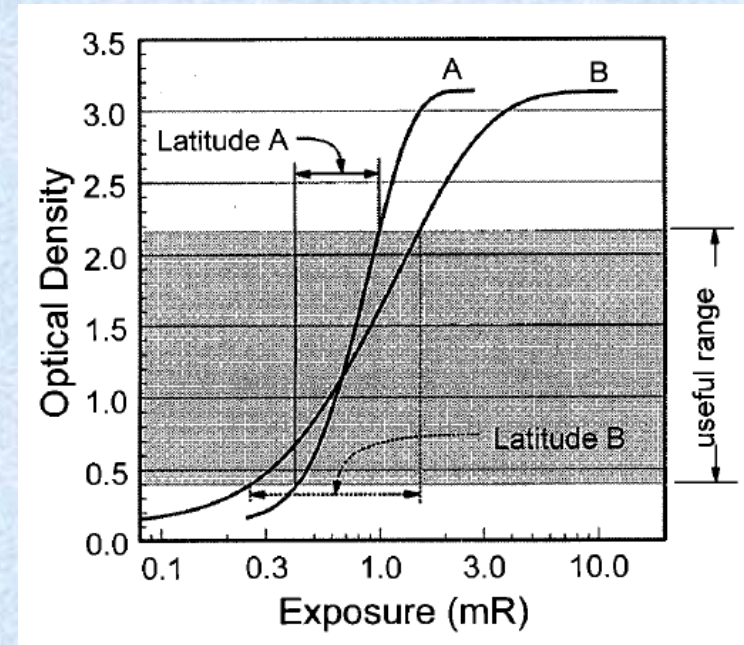
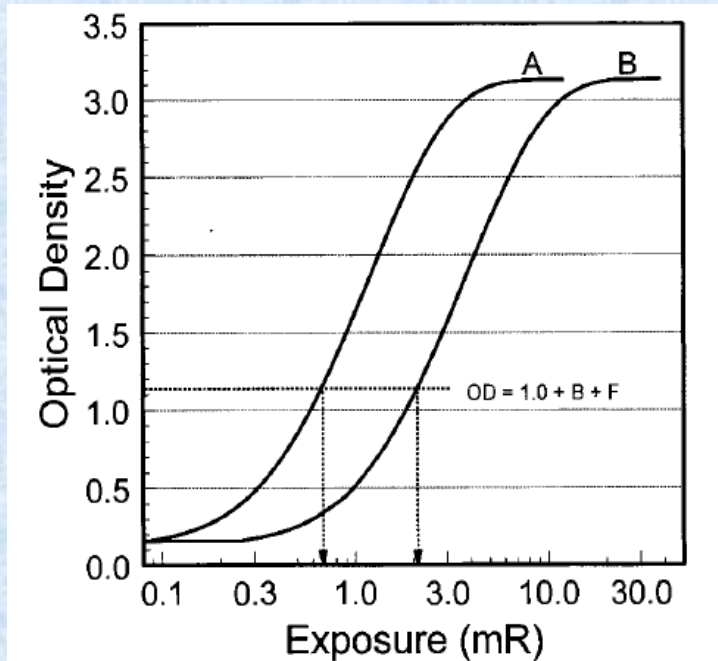


Μέση αντίθεση είναι η κλίση στο χρήσιμο εύρος OD του φιλμ
$$\gamma = (OD_{2.0} - OD_{0.25}) / (\log E_{2.0} - \log E_{0.25})$$

