

ΑΚΤΙΝΟΓΡΑΦΙΑ – ΑΚΤΙΝΟΓΡΑΦΙΚΟ ΜΗΧΑΝΗΜΑ

Ευάγγελος Παντελής
Αναπ. Καθ. Ιατρικής Φυσικής
Εργαστήριο Ιατρικής Φυσικής
Ιατρική Σχολή Αθηνών

<http://eclass.uoa.gr/courses/MED1114>

ΙΑΤΡΙΚΗ ΦΥΣΙΚΗ – Διαγνωστικές και θεραπευτικές εφαρμογές
ακτινοβολιών : Κεφάλαιο 6

Στόχοι κεφαλαίου

1. Κατανόηση της αρχής λειτουργίας της λυχνίας ακτίνων - Χ
2. Περιγραφή των βασικών μερών ενός ακτινολογικού μηχανήματος
3. Κατανόηση των βασικών παραμέτρων μιας ακτινολογικής εξέτασης (kV, mA, s)
4. Περιγραφή των βασικών χαρακτηριστικών που προσδιορίζουν την ποιότητα της ακτινολογικής εικόνας και τους παράγοντες που την επηρεάζουν
5. Απαρίθμηση βασικών μέτρων ακτινοπροστασίας

Σύντομη ιστορική αναδρομή

❑ 8 Νοεμβρίου 1895, Wilhelm Roentgen

- Παρατήρησε ότι κάποιες ακτίνες διαπερνούν το σώμα αλλά όχι τα μέταλλα.
- Οι ακτίνες που μέχρι τότε ήταν άγνωστες ονομάστηκαν «ακτίνες-X»

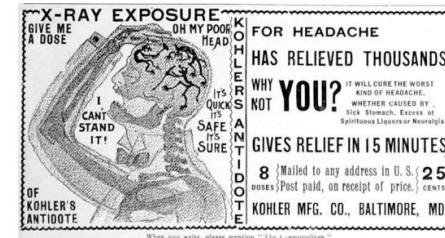


❑ Η πρώτη Ιατρική χρήση των ακτίνων-X έγινε από τον Roentgen όταν έβγαλε την πρώτη ακτινογραφία του χεριού της γυναίκας του



❑ Η ικανότητα των ακτίνων-X να αποτυπώνουν εσωτερικές δομές του σώματος οδήγησε στην ταχεία εισαγωγή τους σε κλινικό περιβάλλον από την αμέσως επόμενη χρονιά (1896)

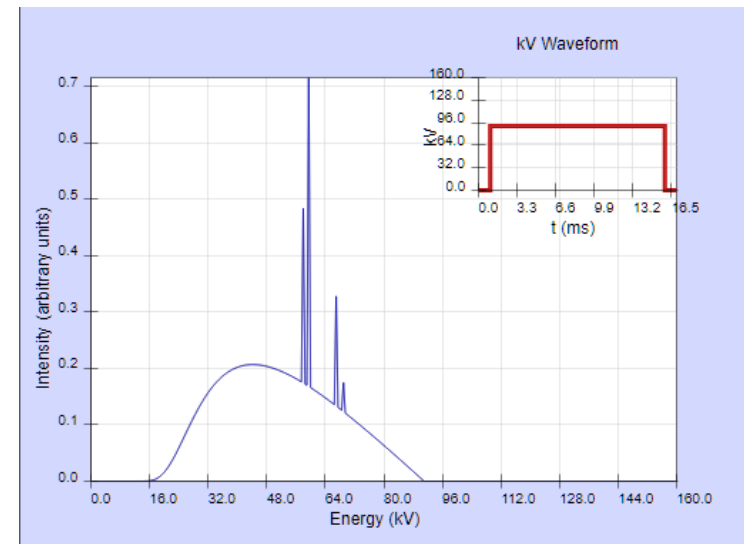
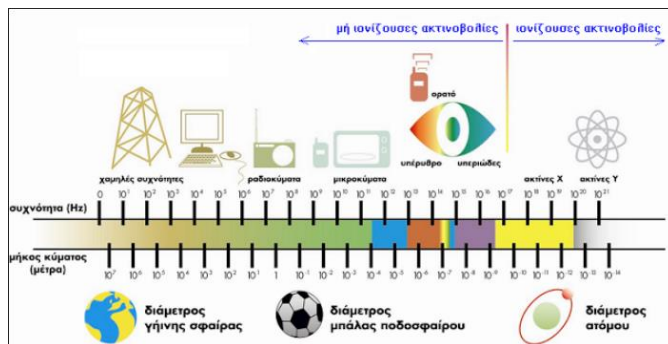
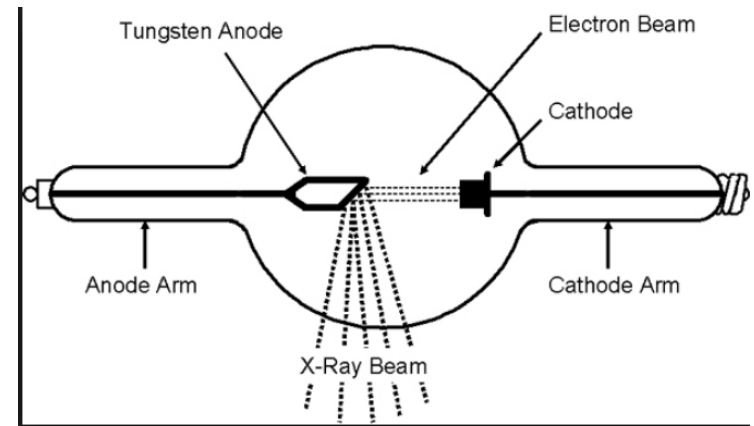
❑ Αρχικά ακτινογραφίες διεξάγονταν από Φυσικούς, Ιατρούς, Νοσοκόμους, Μηχανικούς ακόμα και από Φωτογράφους!



❑ Με τα χρόνια η ειδικότητα της ακτινολογίας μεγάλωσε γύρω από αυτή την νέα τεχνολογία και σήμερα περιλαμβάνει τεχνικές όπως της κλασικής ακτινογραφίας, της ακτινοσκόπησης, μαστογραφίας, της αξονικής τομογραφίας, κ.α.

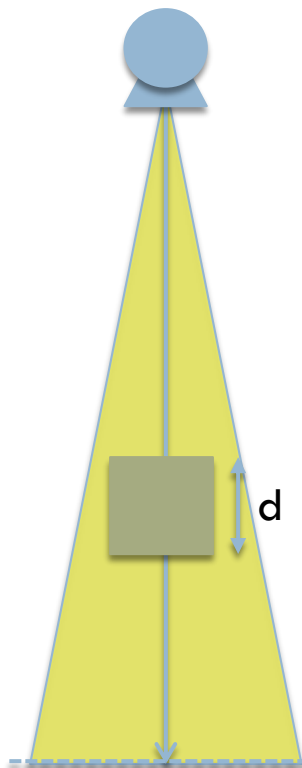
Αρχή λειτουργίας λυχνίας ακτίνων-Χ

- ❑ Ηλεκτρόνια επιταχύνονται από μια διαφορά δυναμικού
- ❑ Προσπίπτουν σε μεταλλική άνοδο
- ❑ Κατά την επιβράδυνση τους στην άνοδο η ενέργειά τους μετατρέπεται κυρίως σε θερμική και σε εκπομπή ακτινοβολίας Χ (Συνεχές φάσμα)
- ❑ Ταυτόχρονα διεγείρουν ηλεκτρόνια της ανόδου τα οποία κατά την αποδιέγερσή τους εκπέμπουν επίσης ακτινοβολία Χ συγκεκριμένων ενεργειών (διακριτό φάσμα)



