

Λυχνία παραγωγής ακτίνων X

Λαβδάς Ελευθέριος
Τεχνολόγος Ακτινολόγος
MSc Ιατρική Φυσική
Dr Υπολογιστική Τομογραφία



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."

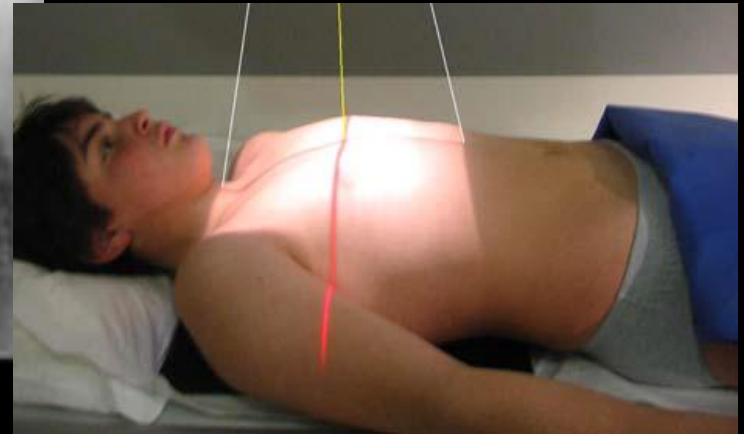
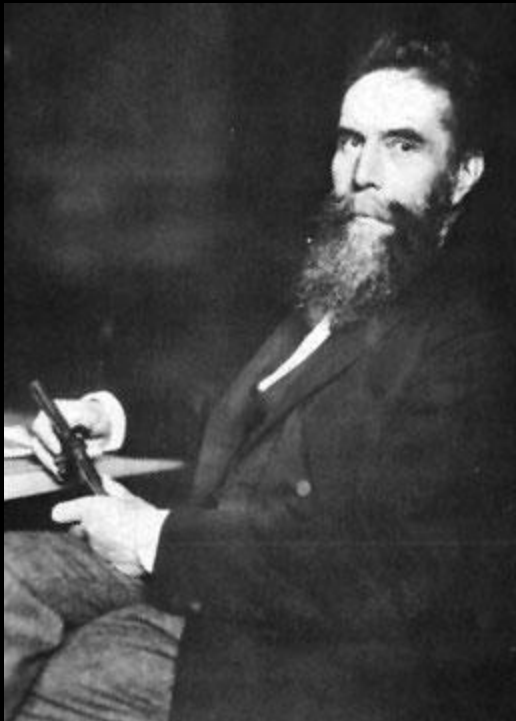


Ακτινογραφίες χεριού

King George and Queen Mary, 1896



Bertha's hand, 1895

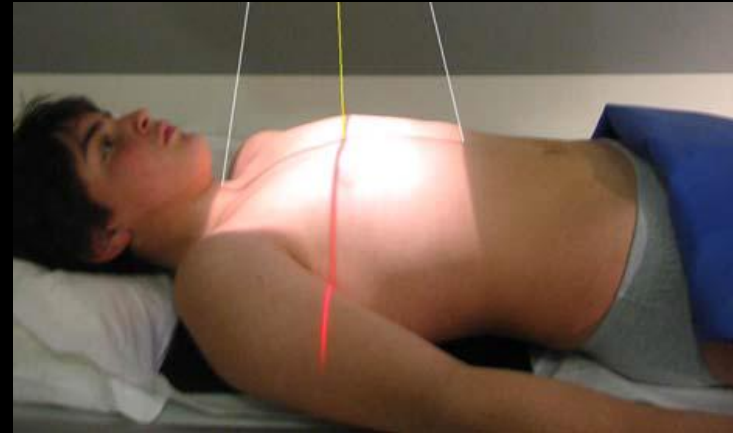
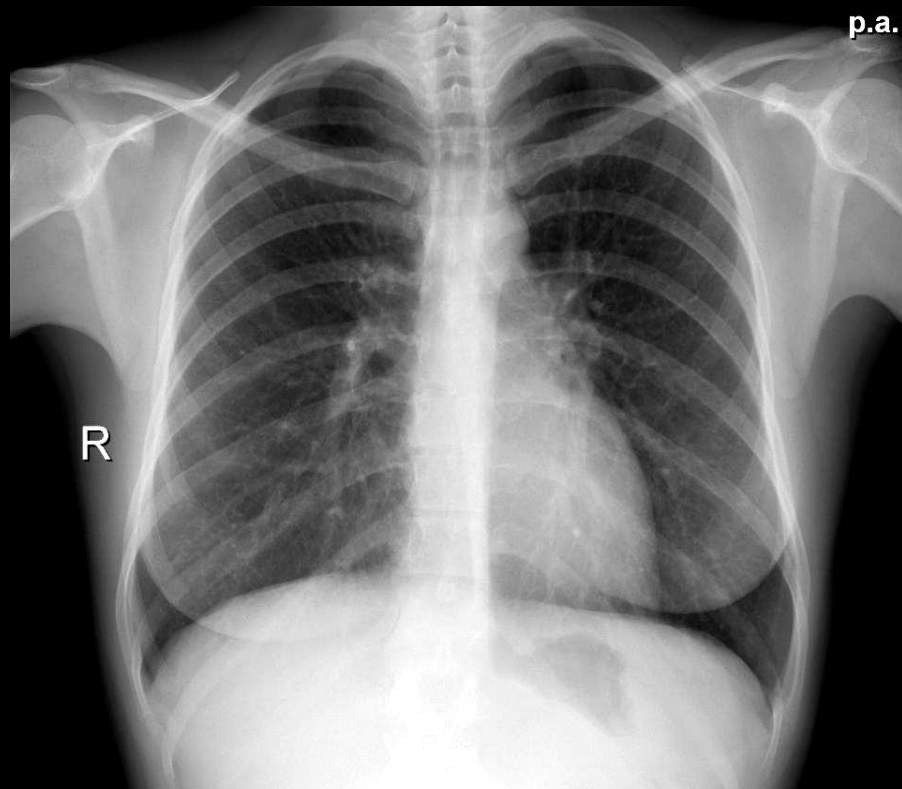


ο Στην ακτινολογία παράγουμε εικόνες.

ο Είμαστε φωτογράφοι ???

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

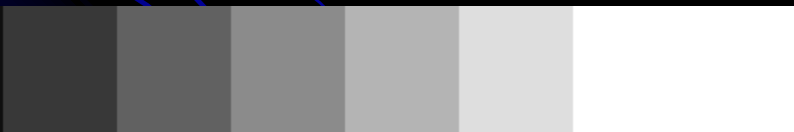
ο Στην ακτινολογία παράγουμε εικόνες που καταγράφουν την αλληλεπίδραση μιας μορφής ενέργειας με τις διάφορες δομές του σώματός μας

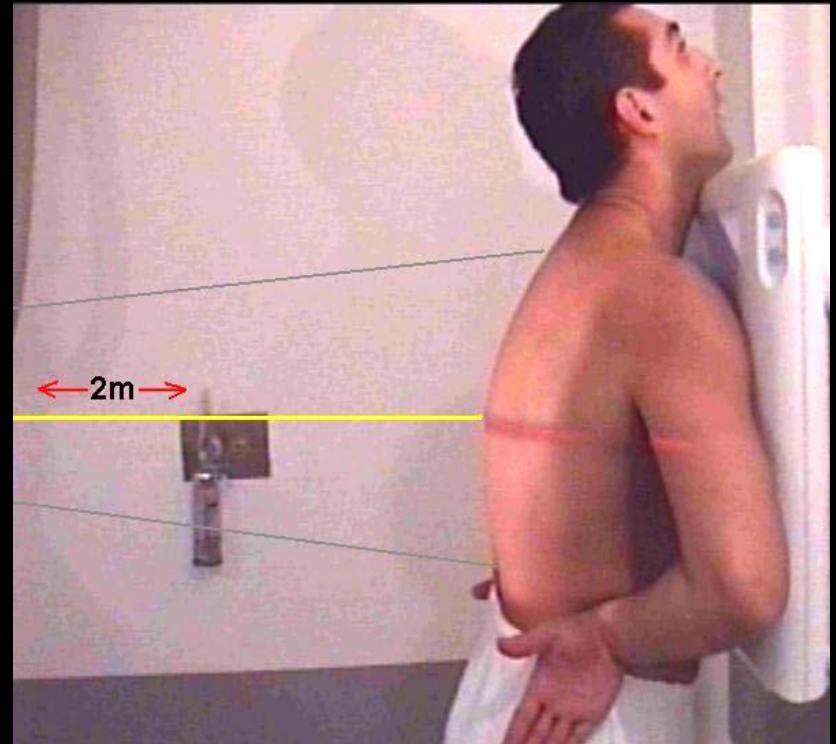


Κάθε μαυρόασπρη εικόνα είναι ένα σύνολο διαφορετικών αποχρώσεων στην κλίμακα του γκριζου (σκιαγραφική αντίθεση, contrast, έννοια που θα καθορίσουμε ακριβέστερα σε επόμενα μαθήματα)

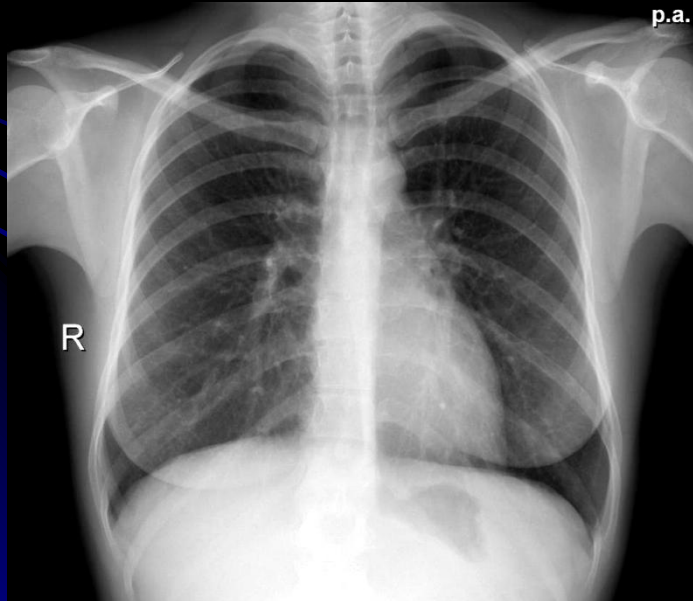
Η ερμηνεία της εικόνας στηρίζεται στο ότι οι διάφορες αποχρώσεις κατανέμονται σε σχήματα που αντιστοιχούν σε γνωστές δομές. Δηλαδή για την ανάγνωση οποιασδήποτε εικόνας χρειάζεται:

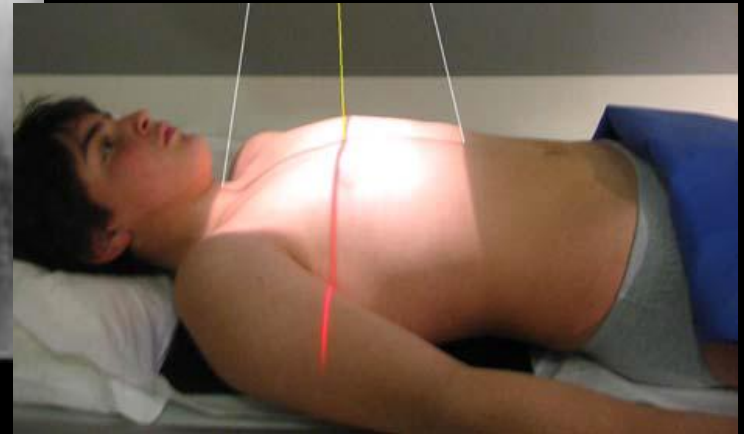
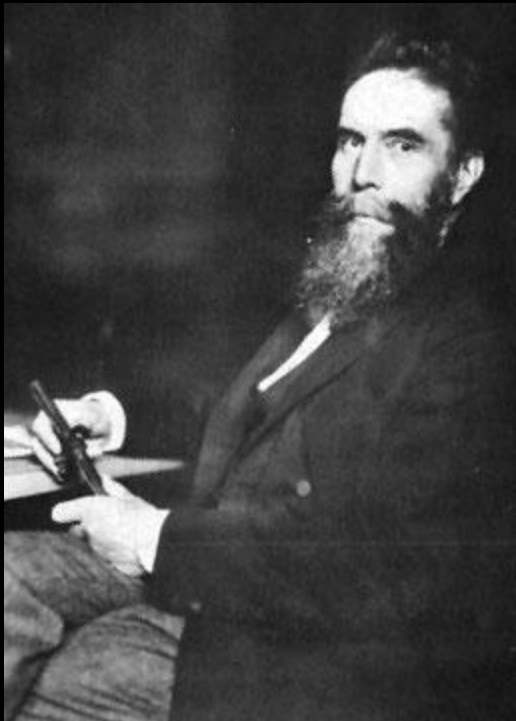
- ο α. Σκιαγραφική αντίθεση
- ο β. Γνώση της ανατομίας





p.a.





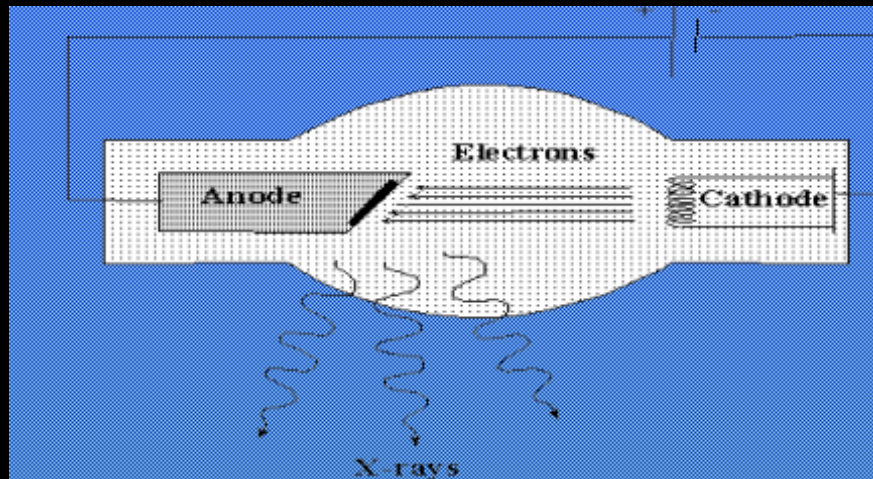
ο Στην ακτινολογία παράγουμε εικόνες.

ο Είμαστε φωτογράφοι ???

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

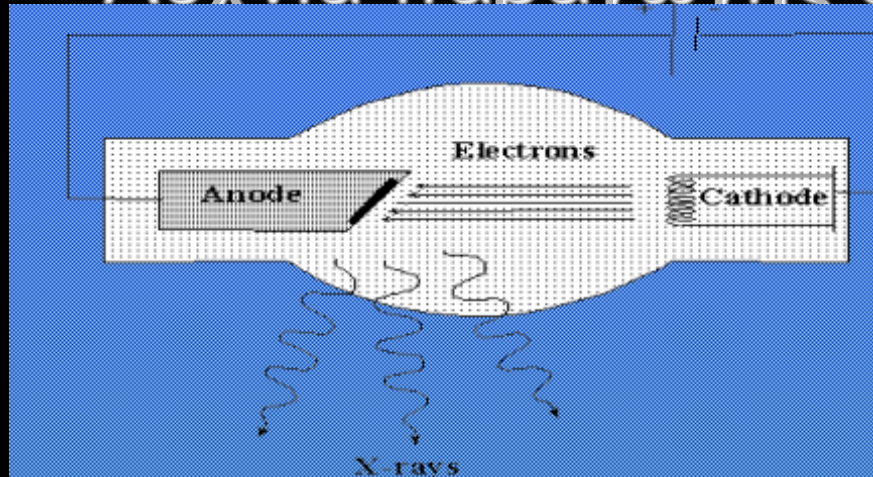
ο Στην ακτινολογία παράγουμε εικόνες που καταγράφουν την αλληλεπίδραση μιας μορφής ενέργειας με τις διάφορες δομές του σώματός μας

Λυχνία παραγωγής ακτίνων Χ



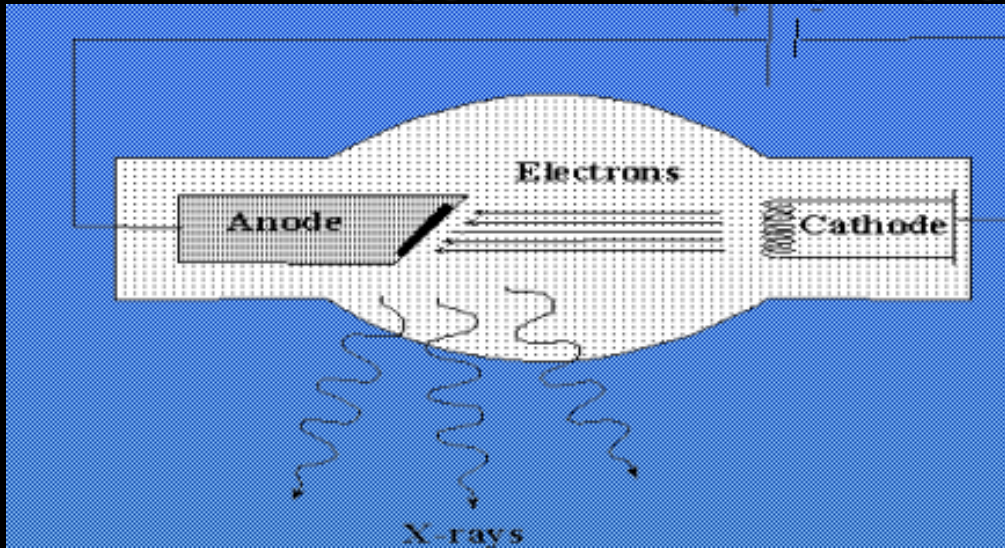
- Μετατροπή ενέργειας.
- Κάθοδος – Άνοδος
- Πέδηση – Φρενάρισμα

Λυχνία παραγωγής ακτίνων X



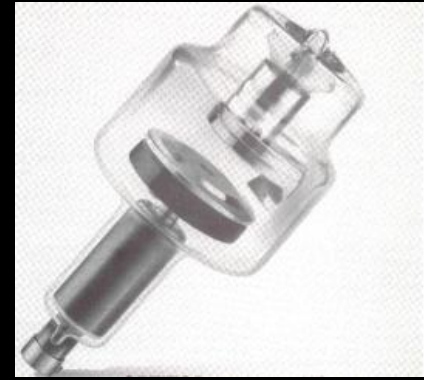
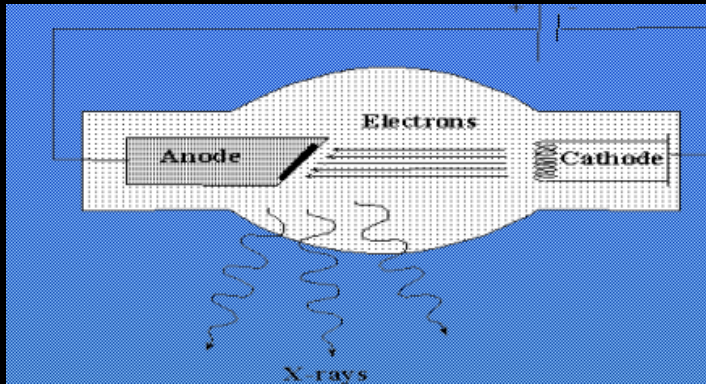
- Όχι αέρας, κενό.
- Αριθμό και ταχύτητα e^- να ρυθμίζονται ανεξάρτητα.
- Σχήμα και μέγεθος κατάλληλο για την μη ηλεκτρική εκκένωση (απότομη μείωση ηλεκτρικού φορτίου).
- Γυαλί και ηλεκτρόδια υψηλές θερμοκρασίες

Λυχνία παραγωγής ακτίνων X



- Ειδικά κράματα με συντελεστές γραμμικής διαστολής παρόμοιους.