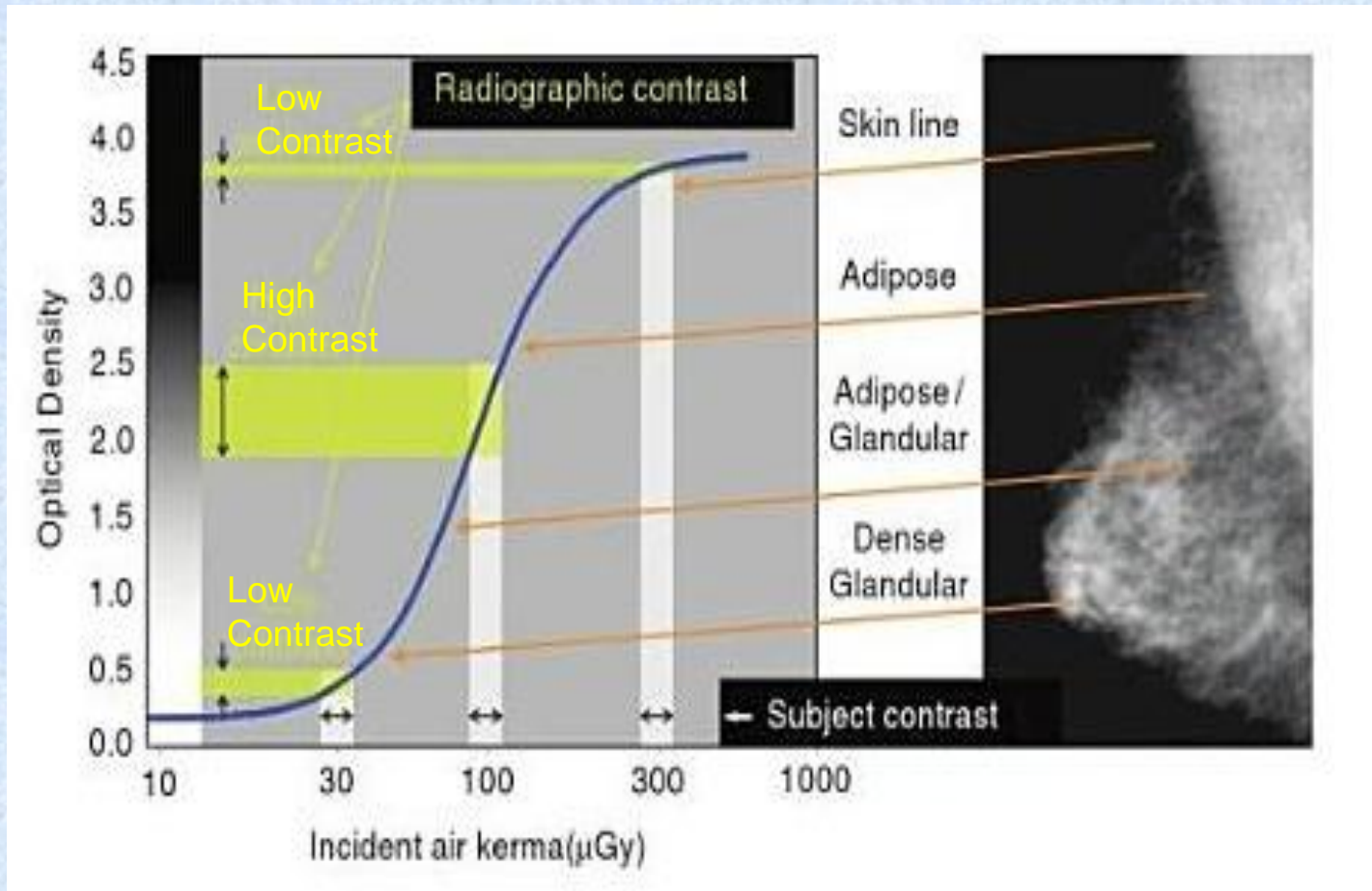
Εύρος (χρήσιμων εκθέσεων) είναι το $(\log E_{2.0} - \log E_{0.25})$

Έκθεση (Exposure): η ποσότητα των ιόντων που έχουν προκληθεί από την δέσμη στη στοιχειώδη μάζα αέρα.