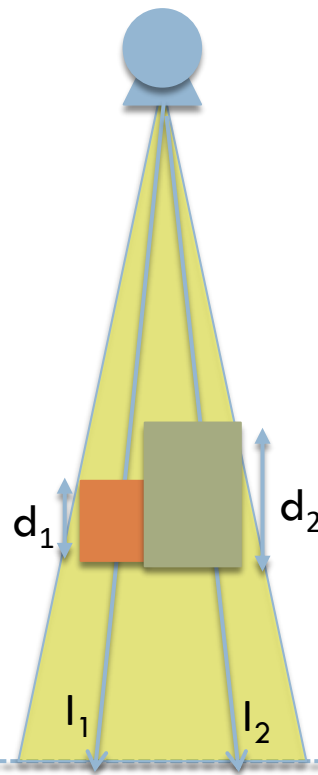
Φυσική της ακτινογραφίας

Λυχνία Ακτίνων-x

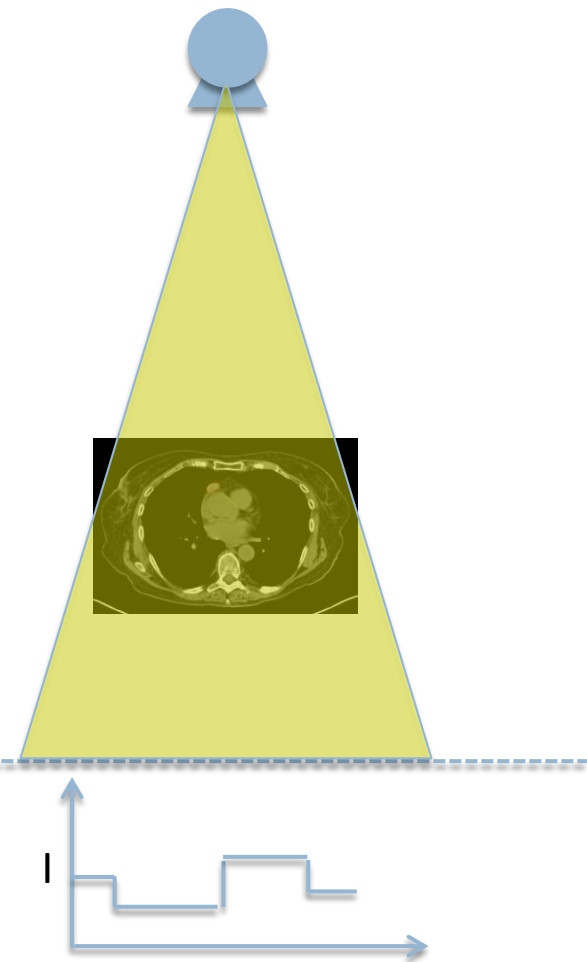


$$I = I_0 e^{-m(E,Z,r) \cdot d}$$

Λυχνία Ακτίνων-x



Λυχνία Ακτίνων-x



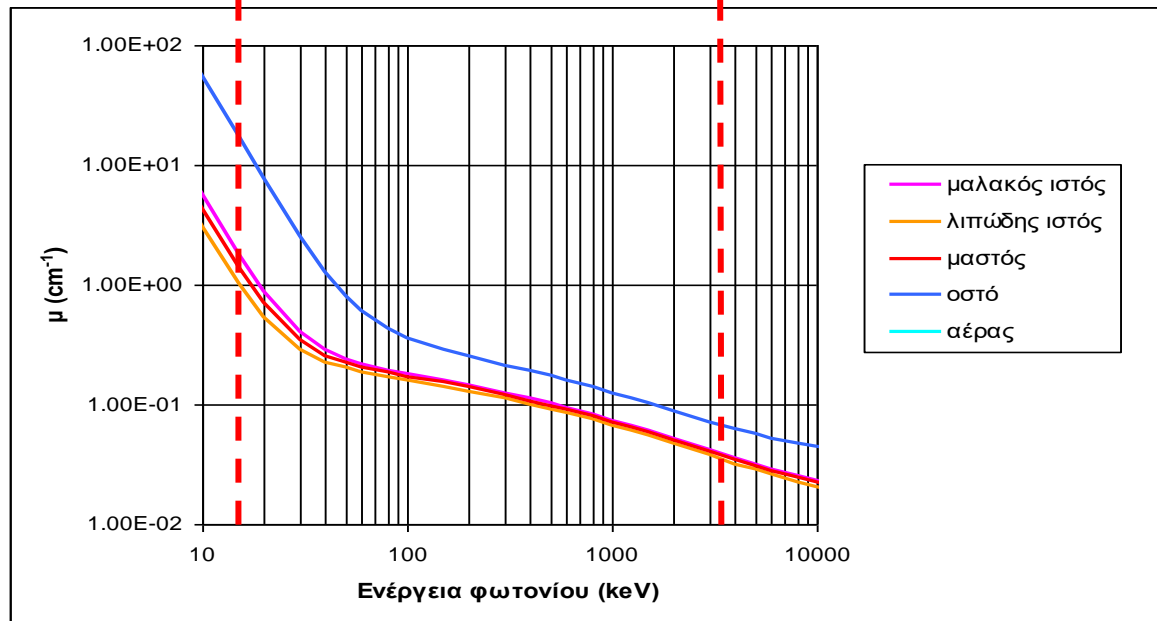
Φυσική της ακτινογραφίας

E=30 keV

αέρας: 0,002, $P_{\alpha\lambda\lambda}(1\text{cm}) \sim 0$
ιστός: 0,40, $P_{\alpha\lambda\lambda}(1\text{cm}) = 0,33$
οστό: 2,56, $P_{\alpha\lambda\lambda}(1\text{cm}) = 0,92$
οστό: 2,56, $P_{\alpha\lambda\lambda}(0,1\text{cm}) = 0,23$

E=1250 keV

αέρας: 0,00008, $P_{\alpha\lambda\lambda}(1\text{cm}) \sim 0$
ιστός: 0,02, $P_{\alpha\lambda\lambda}(1\text{cm}) = 0,02$
οστό: 0,18, $P_{\alpha\lambda\lambda}(1\text{cm}) = 0,16$
οστό: 0,18, $P_{\alpha\lambda\lambda}(0,1\text{cm}) = 0,02$



Ακτινογραφικό σύστημα

□ Αποτελείται από :

1. Κεφαλή

- Λυχνία ακτίνων-Χ
- Κιβώτιο διαφραγμάτων

2. Γεννήτρια υψηλής τάσης

3. Εξεταστική τράπεζα

4. Κονσόλα χειρισμού

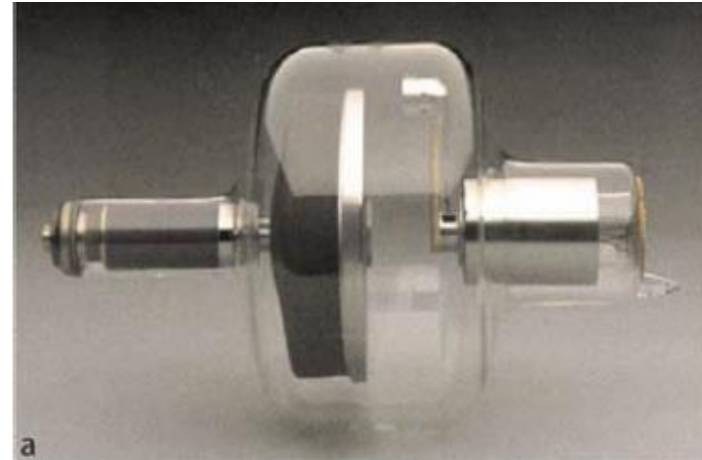
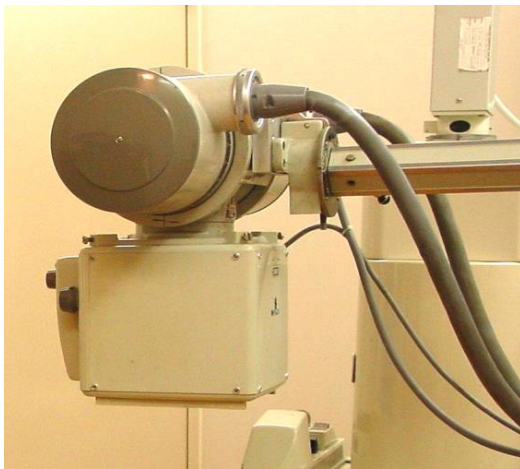
5. Αντιδιαχυτικό διάφραγμα

6. Ανιχνευτής

- Ακτινολογικό Φιλμ – Ενισχυτική πινακίδα
- Ψηφιακός ανιχνευτής



Κεφαλή: Λυχνία ακτίνων-Χ



Κύρια μέρη λυχνίας :

1. Κάθοδος

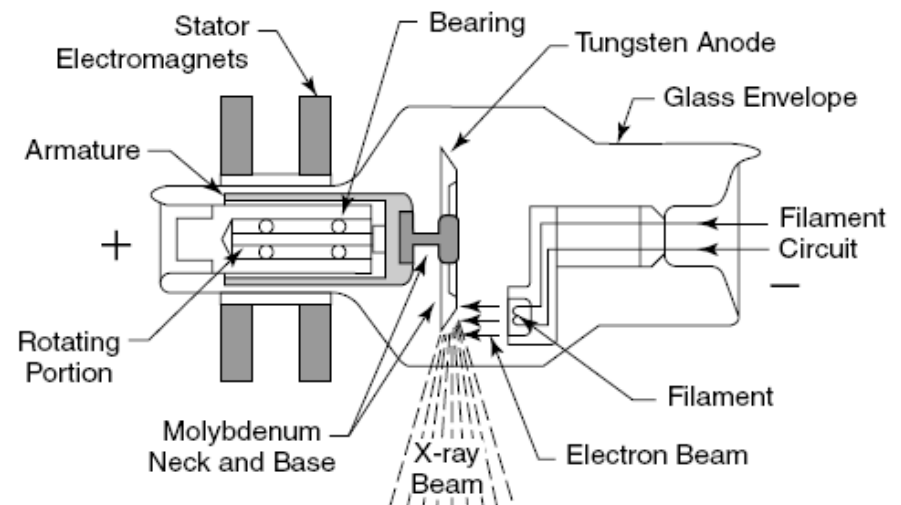
- Θερμαινόμενο νήμα βολφραμίου
- Θερμιονική εκπομπή