Κάθοδος - Νήμα



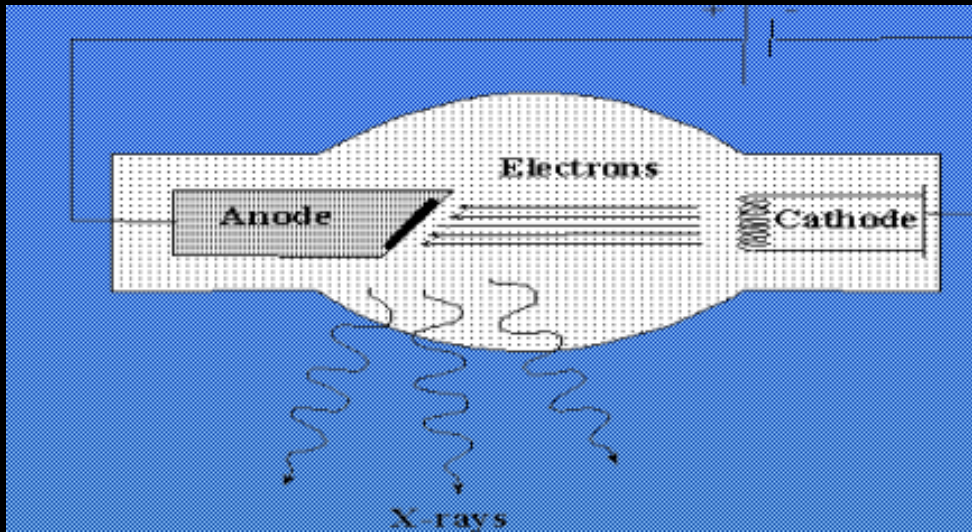
- Πηγή e^-

A) Καλώδια με διαφορά δυναμικού 10 Volt και ρεύμα στα άκρα 3-5 Amperes (θέρμανση).

B) καπέλο εστίασης.

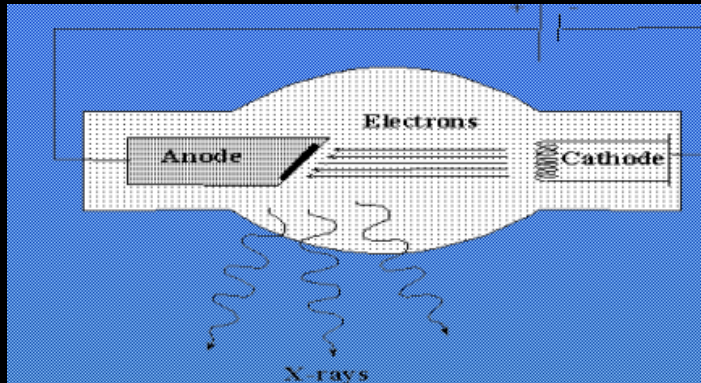
Σπείρα 0,2 χιλ διάμετρος, σύνολο 0,2 εκατ. Και μήκος 1 εκατοστό.

Λυχνία παραγωγής ακτίνων Χ



- Θερμιονική εκπομπή e^- 2200°C .
- Κράματα Βολφραμίου αποδοτικότερα
- Βολφράμιο σημείο τήξης 3370°C .
- Επίδραση ελευθέρων e^- τάση περιορισμού απελευθέρωσης νέων e^-
- Ισορροπία όσα απελευθερώνονται τόσα επιστρέφουν.

Λυχνία παραγωγής ακτίνων Χ



Επιτάχυνση e^- (θετικό ηλεκτρόδιο)

Amperes

Ρεύμα προς μια κατεύθυνση
καπέλο εστίασης- Μολυβδαίνιο

Μόνιμο ρεύμα

Μπρούτζινο χρώμα, εξάχνωση

Φιλτράρισμα διαφορετικό και σπινθήρες

- Κάθοδος

- Βολφράμιο

- Όχι εξάχνωση

- Σ.Τ. 3370⁰

- Καπέλο εστίασης

- Άνοδος

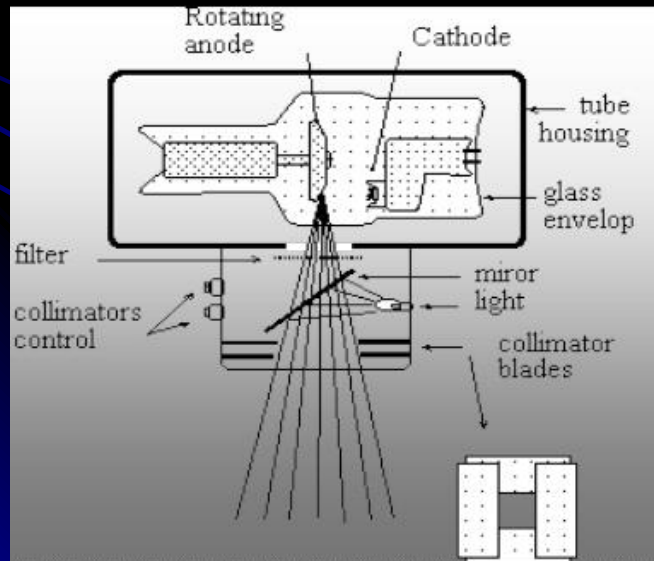
- Βολφράμιο

- Όχι εξάχνωση

- Σ.Τ. 3370⁰

- Υψηλό Z

- Υψηλή Θερμική αγωγιμότητα και χωρητικότητα



Η κάθοδος



- Δύο νήματα / σπειράματα
- Σε σειρά ή παράλληλα
- Μόνο ένα λειτουργεί κάθε φορά
- Διαφορετικό μήκος
- Διαφορετική μέγιστη ποσότητα ηλεκτρονίων

Ο αριθμός των ηλεκτρονίων που παράγεται εξαρτάται από:

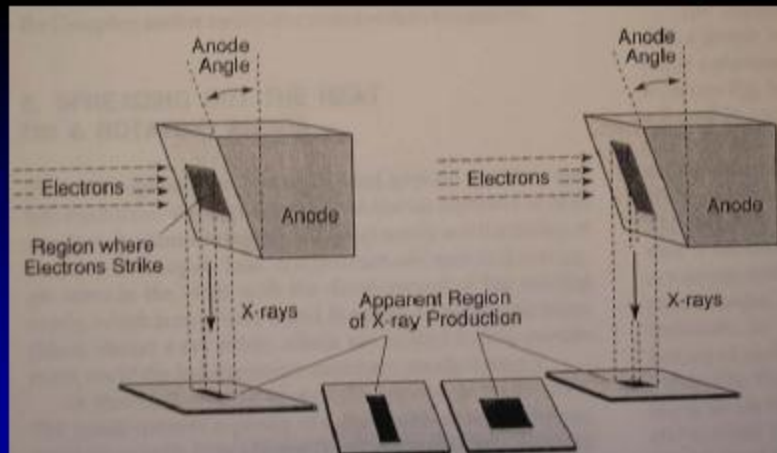
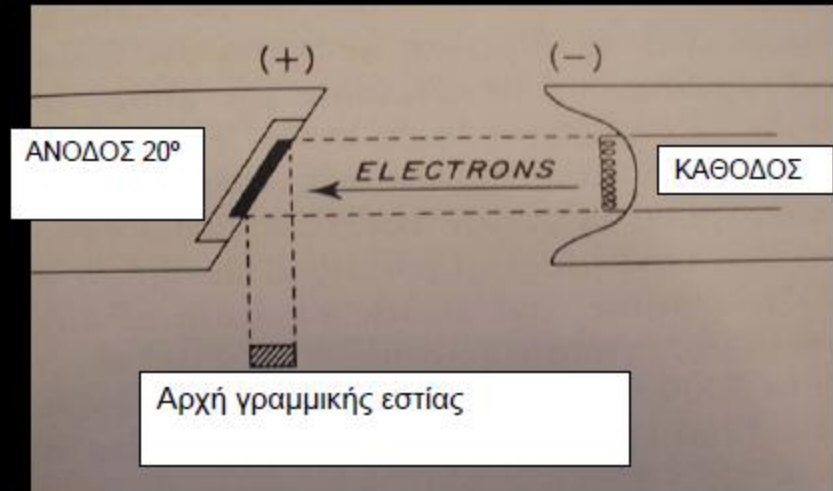
- Το υλικό του σπειράματος
- Την εγκάρσια διατομή του
- Το μήκος του
- Τη $\Delta\Delta$

Άνοδος

- Μεγάλη εστία καλλίτερη κατανομή (ομοιόμορφη).
- Σ.Τ. 3370°
- Μέχρι 3000°
- Γωνία στην άνοδο $6-20^{\circ}$
- 0,3 χιλ, 6°
- Φαινόμενο πτέρνας.