Χαρακτηριστική καμπύλη φιλμ: ευαισθησία/ταχύτητα- εύρος

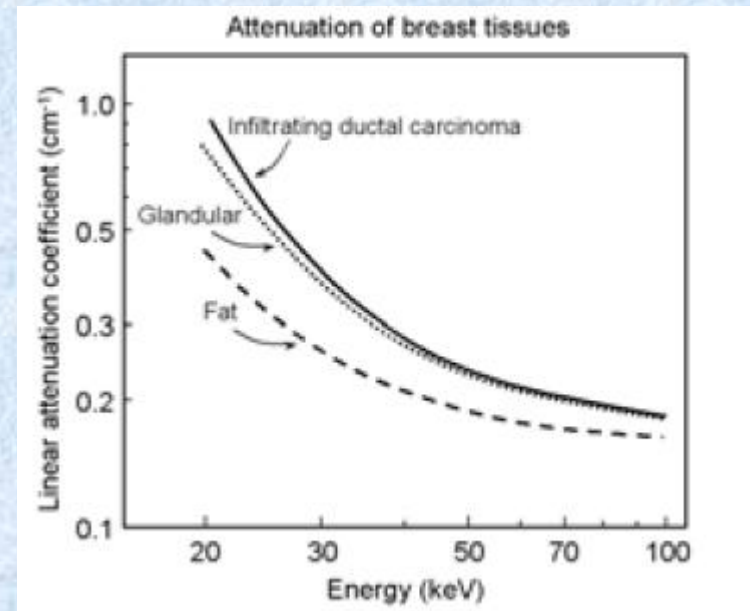
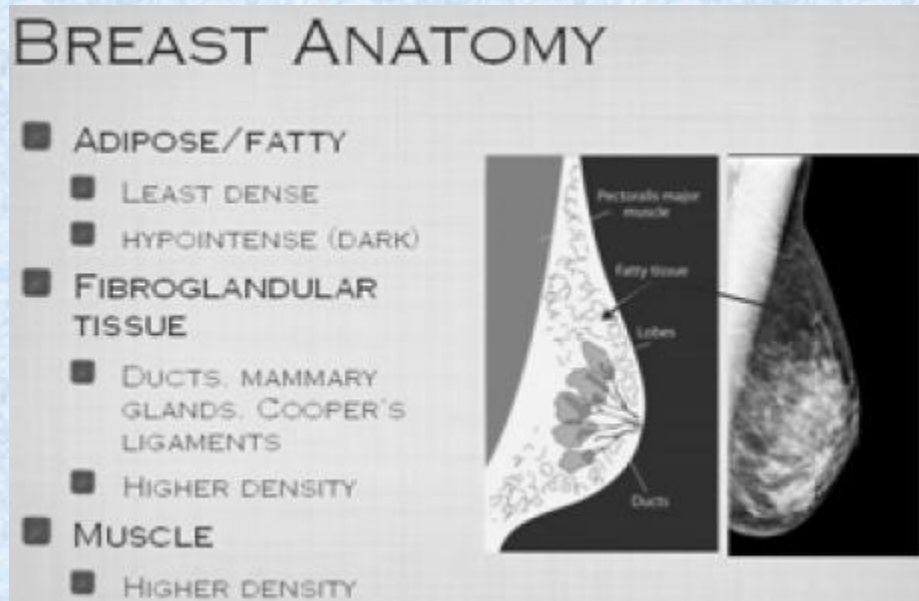