2. Περιστρεφόμενη άνοδος

3. Γυάλινο περίβλημα

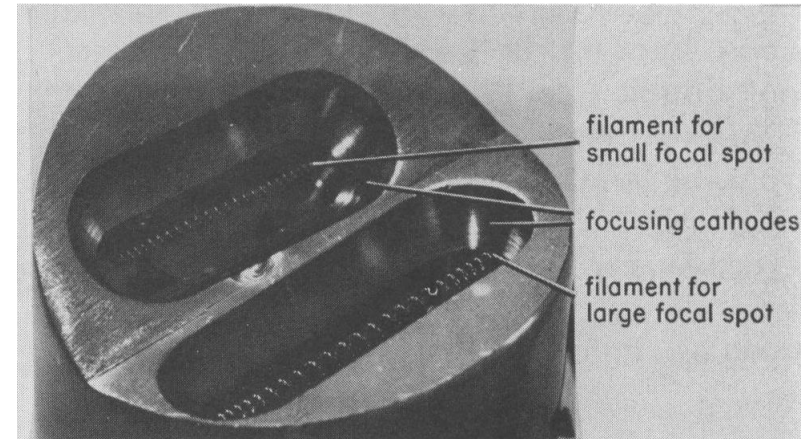
- Εξασφαλίζει την ύπαρξη κενού ώστε να μην επιβραδύνονται τα ηλεκτρόνια πριν προσκρούσουν στην άνοδο

4. Μεταλλικό κέλυφος



Λυχνία ακτίνων- Χ κατασκευαστικά χαρακτηριστικά

- ❑ Υλικό και γεωμετρία καθόδου?
- ❑ Υλικό και γεωμετρία ανόδου?
- ❑ Υλικό κελύφους?



Λυχνία ακτίνων-Χ: κάθοδος

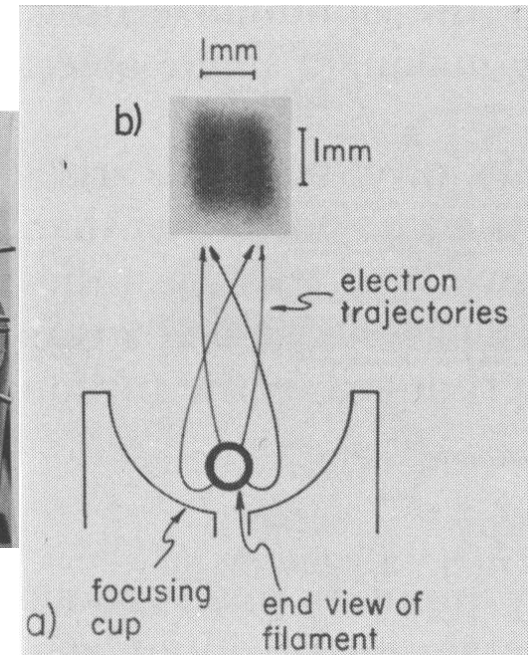
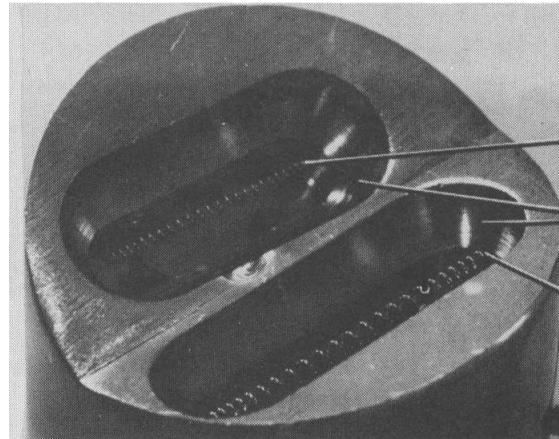
- Παραγωγή e^- ;

$$J \text{ (A/m}^2\text{)} = cT^2 e^{-W/kT}$$

- $V < 10 \text{ V} / I < 7 \text{ A}$

- Υλικό;

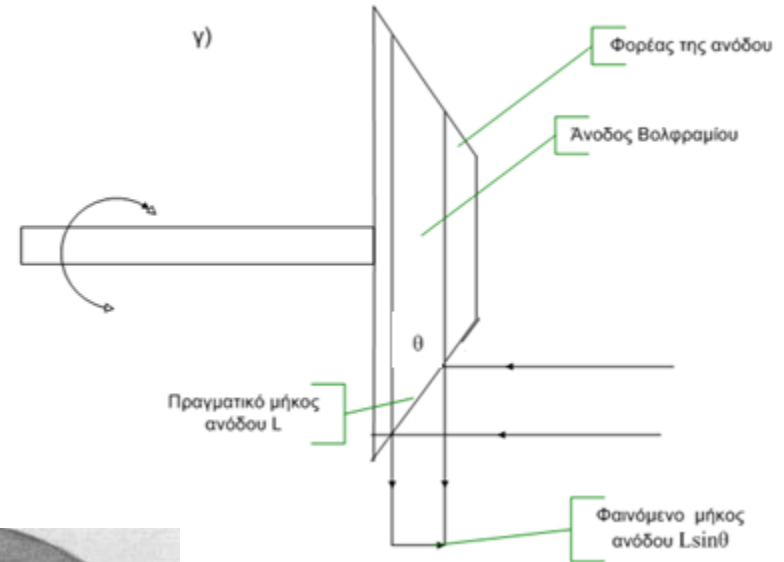
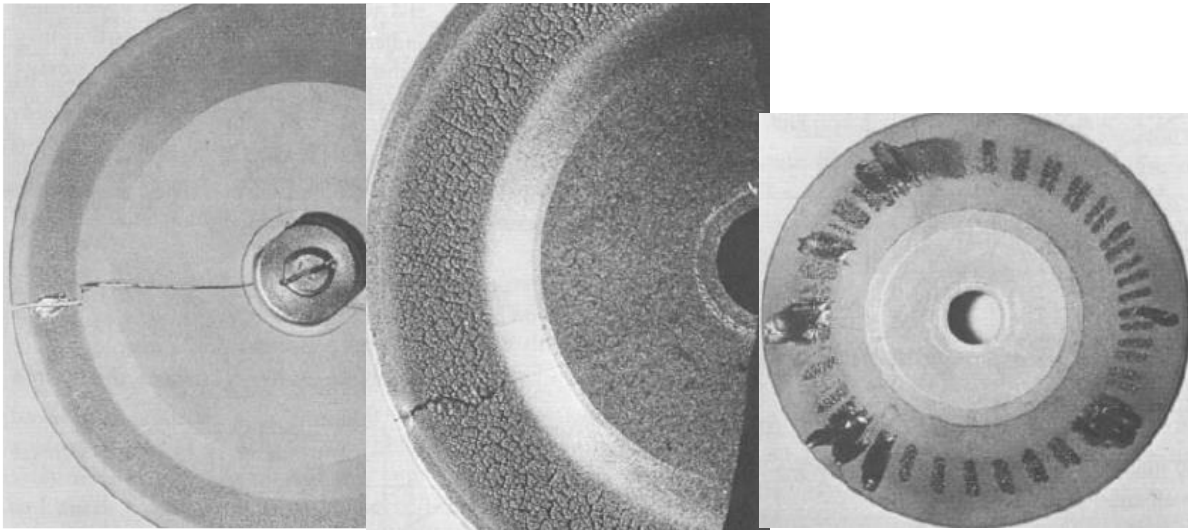
- Γεωμετρία;