Αρχή γραμμικής εστίας

- 99% της ενέργειας των φωτονίων μετατρέπεται σε θερμότητα

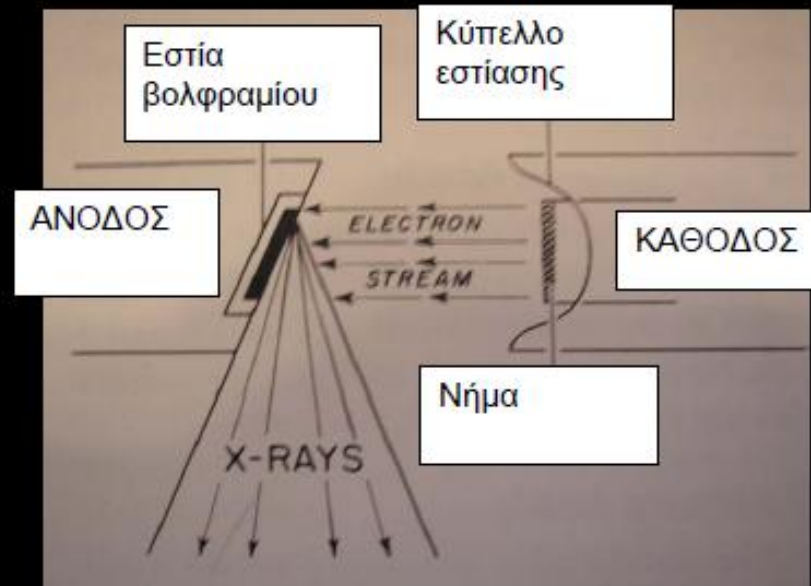


Άνοδος - Στατική

- Βάση Χαλκού- (2-3 χιλ. Βολφράμιο).
- Τετράγωνη – παραλληλόγραμμη -1cm
- Όχι εξάχνωση
- Σ.Τ. 3370°
- Υψηλό Z
- Στην πραγματικότητα μεγαλύτερο το Βολφράμιο
- Καλή σύνδεση γιατί μπορεί να ξεφλουδίσει
- Μια έκθεση 1000°

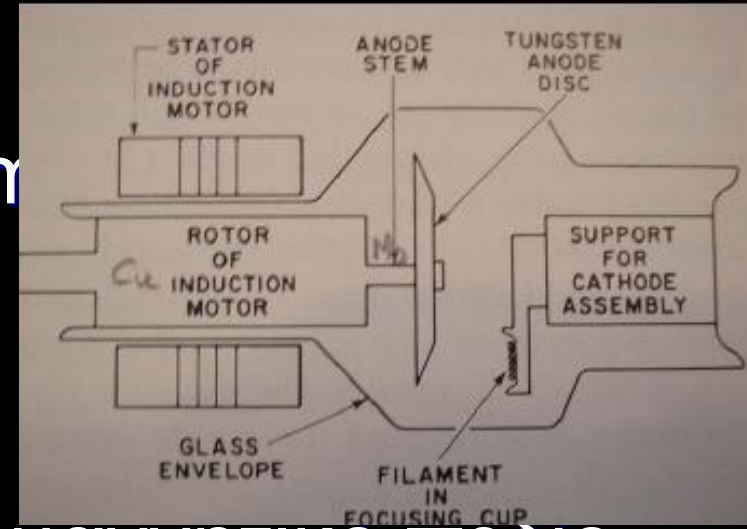
Άνοδος

- Σταθερή
- Βολφράμιο σε βάση από χαλκό
- W, Βολφράμιο
 - Υψηλός ατομικός αριθμός (74)
 - Υψηλό σημείο τήξεως (3370° C)
 - Καλή απαγωγή θερμότητας



Άνοδος -περιστρεφόμενη

- Υψηλή Θερμική αγωγιμότητα και χωρητικότητα.
- Περίπου 3600 στροφές /m
- Κατανομή θερμότητας
- 125 φορές
- Στατικά πηνία παράγουν μαγνητικό πεδίο,
- Μεταλλικά λιπαντικά (Άργυρος)
- Κενό –λάδι στο περίβλημα

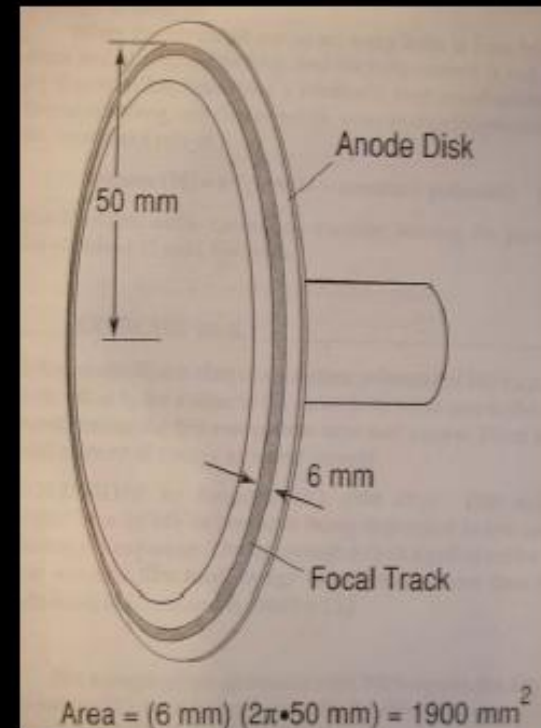
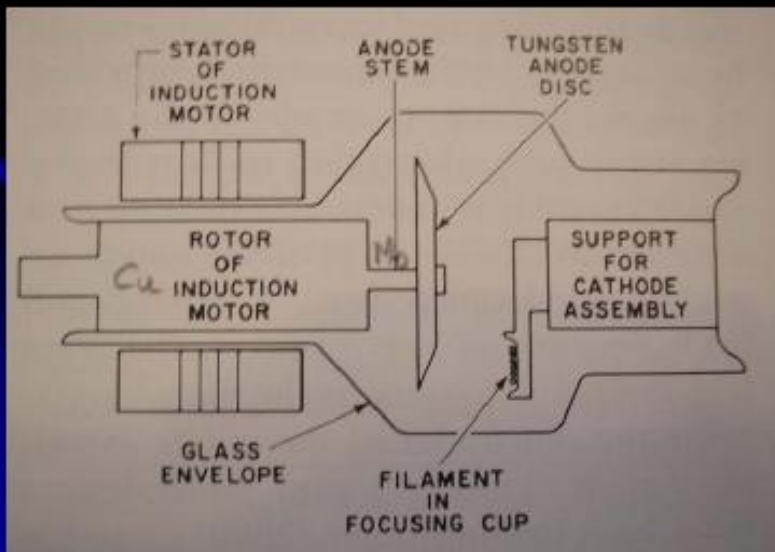


Άνοδος -περιστρεφόμενη

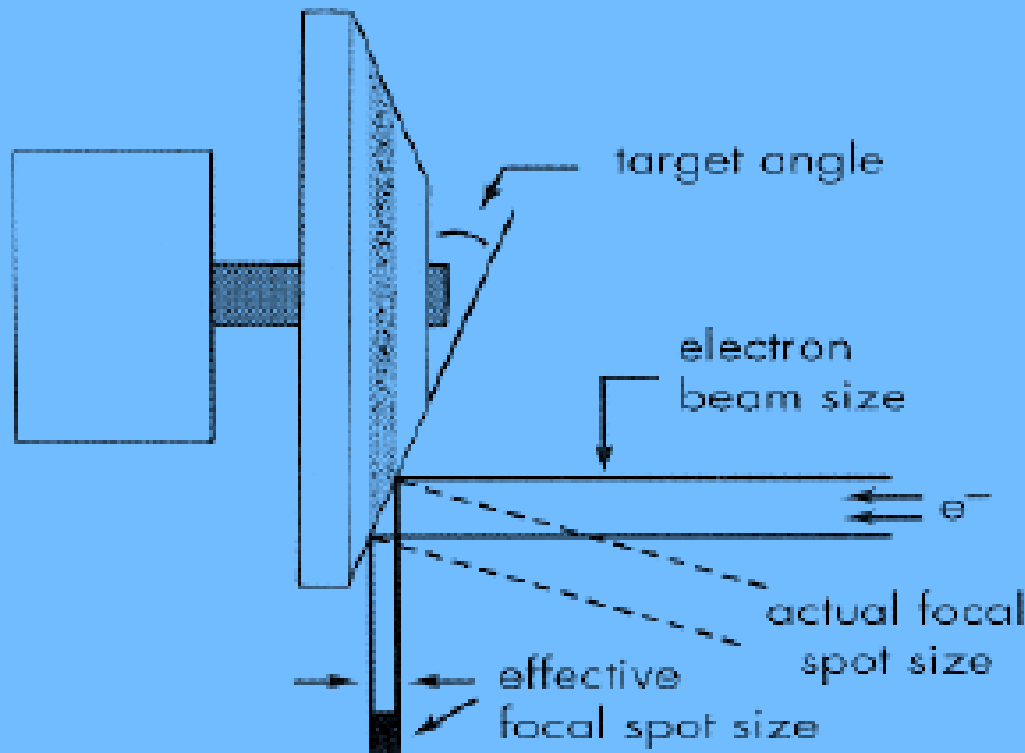
- Μολυβδαίνιο στο στέλεχος 2600⁰
Δεν μεταδίδει την θερμότητα
- Κοντό στέλεχος, λόγω αδράνειας
- 90% Βολφράμιο, 10% Ρόδιο καλλίτερη θερμοχωρητικότητα
- Μέχρι 10000 στροφές
- Κοντός άξονας, ρουλεμάν, βάρος
- Σχήμα δίσκου, Μολυβδαίνιο (ελαφρότερο)

Άνοδος

- Σκοπός της περιστρεφόμενης ανόδου είναι η διασπορά της θερμότητας σε μεγάλη περιοχή
- Η ζωή της ανόδου περιορίζεται από τις θερμικές τάσεις που προκαλούν ανωμαλίες στην επιφάνειά της.