Χαρακτηριστική καμπύλη φιλμ: Αντίθεση μαστογραφικής απεικόνισης



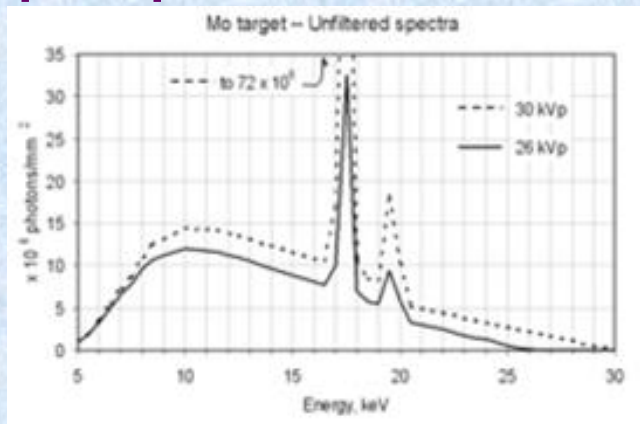
Μαστογραφική απεικόνιση με ακτίνες Χ

Απεικόνιση του μαστού με ακτίνες X: Μαστογραφία

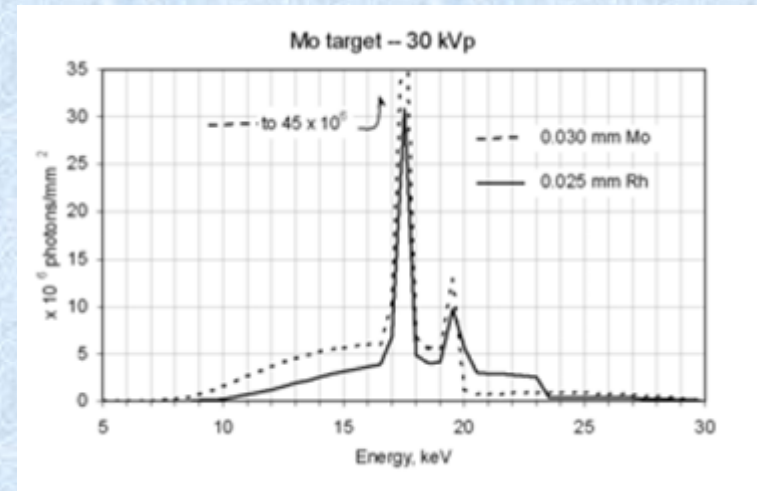


Η ανίχνευση του καρκίνου του μαστού, έχει ιδιαίτερες απαιτήσεις, καθώς οι διαφορές του γραμμικού συντελεστή εξασθένησης των διαφόρων ιστών που συναντώνται στο μαστό είναι μικρές και διαφοροποιούνται κυρίως σε χαμηλές ενέργειες (15-35 keV). Η ενέργεια της δέσμης ακτίνων X πρέπει να ρυθμιστεί ώστε να στοχεύει σε χαμηλότερες ενέργειες.

Διαμόρφωση φάσματος με χρήση εξωτερικών φίλτρων

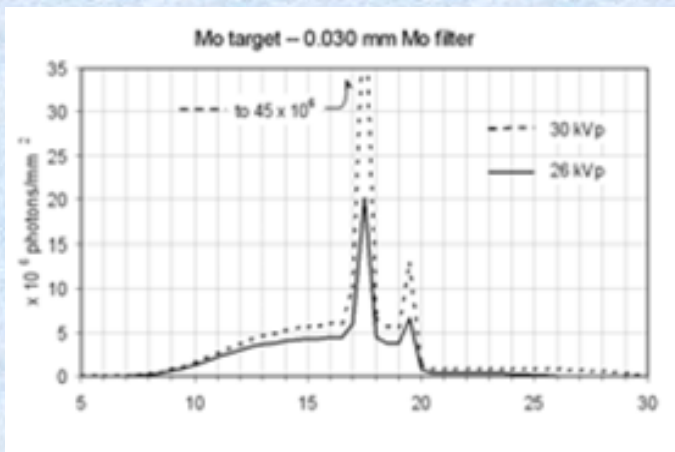


Φάσμα Mo χωρίς εξωτερικό φίλτρο για 2 τάσεις (25 και 30 kVp).



Φάσμα με **εξωτερικά** φίλτρα Mo ή Rh για τάση 30 kVp.

Το φίλτρο Rh παράγει φάσμα με υψηλότερη μέση ενέργεια και επομένως μεγαλύτερη διεισδυτικότητα από τον συνδυασμό Mo/Mo, και είναι αποδοτικότερο για την απεικόνιση μαστών με μεγάλο πάχος