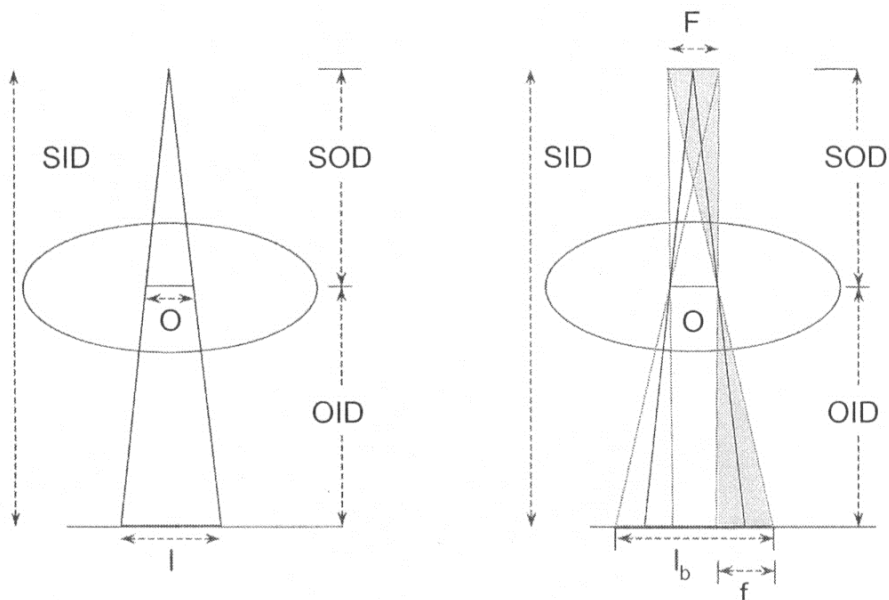
Λυχνία ακτίνων-Χ: άνοδος (1)

kV	Heat (%)	X Rays (%)
60	99.5	0.5
200	99	1.0
4000	60	40

- Υλικό;
- Γεωμετρία;



Λυχνία ακτίνων-Χ: άνοδος (2)



Μικρή έναντι μεγάλης εστίας για τα ίδια στοιχεία λήψης



50kV, 7mAs
Μικρή εστία
(0,6 mm)



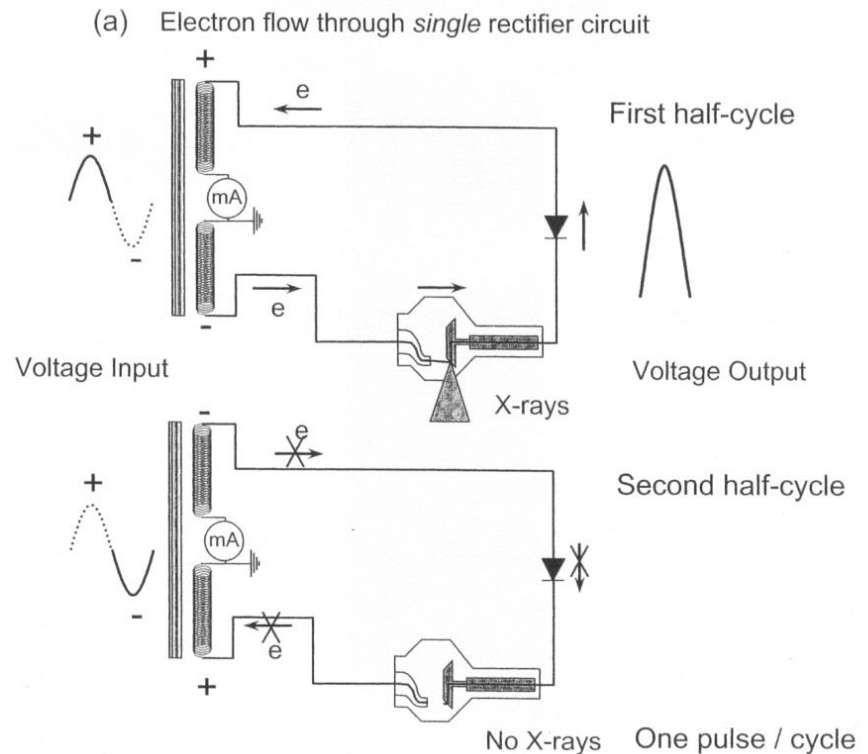
50kV, 7mAs
Μεγάλη εστία
(1,2 mm)

Λυχνία ακτίνων-Χ: γεννήτρια υψηλής τάσης

□ Απαιτείται μετασχηματισμός και ανόρθωση

Ημι-ανόρθωση

(1 παλμός ανά περίοδο)

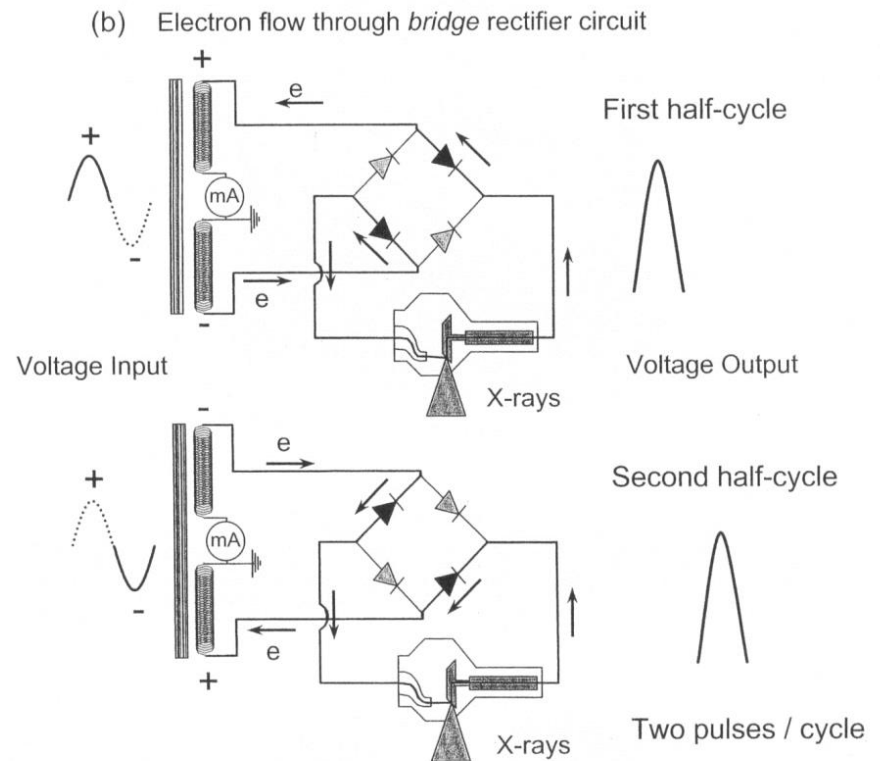


Λυχνία ακτίνων-Χ: γεννήτρια υψηλής τάσης

□ Απαιτείται μετασχηματισμός και ανόρθωση

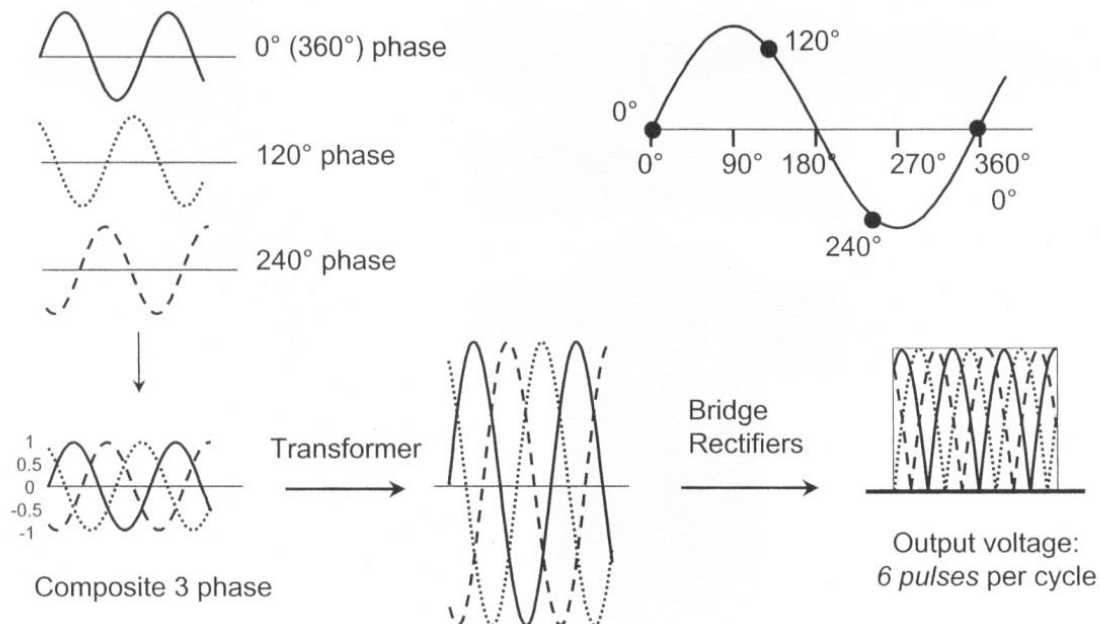
Πλήρης ανόρθωση

(2 παλμοί ανά περίοδο)