Ενεργός εστία



- Το μέγεθος της εστίας όπως φαίνεται από το παράθυρο της λυχνίας και εξαρτάται από:
 - Κλίση ανόδου
 - Πραγματικό μέγεθος εστίας που
 - εξαρτάται από το μήκος του σπειράματος
- Καθορίζει τη λεπτομέρεια της εικόνας

- Κάθοδος

- Βολφράμιο

- Όχι εξάχνωση

- Σ.Τ. 3370⁰

- Καπέλο εστίασης

- Άνοδος

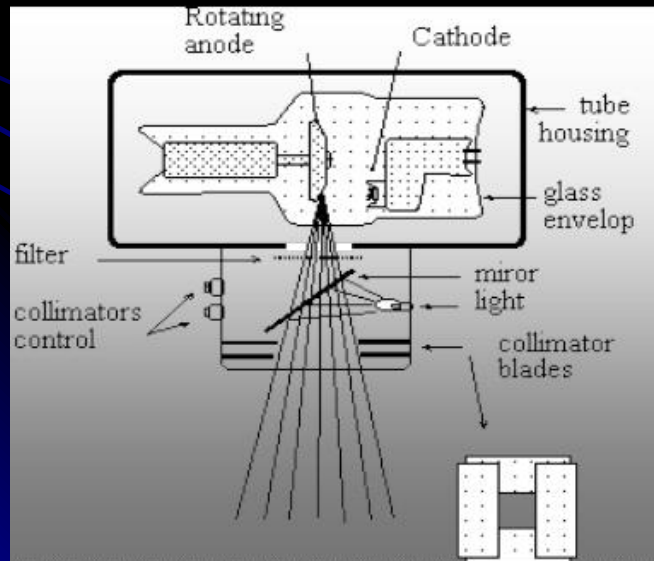
- Βολφράμιο

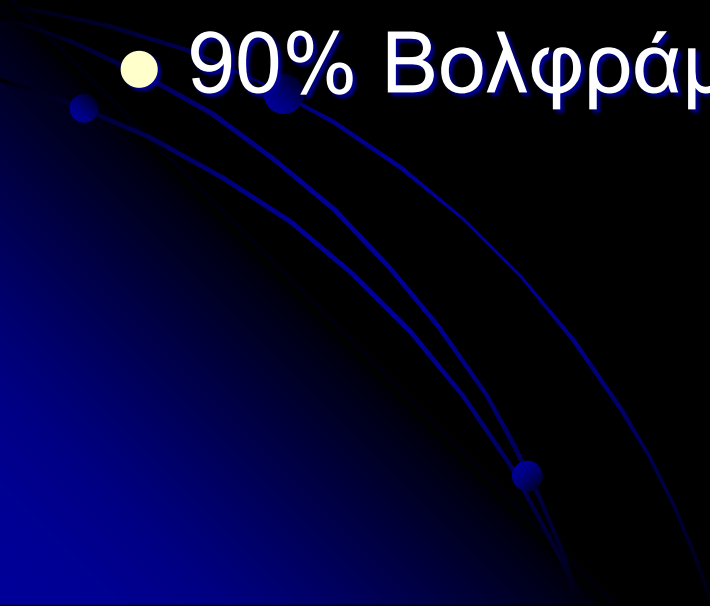
- Όχι εξάχνωση

- Σ.Τ. 3370⁰

- Υψηλό Z

- Υψηλή Θερμική αγωγιμότητα και χωρητικότητα



- Άνοδος
 - Αρχή γραμμικής εστίας
 - Κλίση 6° - 20°
 - Φαινόμενο πτέρνας 15°
 - Περιστρεφόμενη άνοδος
 - 90% Βολφράμιο, 10% Ρόδιο
- 

Δυναμικό κορεσμού

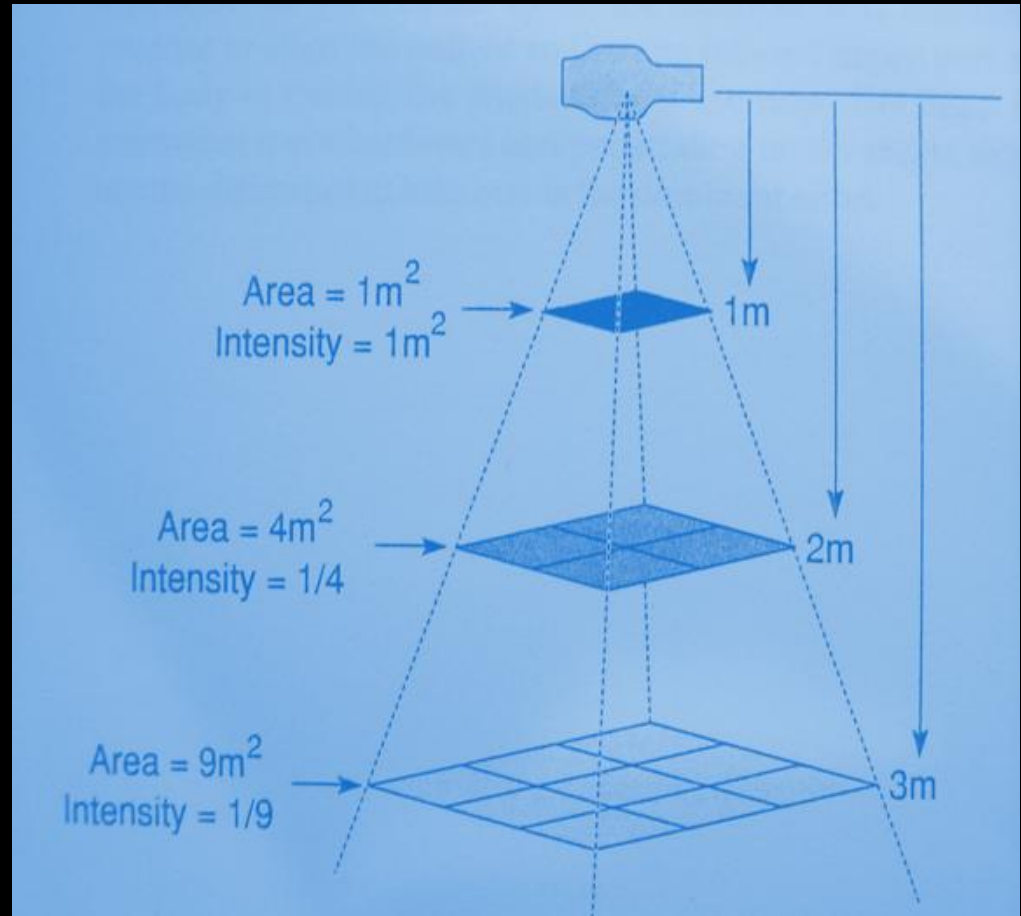
Μικρή διαφορά Δυναμικού υπόλειμμα φορτίου ηλεκτρονίων.

Μέχρι τα 40 kV σημαντική αύξηση

Σήμερα ειδικές αντιστάσεις αντισταθμίζουν το υπόλειμμα φορτίου ηλεκτρονίων, όσο αυξάνει το kV μειώνει το ρεύμα στην κάθοδο.

Νόμος του αντιστρόφου του τετραγώνου της απόστασης

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



Εφαρμογές - Νόμος του αντιστρόφου του τετραγώνου της απόστασης

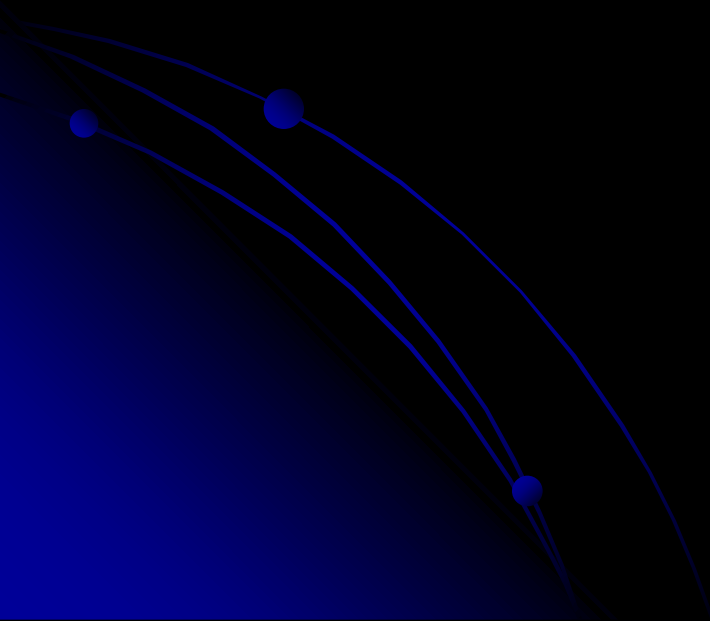
- Ακτινοπροστασία τεχνολόγου - περιβάλλοντος
- Απόσταση
- Παράγοντες έκθεσης
- Τροποποίηση των παραγόντων έκθεσης ώστε να προκύψει συγκεκριμένη ΟΠ για διαφορετικές ΕΑ

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

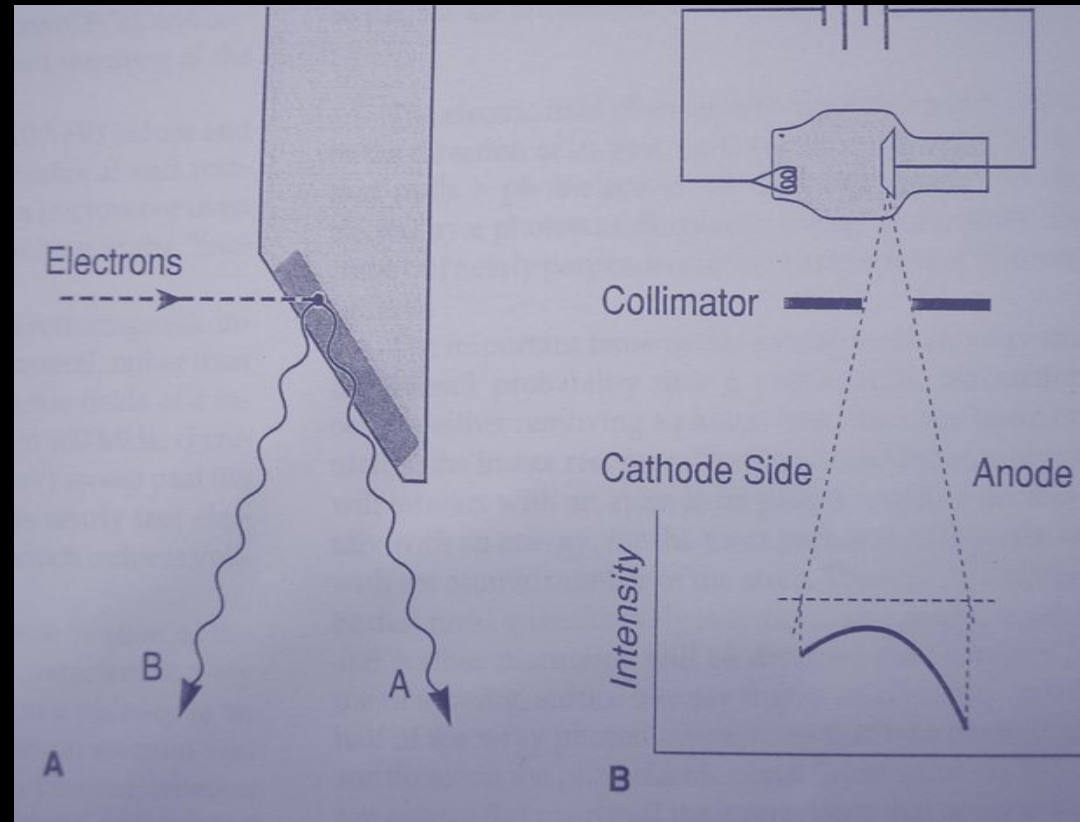
$$\frac{mAs_1}{mAs_2} = \frac{d_1^2}{d_2^2}$$

- 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.