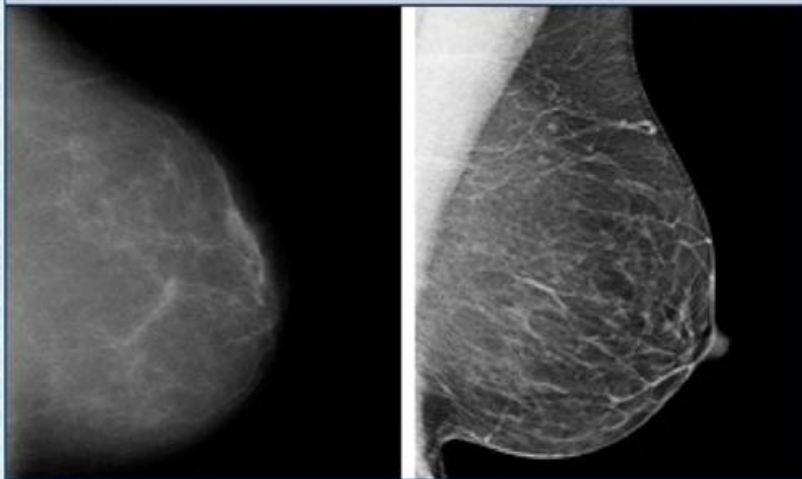


Φάσμα Mo με εξωτερικό φίλτρο Mo για 2 τάσεις (25 και 30 kVp).

Εξέλιξη τεχνολογιών απεικόνισης του μαστού με ακτίνες Χ: αναλογική/ψηφιακή, 2d-2.5d

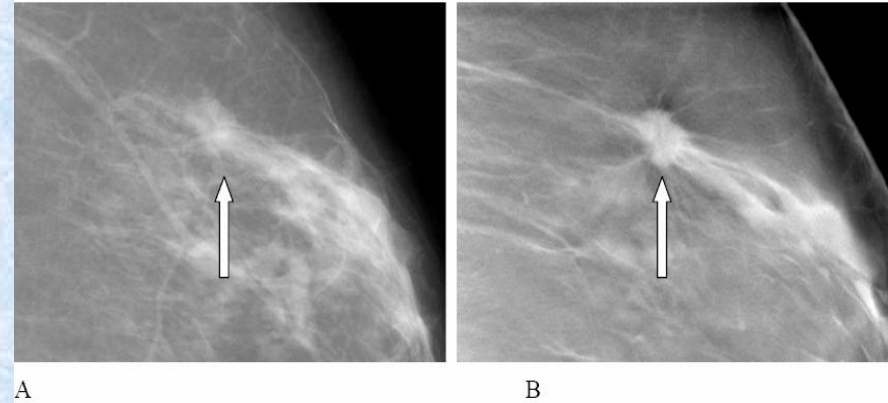
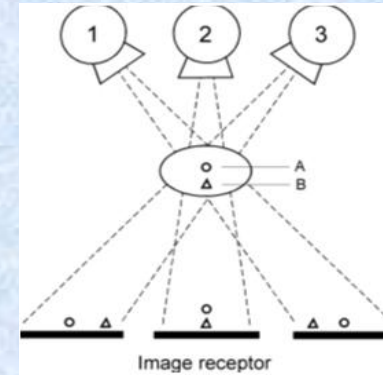
Αναλογική - Ψηφιακή
προβολική απεικόνιση

Figure 1. Breast Images Obtained with Film-Screen vs Digital Mammography



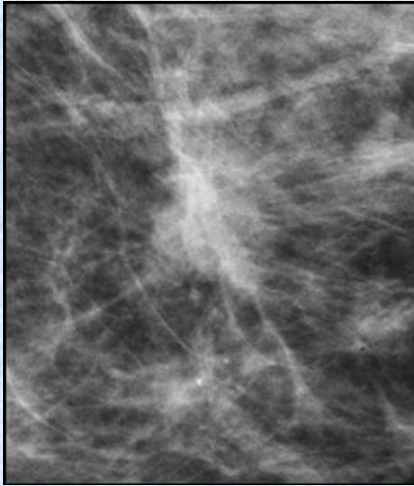
A traditional film-screen mammogram on the left, compared to a sharper, more detailed digital mammogram of the same breast, at right. Reprinted with permission from University of Maryland Medical Center. The Breast Center. Available at: http://www.umm.edu/breastcenter/digital_mammography.htm. Accessed July 21, 2011.²²