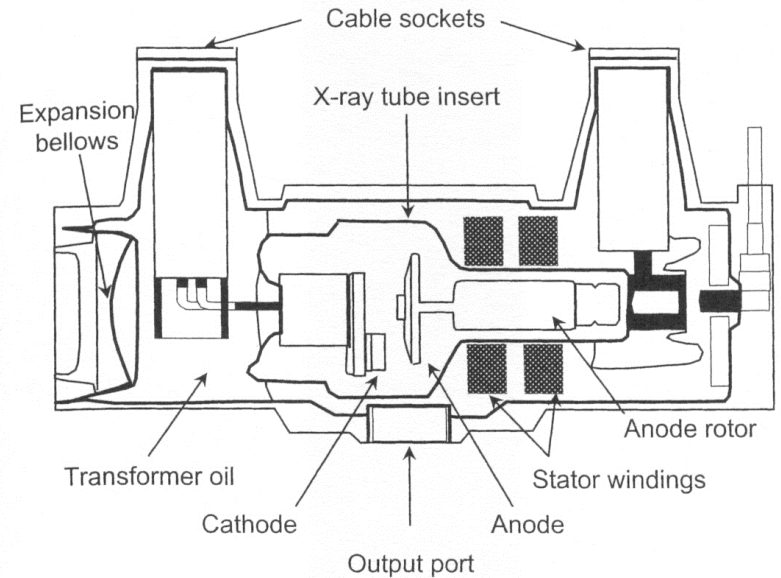
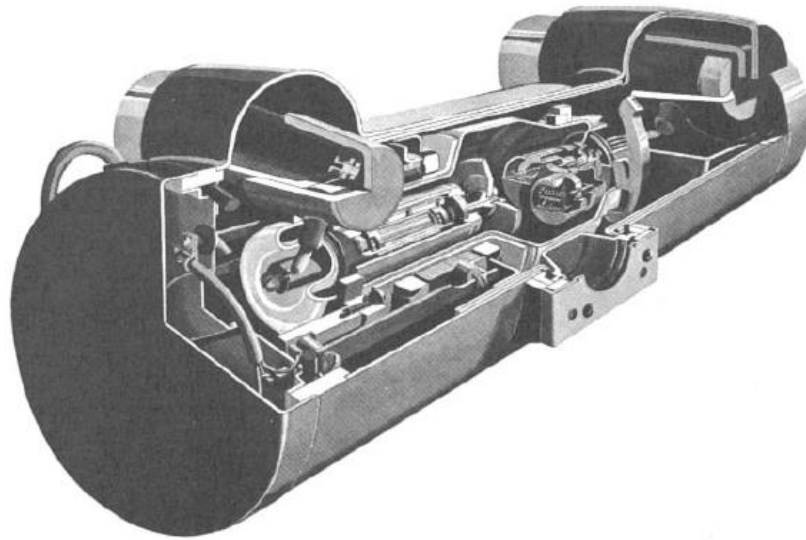


Λυχνία ακτίνων x: γεννήτρια υψηλής τάσης

- Απαιτείται μετασχηματισμός και ανόρθωση
Τριφασικό ρεύμα (6 παλμοί ανά περίοδο)



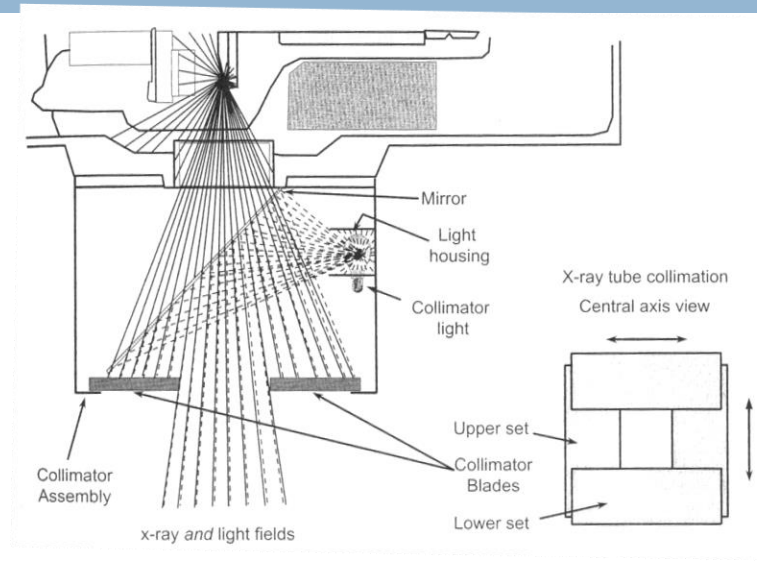
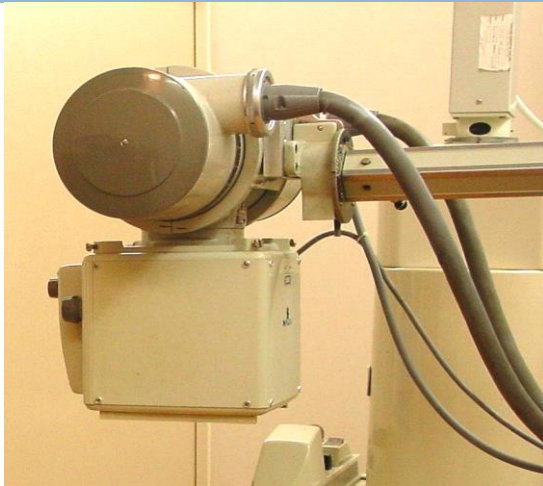
Λυχνία ακτίνων-Χ: κέλυφος



Υλικό κελύφους ?

Ακτινοβολία διαρροής : $< 1 \text{ mGy/h @ } 1 \text{ m}$ για μέγιστο ρεύμα λυχνίας

Κεφαλή : Λυχνία ακτίνων x

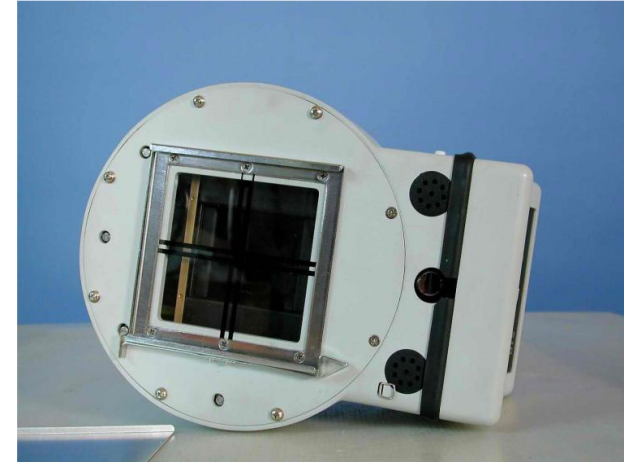


□ Φωτεινή επικέντρωση

- Ακτινοβολία X αόρατη.
- Ο προσδιορισμός των διαστάσεων της απεικονιζόμενης περιοχής γίνεται μέσω ενός φωτεινού «αντιγράφου» της ακτινοβολίας
- Η προβολή αυτή επιτυγχάνεται με τη βοήθεια ενός λαμπτήρα, ο οποίος τροφοδοτείται με ρεύμα χαμηλής τάσεως (12 volts), και ενός κατόπτρου.
- Τα όργανα αυτά τοποθετούνται πάνω από το διαφραγματικό σύστημα με τέτοια γωνία, ώστε, το φωτεινό πεδίο να συμπίπτει με ακρίβεια με το πεδίο ακτινοβολίας.

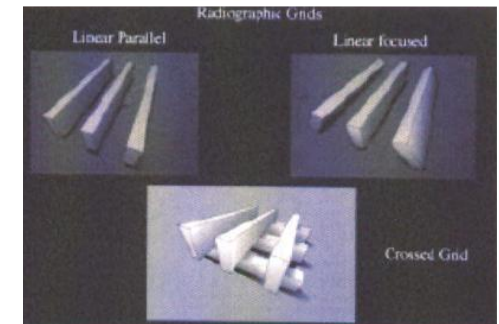
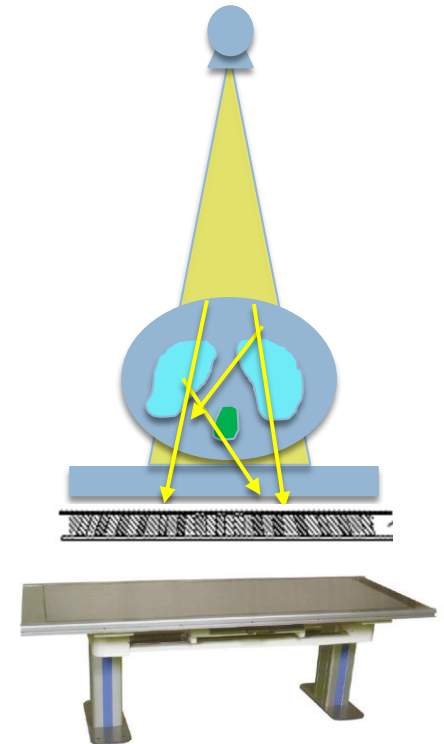
Κεφαλή : Κιβώτιο διαφραγμάτων

- ❑ Σύστημα διαφραγμάτων : βρίσκεται κάτω ακριβώς από τη θυρίδα εξόδου της δέσμης των ακτίνων-Χ
- ❑ Αποτελείται από :
 1. δύο ζεύγη κάθετων και οριζόντιων μολύβδινων πλακών οι οποίες αλληλοπλησιάζουν και αλληλοαπομακρύνονται,
 2. καθορίζουν :
 - το επιθυμητό και αναγκαίο πεδίο ακτινοβολίας
 - την οπτική προβολή του πεδίου στο σώμα του ασθενούς (φωτεινή επικέντρωση).