- Θωράκιση λυχνίας και καλώδια υψηλού δυναμικού

ΙΔΙΑ ΕΝΤΑΣΗ ΟΛΕΣ ΤΙΣ ΚΑΤΕΥΘΗΝΣΕΙΣ

Το κέλυφος απορροφά, Πρωτογενής,
Δευτερογενής

Η αποτελεσματικότητα του ελέγχεται από
Ε.Ε.Α

ΜΟΝΩΣΗ (ΓΗΩΣΗ)

Λυχνία και κέλυφος (ανάμεσα λάδι)

- Θωράκιση λυχνίας και καλώδια υψηλού δυναμικού

Αεροστεγές (όχι διαστολή)

Λεπτό ορυκτέλαιο για ηλεκτρική μόνωση και απαγωγή θερμότητας.

Διαστολή λαδιού, Μεταλλικοί φυσητήρες επιτρέπουν την διαστολή του λαδιού χωρίς να αυξάνουν την πίεση και λειτουργούν σαν θερμοστάτες (μικροδιακόπτες) ώστε να μην επιτρέπουν την έκθεση όταν το λάδι είναι πολύ θερμό.

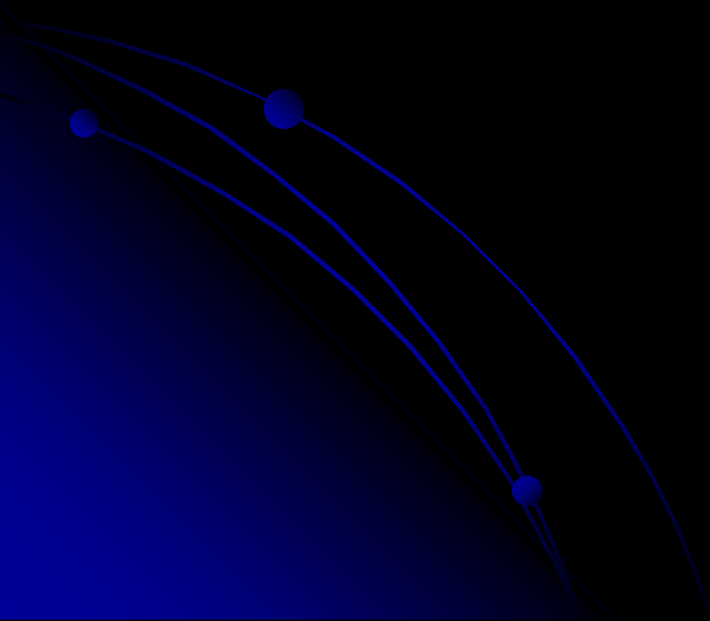
- Ακτινοβολία πέδησης
- Χαρακτηριστική Ακτινοβολία

Πρωτογενής: Δεν έχει υποστεί καμία αλληλεπίδραση με την ύλη, δηλ. μετά την έξοδο από της από την λυχνία.

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

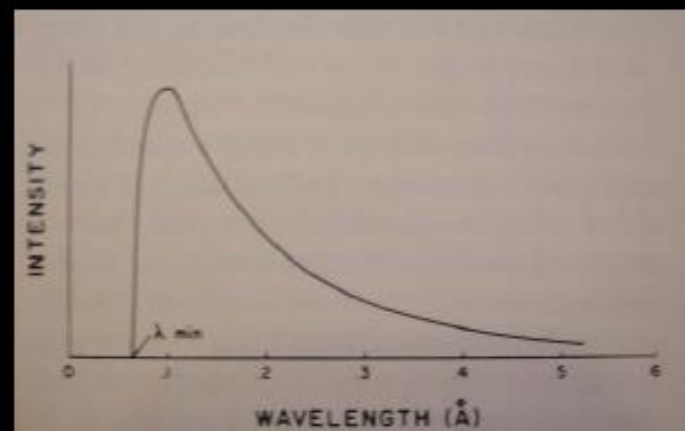
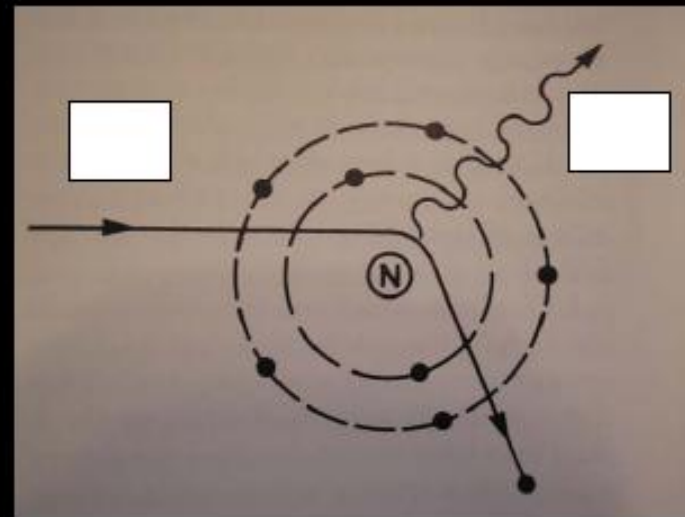
Λυχνία παραγωγής ακτίνων X

- $E=eV$ $e=1.6 \times 10^{-19}$ C
- $\Delta\Delta=kV\rho$ και $E=\text{κιλοηλεκτρονιοβολτ}$
- Όχι ίδια ταχύτητα
-



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

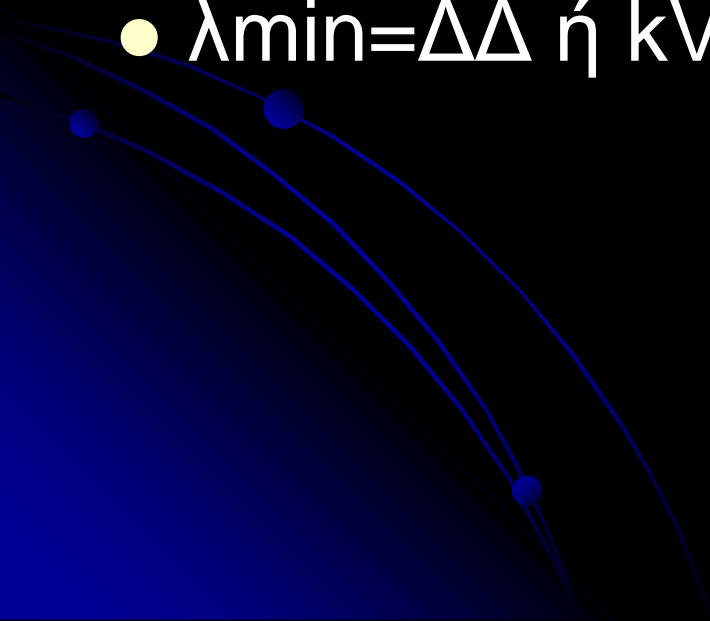


Ακτινοβολία πέδησης, γενική ή συνεχής

- μετωπικά= απόδοση όλης της ενέργειας
- Φωτόνια διαφόρων ενεργειών
- 99% θερμότητα
- Ενέργεια αντίστροφος ανάλογη με το μήκος κύματος
- $\lambda_{\min}=12.4/kV_p$
- $100kV_p=100keV$, μήκος κύματος 0.124 Angstroms

Ακτινοβολία πέδησης

- Συνεχές φάσμα γιατί έχουν διαφορετική ενέργεια. Διαφορετική ταχύτητα και διαφορετική απόδοση ενέργειας.
- $\lambda_{\min} = \Delta\Delta$ ή kVp