Τομοσύνθεση

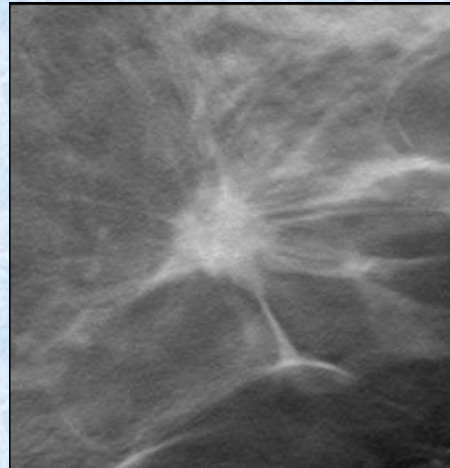


Περιοχές ενδιαφέροντος συμβατικής πλάγιας μαστογραφικής λήψης και τομής (1mm) συστήματος τομοσύνθεσης . (A) υποψία κακοήθειας (βέλος), (B) επιβεβαίωση επιθετικού καρκίνου, λόγω ακτινικών προσεκβολών. (adapted from: Mark A. Helvie, Radiol Clin North Am. 2010 September ; 48(5): 917–929)

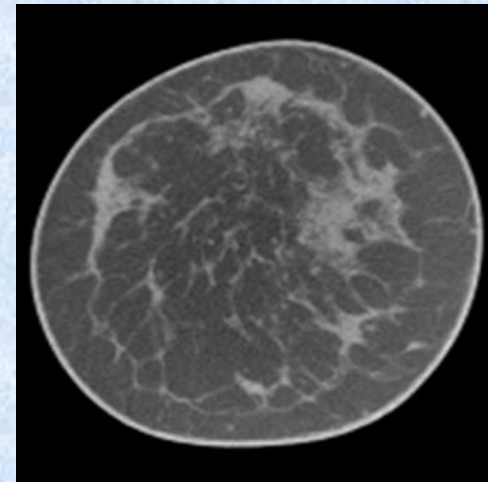
Εξέλιξη τεχνολογιών απεικόνισης του μαστού με ακτίνες Χ: 2d-2.5d-3d



Ψηφιακή
μαστογραφία



Τομοσύνθεση



Υπολογιστική
Τομογραφία
μαστού

Βιβλιογραφικές πηγές

1. B. Wolbarst, Physics of Radiology, chapters 2-4, Appleton and Lange 1993, Norwalk, Connecticut, USA.
2. W. Huda and R. M. Slone, Review of Radiologic Physics, chapters 2-5, Williams and Wilkins 1995, Media, PA, USA.
3. Beutel J., Kundel H.L., Van Metter R.L. (eds.), Handbook of Medical Imaging, Volume I: Physics and Psychophysics, chapter 1: X-ray Production, Interaction and Detection in Diagnostic Imaging, J. M. Boone, p3-77, SPIE Press 2000, Bellingham, Washington., USA.
4. Andrew Webb, Introduction to Biomedical Imaging, Chapter 1: X-ray Imaging and Computed Tomography , p1-56, John Wiley & Sons, 2003, Hoboken, NJ, USA.
5. J T Bushberg, J A Siebert, E M Leidholdt, J M Boone The Essential Physics of Medical Imaging, 3rd edition, Chapters 3, 6, 8, Lippincott, Williams & Wilkins, 2012.

Παράρτημα i

Έκθεση

Έκθεση: το άθροισμα όλων των ηλεκτρικών φορτίων (ΔQ) όλων των ιόντων του ίδιου προσήμου, που έχουν παραχθεί μέσα σε ένα στοιχειώδη όγκο αέρα μάζας Δm .

$$X = \Delta Q / \Delta m$$

Προϋπόθεση: Όλα τα φορτία να έχουν σταματήσει πλήρως.

Ορίζεται μόνο για ακτινοβολίες X και γ στον αέρα, ενέργειας $< 2 \text{ MeV}$.

Μονάδες: 1 C/kg (SI) , $1 \text{ R (Roentgen)} = 2.58 \times 10^{-4} \text{ C / kg}$
(Παλαιά μονάδα)

Παράρτημα ii

Απορροφώμενη Δόση

Εκφράζει το ποσό της ενέργειας (ΔE) της ιοντίζουσας ακτινοβολίας που έχει μεταδοθεί σε ένα υλικό στοιχειώδους μάζας Δm .

$$D = \Delta E / \Delta m$$

Μονάδες: 1 Gy (gray)=1 J / kg) (SI)

1 rad = 100 erg/g)
(παλαιά μονάδα)