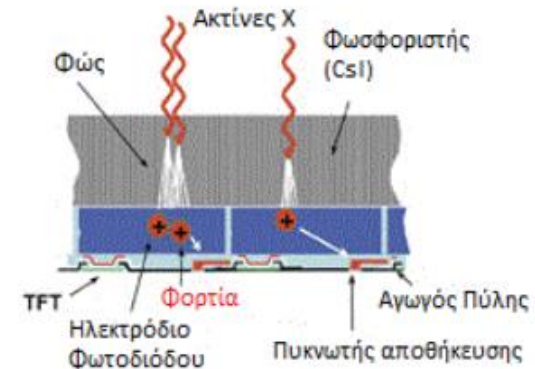
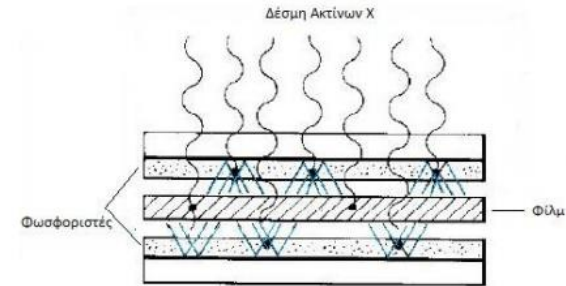
Αντιδιαχυτικά διαφράγματα

- ❑ Πρωτογενής δέσμη ακτίνων-Χ :
 - ✓ Ανατομικές πληροφορίες της απεικονιζόμενης περιοχής.
- ❑ Σκεδαζόμενη ακτινοβολία :
 - ✓ Ανεπιθύμητη διότι υποβαθμίζει την αντίθεση της εικόνας.
- ❑ Αντιδιαχυτικά διαφράγματα (Bucky προς τιμήν του Gustave Bucky που τα πρότεινε το 1913)
 - ✓ Απορροφούν την σκεδαζόμενη ακτινοβολία
 - ✓ Λεπτές λωρίδες μόλυβδου εναλλασσόμενες με λωρίδες πλαστικού ή άλλων οργανικών ουσιών.
- ❑ Διάταξη λωρίδων τέτοια ώστε να απορροφούν σκεδαζόμενη και να επιτρέπουν την διέλευση της πρωτογενούς ακτινοβολίας.
 - ✓ Γραμμικό και παράλληλο
 - ✓ Γραμμικό και εστιασμένο
 - ✓ Διασταυρωμένο



Ανιχνευτές

- ❑ Φωτογραφικό φιλμ με ενισχυτικές πινακίδες
- ❑ Υπολογιστική ακτινογραφία (CR – computed radiography)
 - ❑ Αλληλεπίδραση ακτίνων-Χ με πλάκα φωσφορίζοντος υλικού (π.χ. BaFBr - Eu) και διέγερση ηλεκτρονίων σε μετασταθή ενεργειακή κατάσταση
 - ❑ Η πλάκα μεταφέρεται σε συσκευή laser η οποία δίνοντας ενέργεια αποδιηγείρει τα ηλεκτρόνια.
 - ❑ Η αποδιέγερση συνοδεύεται με εκπομπή φωτός το οποίο καταγράφεται και ψηφιοποιείται
 - ❑ Πλεονέκτημα :
 - Επαναχρησιμοποίηση
 - Ψηφιακή επεξεργασία
- ❑ Ψηφιακή ακτινογραφία (DR – Digital radiography)
 - ❑ Αλληλεπίδραση ακτινοβολίας με σπινθηριστή (π.χ., CsI)
 - ❑ Εκπομπή σπινθηρισμών και αλληλεπίδραση με συστοιχία φωτοдиодων
 - ❑ Άμεση καταγραφή της εικόνας σε ψηφιακή μορφή
 - ❑ Πλεονέκτημα :
 - Άμεση ανάγνωση όχι laser scanner κ.τ.λ.
 - Ψηφιακή επεξεργασία

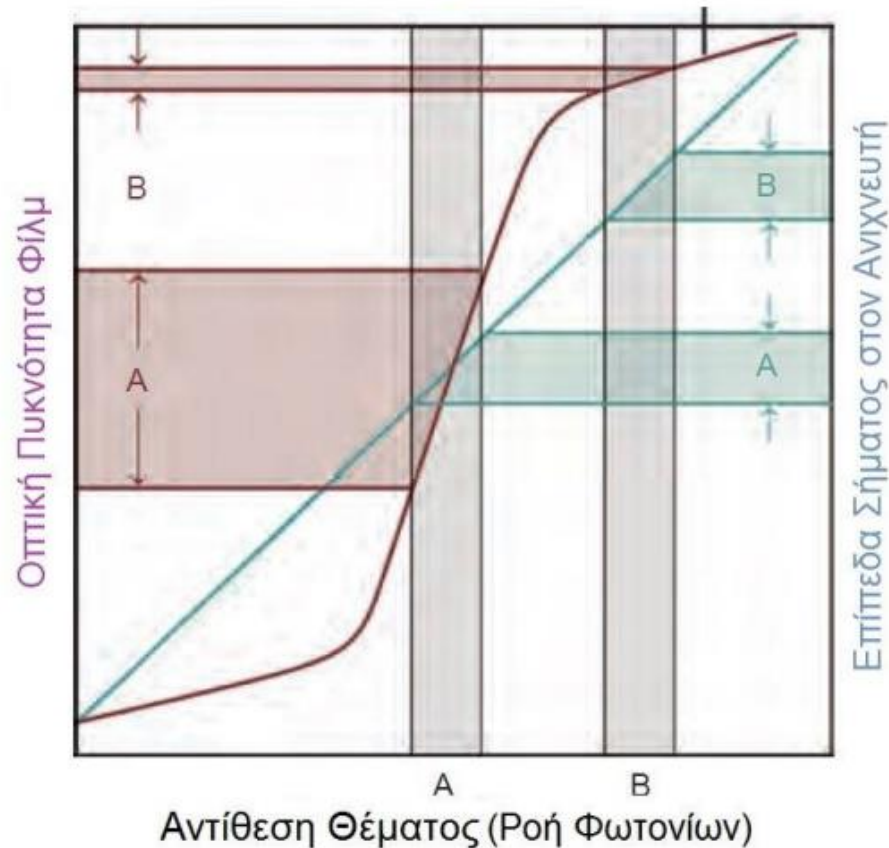


Ανιχνευτές

Χαρακτηριστικές Καμπύλες Κλασικής – Ψηφιακής Ακτινογραφίας

Οπτική πυκνότητα :

$$OD = \log \frac{I_0}{I}$$



Αισθητήρες αυτόματης έκθεσης (ΑΕC)



- ❑ Σύστημα A.E.C. ή Σύστημα αυτομάτου ελέγχου έκθεσης (Automatic Exposure Control)
- ❑ Χρησιμοποίηση ανιχνευτών (συνήθως παράλληλων επίπεδων θαλάμων ιονισμού) ως χρονοδιακόπτης.
- ❑ Λειτουργία :
 - ❑ Διακόπτεται η έκθεση όταν έχει ήδη παραχθεί μια προεπιλεγμένη τιμή έντασης ακτινοβολίας, την οποία μετρά ο θάλαμος ιονισμού.
- ❑ ΠΡΟΣΟΧΗ
 - ❑ τοποθέτηση του προς ακτινογράφιση οργάνου,
 - ❑ σωστή επιλογή του θαλάμου ιονισμού.