Χαρακτηριστική Ακτινοβολία

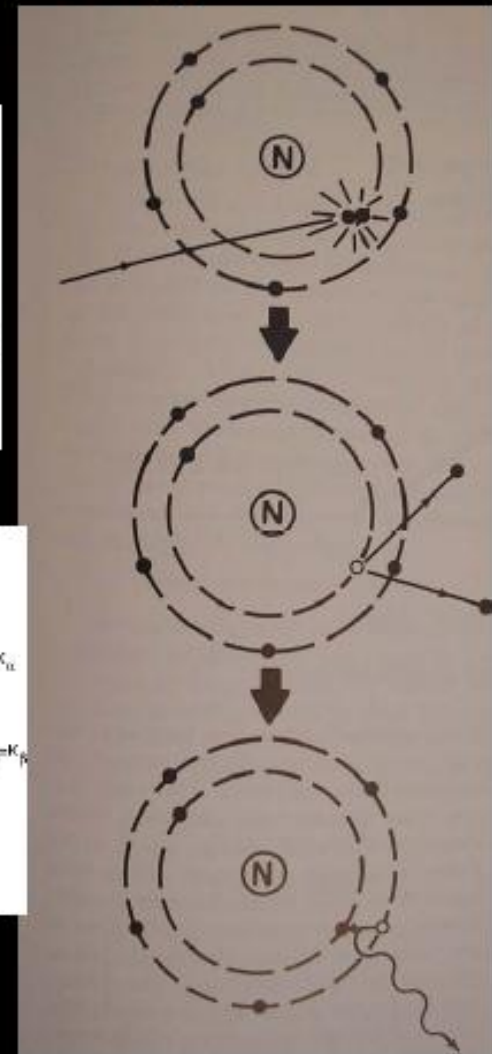
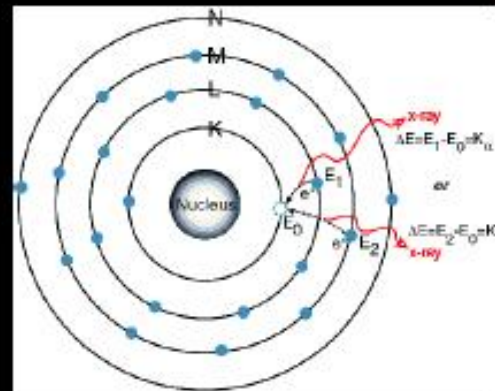
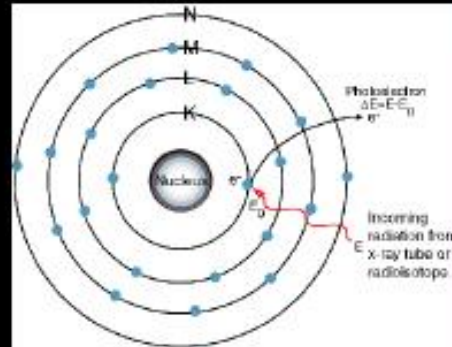
- Εκτόπιση ηλεκτρονίου, το άτομο γίνεται θετικό ιόν.

Περίσσεια ενέργειας

- Ένα επιπλέον ηλεκτρόνιο μπορεί να εκδιωχθεί (Auger) απορροφώντας την ενέργεια αυτή.
- Περισσότερες πιθανότητες εκπομπή φωτονίου.

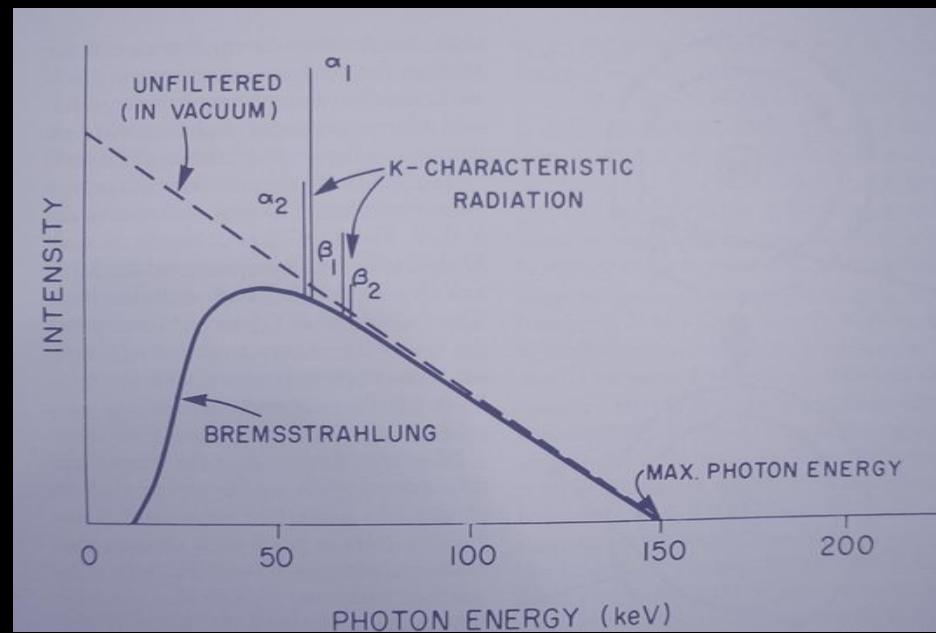
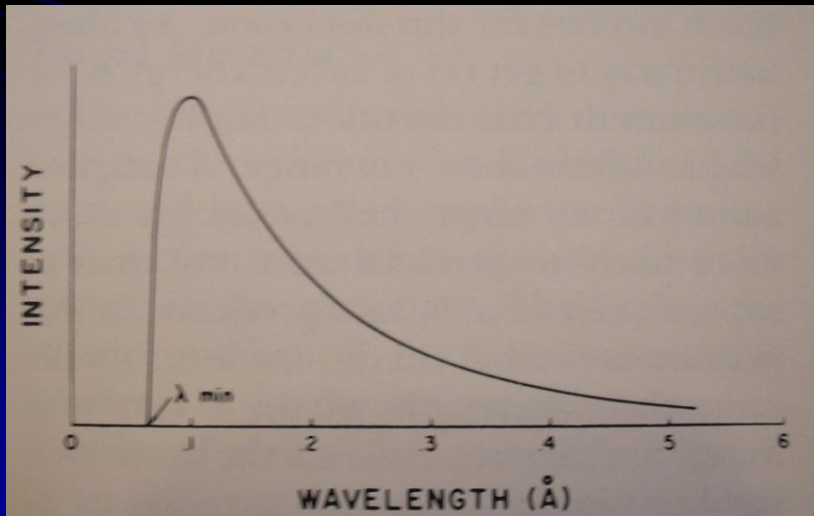
Φαινόμενο αποδιεγέρσεως

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

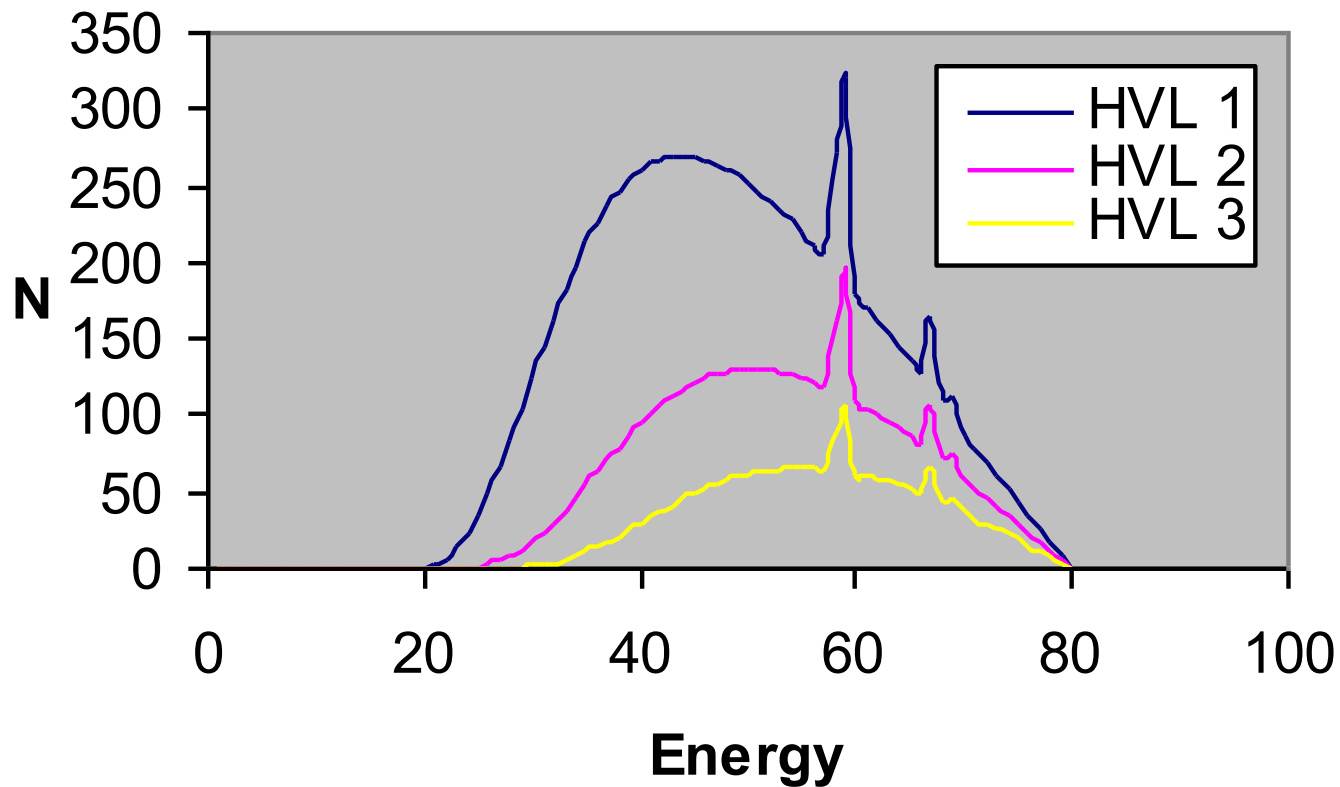


Χαρακτηριστική Ακτινοβολία

- Κ στοιβάδα = 70 keV, L= 11 keV, M= 2keV, N= 0,..keV
- 10% στα 80kVp, 28% στα 150kVp
-



80kVp spectrum transmitted through HVLs



Ένταση της Δέσμης

- Αριθμός φωτονίων χE του κάθε φωτονίου
- R/min

Ένταση της Δέσμης

kVp, mA, υλικό ανόδου, φίλτρα



Ένταση της Δέσμης

- Αριθμός φωτονίων χE του κάθε φωτονίου
- R/min

Ένταση της Δέσμης

kVp, mA, υλικό ανόδου, φίλτρα



Υλικό ανόδου

- Ποσότητα ($Z=74$) Υψηλός Αριθμός φωτονίων.
- Ποιότητα χαρακτηριστικών φωτονίων, λόγω ενέργειας στοιβάδων.
- Εστία από Μολυβδαίνιο
- Χαμηλός Z και kVp μειωμένη ακτινοβολία πέδησης.

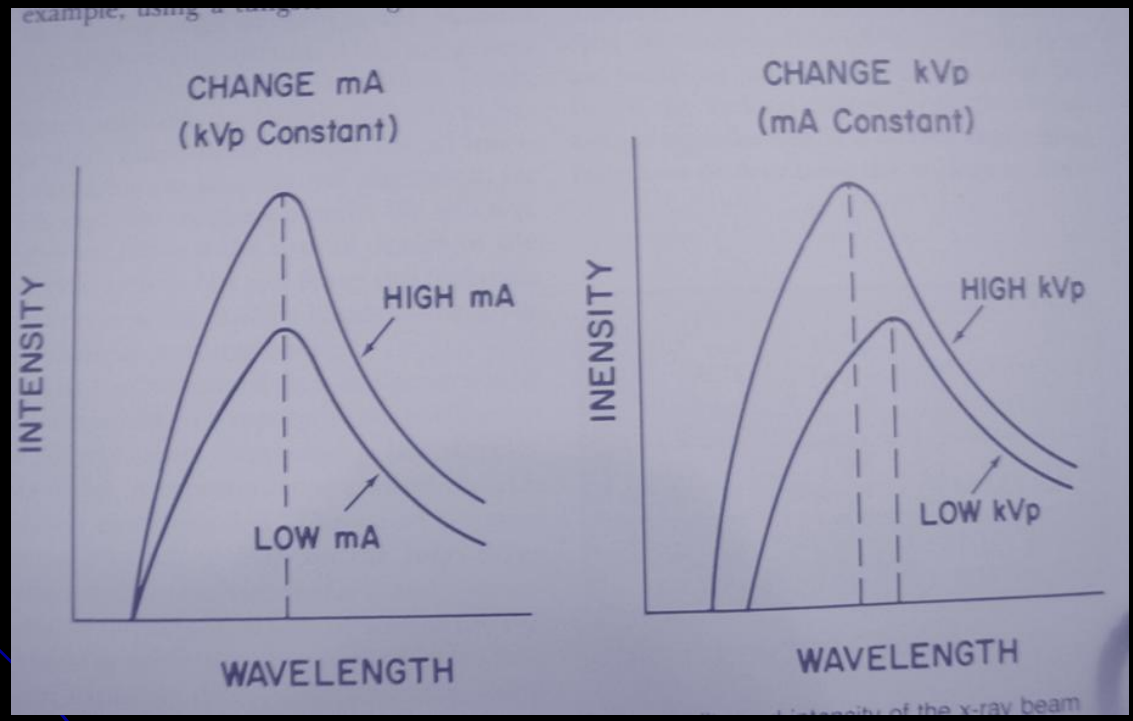


- Ποιότητα (Επίπεδο- Υψηλά)
- Ένταση= kVp^2
- Ποσότητα στα χαμηλά kVp (Δ. κορεσμού)

mAs = Ποσότητα



example, using a tungsten target



intensity of the x-ray beam

Εφαρμογές - Νόμος του αντιστρόφου του τετραγώνου της απόστασης

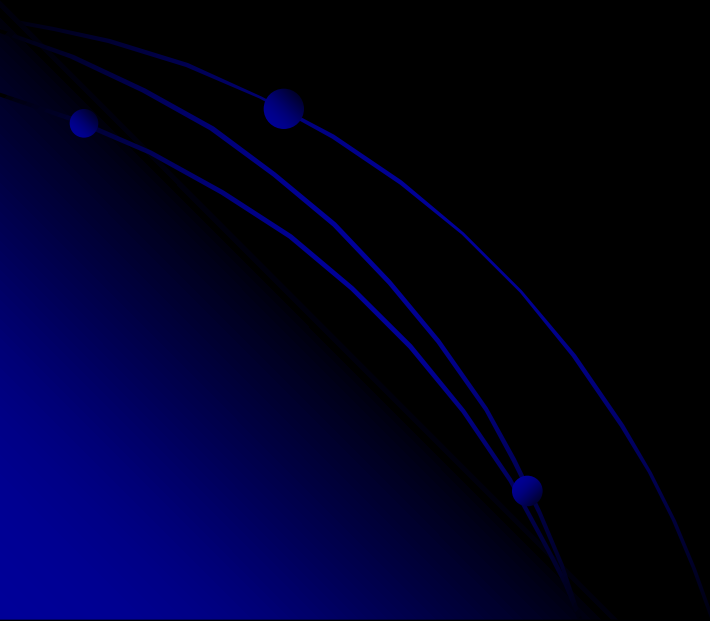
- Ακτινοπροστασία τεχνολόγου - περιβάλλοντος
- Απόσταση
- Παράγοντες έκθεσης
- Τροποποίηση των παραγόντων έκθεσης ώστε να προκύψει συγκεκριμένη ΟΠ για διαφορετικές ΕΑ

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

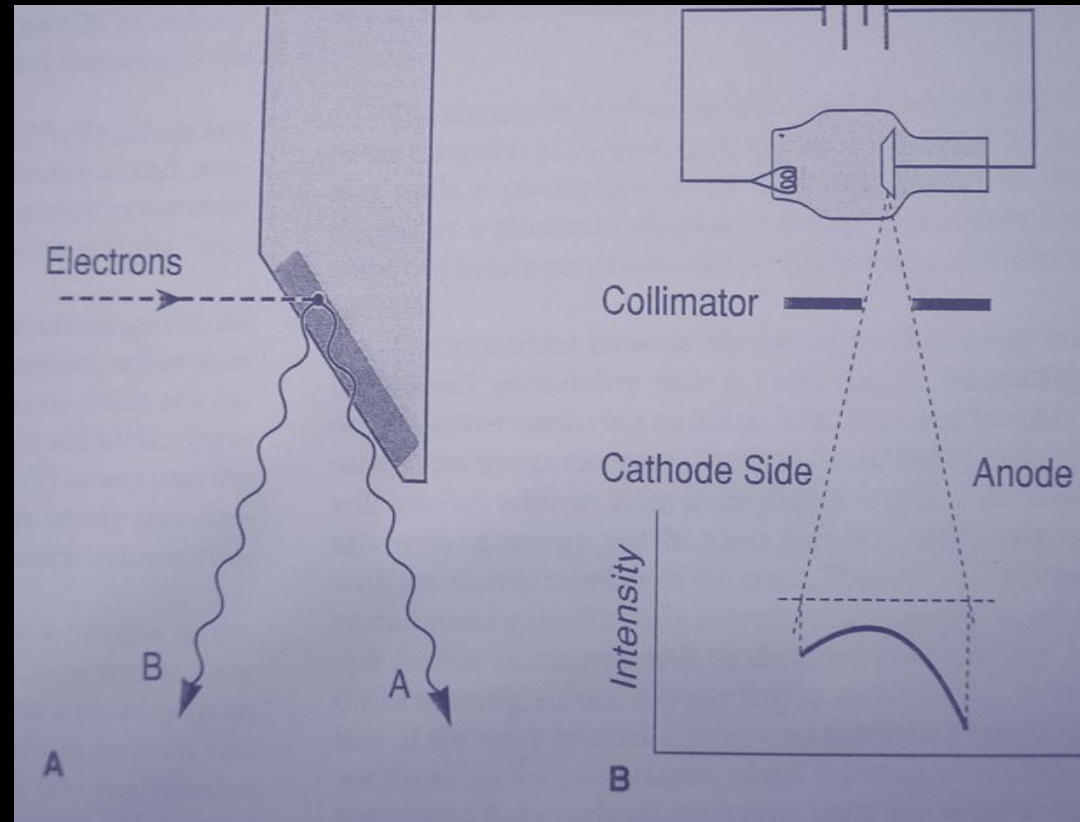
$$\frac{mAs_1}{mAs_2} = \frac{d_1^2}{d_2^2}$$

- 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.

- Κάθοδος

- Βολφράμιο

- Όχι εξάχνωση

- Σ.Τ. 3370⁰

- Καπέλο εστίασης

- Άνοδος

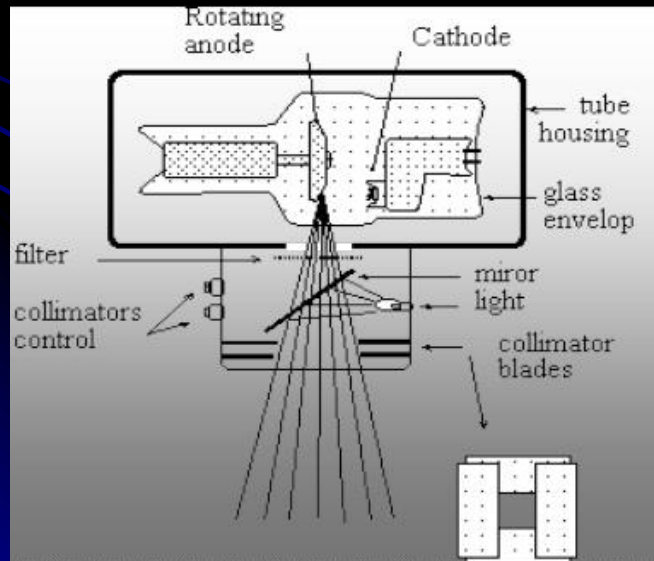
- Βολφράμιο

- Όχι εξάχνωση

- Σ.Τ. 3370⁰

- Υψηλό Z

- Υψηλή Θερμική αγωγιμότητα και χωρητικότητα



- Κάθοδος

- Βολφράμιο

- Όχι εξάχνωση

- Σ.Τ. 3370⁰

- Καπέλο εστίασης

- Άνοδος

- Βολφράμιο

- Όχι εξάχνωση

- Σ.Τ. 3370⁰

- Υψηλό Z

- Υψηλή Θερμική αγωγιμότητα και χωρητικότητα