Χειριστήριο ακτινογραφικού μηχανήματος

□ Ρύθμιση ενέργειας δέσμης ακτίνων – Χ

1. Υψηλή τάση : kVp

□ Ρύθμιση ποσότητας φωτονίων

✓ Ρεύμα λυχνίας (mA)

✓ Χρόνος (s)

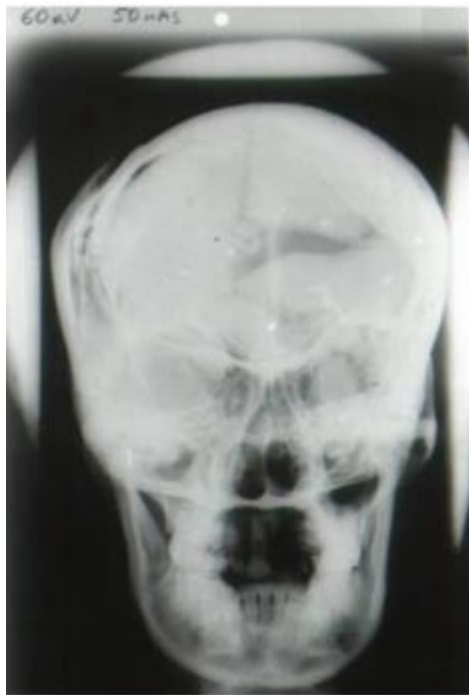
✓ Παροχή (mAs)

□ Ρύθμιση ανεξάρτητα της κάθε παραμέτρου (τεχνική τριών ρυθμίσεων) ή της τάσης και της παροχής (mAs) (τεχνική 2 ρυθμίσεων) ή ρύθμιση μόνο της τάσης και χρήση AEC (τεχνική μιας παραμέτρου)

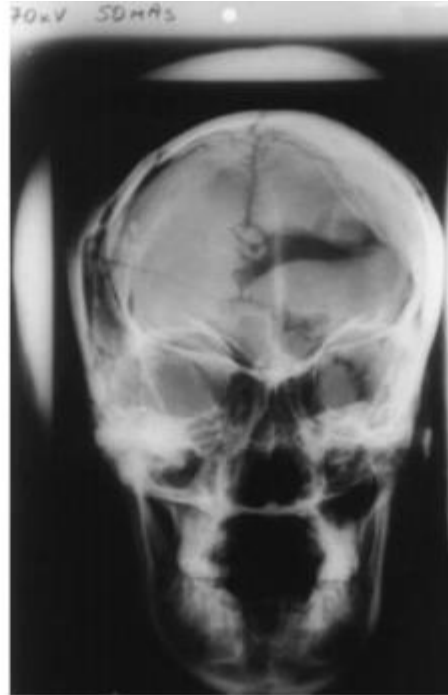
□ Τυποποιημένη ανατομική τεχνική: Τυποποιημένα προγράμματα λήψεων με συγκεκριμένα στοιχεία που αντιστοιχούν στις διάφορες εξετάσεις.



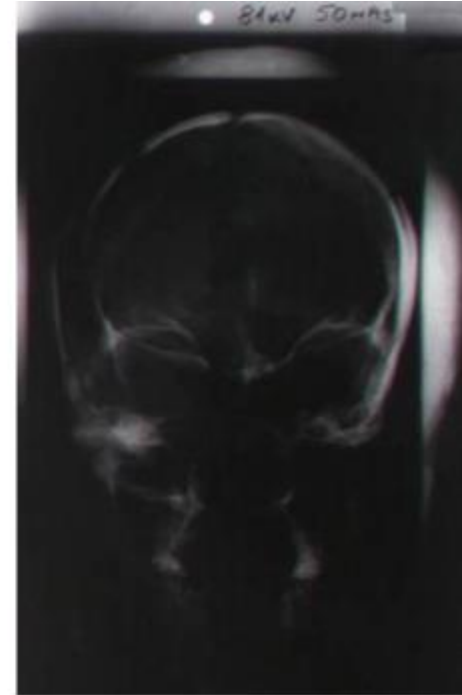
Επίδραση της υψηλής τάσης



60kV- 50mAs



70kV-50mAs



80kV-50mAs

Επίδραση ποσότητας φωτονίων (mAs)



□ 80kV – 0.5mAs



□ 80kV – 16mAs

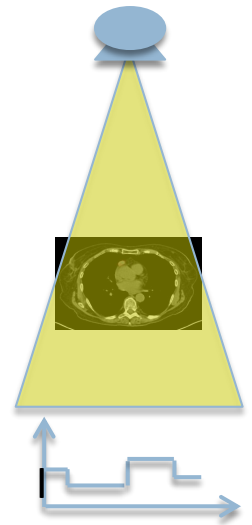
ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΕΙΚΟΝΑΣ – Αντίθεση θέματος

□ ΑΝΤΙΘΕΣΗ ΘΕΜΑΤΟΣ

$$C = \frac{I_{\text{target}} - I_{\text{background}}}{I_{\text{background}}}$$

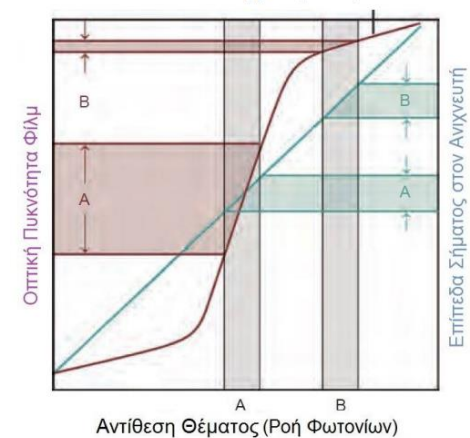
□ Εξαρτάται από :

- Το είδος ιστών
 - Πυκνότητα γειτονικών ιστών
 - Σύσταση -> βλέπε Ατομικό αριθμό
- Πάχος των ιστών που διατρέχει η ακτινοβολία
- Η ενέργεια των ακτίνων-Χ
- Χρήση σκιαγραφικού υγρού
 - Τα σκιαγραφικά υγρά αποτελούνται από υλικά με υψηλό ατομικό αριθμό (π.χ Ιώδιο, Βάριο).
 - Το υγρό εγχύεται στην περιοχή του αντικειμένου που θέλουμε να απεικονίσουμε και αυξάνει την απορρόφηση φωτονίων
 - Αυξάνει την αντίθεση θέματος



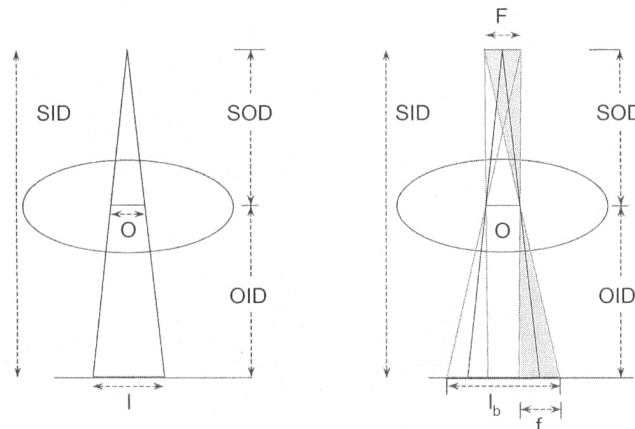
ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΕΙΚΟΝΑΣ - Αντίθεση εικόνας

- ❑ Αντίθεση εικόνας = Η διαφορά της οπτικής πυκνότητας μεταξύ δυο περιοχών του ακτινολογικού film/ανιχνευτή ($C_i = OD_1 - OD_2$).
- ❑ Εξαρτάται από :
 - Αντίθεση θέματος και κατά συνέπεια από όλους τους παράγοντες που την επηρεάζουν.
 - Την χαρακτηριστική καμπύλη του ανιχνευτικού συστήματος (ενισχυτικής πινακίδας-film ή ψηφιακού ανιχνευτή).
- ❑ Εικόνα θώρακα με (α) χαμηλή και (β) υψηλή αντίθεση.



ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΕΙΚΟΝΑΣ – Ασάφεια

- ❑ Ασάφεια = αδυναμία της μεθόδου να απεικονίσει αυστηρά το περίγραμμα ή τα όρια του αντικειμένου.
- ❑ Οφείλεται σε
 - κίνηση αντικειμένου κατά την απεικόνιση,
 - μέγεθος εστίας,
 - μορφή/γεωμετρικά χαρακτηριστικά του αντικειμένου
 - Χαρακτηριστικά ενισχυτικής πινακίδας, ανιχνευτή.
- ❑ Ασάφεια λόγω μεγέθους εστίας => παρασκιά.
 - Μείωση παρασκιάς => εστία με όσο το δυνατό μικρότερο μέγεθος.



ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΕΙΚΟΝΑΣ - Θόρυβος

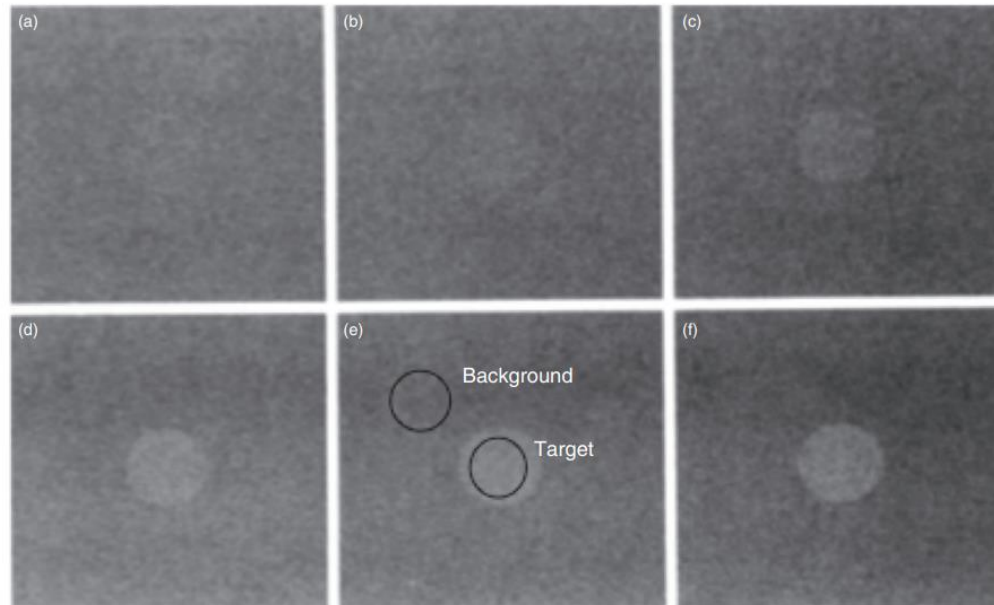
- ❑ Θόρυβος δομής = παρουσία ανατομικών δομών στην εικόνα οι οποίες δεν συνεισφέρουν στη διάγνωση.
 - Π.χ. σε μια ακτινογραφία άνω-κάτω κοιλίας παρεμβάλλονται τα οστά της λεκάνης και της σπονδυλικής στήλης ή σε μια ακτινογραφία θώρακος εμφανίζονται τα οστά και δεν φαίνονται οι πνεύμονες .
- ❑ Σκεδαζόμενα φωτόνια που κατάφεραν να περάσουν το αντιδιαχυτικό διάφραγμα και να φτάσουν στον ανιχνευτή.
- ❑ Κβαντικός θόρυβος
 - Στατιστική διακύμανση του αριθμού των παραγόμενων φωτονίων αλλά κυρίως του αριθμού των φωτονίων που αλληλεπιδρούν με τον ασθενή και τον ανιχνευτή



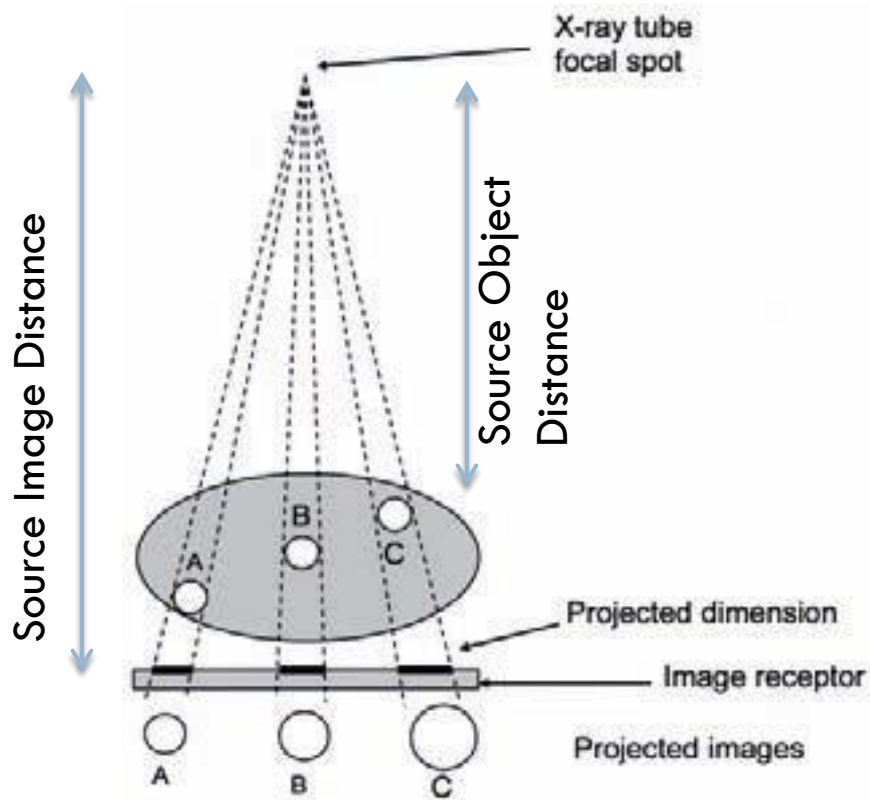
Contrast to Noise Ratio - CNR

- Η ποιότητα μιας ακτινολογικής εικόνας μπορεί να περιγραφεί με το μέγεθος CNR το οποίο είναι ως ο λόγος αντίθεσης προς θόρυβο

$$\text{CNR} = \frac{\frac{I_{\text{target}} - I_{\text{background}}}{I_{\text{background}}}}{\frac{\sigma_{\text{background}}}{I_{\text{background}}}} = \frac{I_{\text{target}} - I_{\text{background}}}{\sigma_{\text{background}}}$$



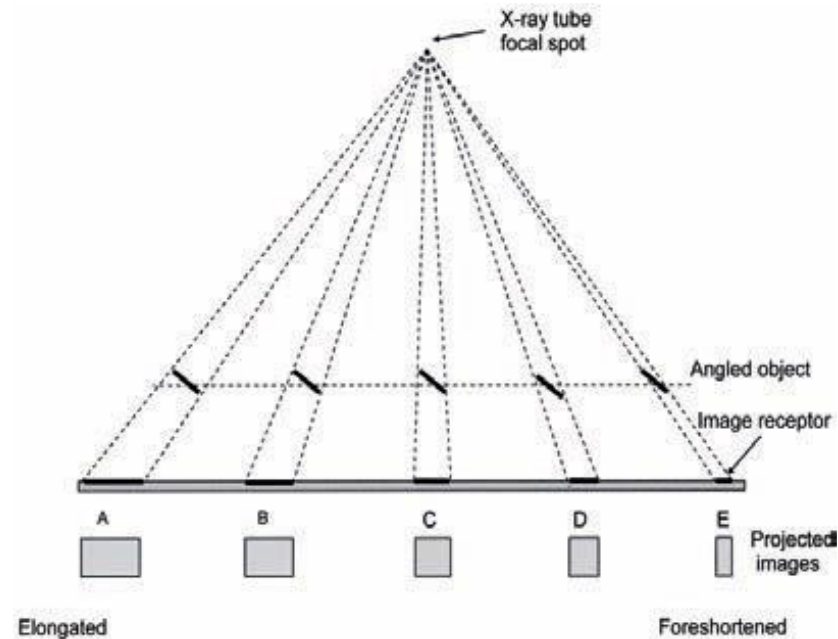
Γεωμετρία της απεικόνισης - Μεγέθυνση



- Η μεγέθυνση του αντικειμένου εξαρτάται από την απόστασή του από την πηγή και από τον ανιχνευτή
 - $M = SID / SOD$
 - $SID \uparrow \Rightarrow M \uparrow$
 - $SOD \uparrow \Rightarrow M \downarrow$

Γεωμετρία της απεικόνισης – Παραμόρφωση σχήματος

- Λόγω της ανομοιόμορφης μεγέθυνσης που υφίσταται το αντικείμενο και οι δομές που βρίσκονται σε αυτό, δημιουργούνται παραμορφώσεις στο σχήμα.



Ακτινοπροστασία

□ Υψηλή τάση kV

- ▣ Όσο αυξάνεται η υψηλή τάση αυξάνεται η ενέργεια των ακτίνων-Χ και επομένως η διεισδυτικότητα της.

□ Παροχή ακτινοβολίας

- ▣ Ρεύμα ανόδου mA
- ▣ Χρόνος έκθεσης
- ▣ Όσο αυξάνεται το ρεύμα ανόδου ή ο χρόνος έκθεσης αυξάνεται η ποσότητα της ακτινοβολίας-Χ που προσπίπτει στον ασθενή

Ακτινοπροστασία

- ❑ Σωστή τοποθέτηση ανάλογα με την εξέταση ώστε να αποφευχθούν ανεπιθύμητες επαναλήψεις της εξέτασης
- ❑ Περιορισμός πεδίου ακτινοβολίας (πρωτογενούς) στην περιοχή ενδιαφέροντος
- ❑ Εξαίρεση (όποτε αυτό είναι εφικτό) από την πρωτογενή δέσμη ακτινοευαίσθητων οργάνων.
- ❑ Προστασία (θωράκιση) οργάνων με ειδικά εξαρτήματα (π.χ., ποδιές ακτινοπροστασίας, κολάρα θυροειδούς)
- ❑ Σωστή λειτουργία των επιμέρους συστημάτων.
 - ▣ Προγράμματα διασφάλισης ποιότητας