



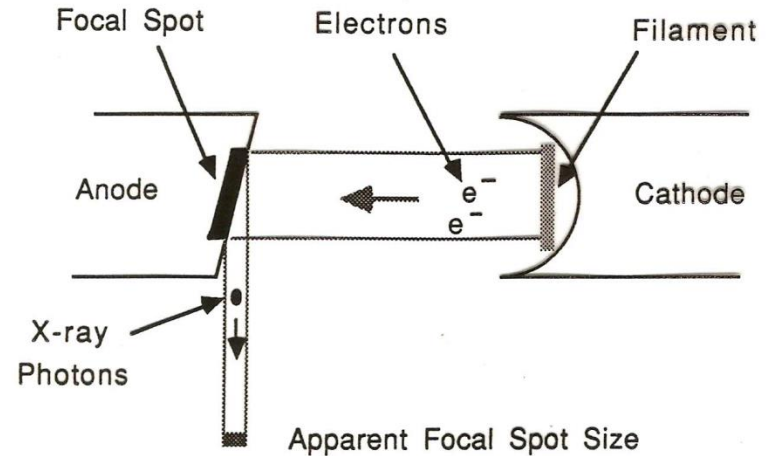
ΔΗΜΟΚΡΙΤΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΡΑΚΗΣ  
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΣΤΗΜΙΚΗΣ

**Βιοϊατρική Τεχνολογία**  
**9<sup>ο</sup> Εξάμηνο**  
**Μάθημα 4<sup>ο</sup>**

Διδάσκων: Καθηγητής Αλέξανδρος Ρήγας  
Συνεπικουρία: Σπύρογλου Ιωάννης

# Γεννήτρια Ακτίνων – Χ

- Γεννήτρια Ακτίνων – Χ: Η βασική κατασκευή μιας λυχνίας ακτίνων – Χ περιγράφεται στο σχήμα 1.9.
- Τα ηλεκτρόδια περικλείονται σε μία λυχνία κενού, η οποία επιτρέπει ανεξάρτητο έλεγχο του αριθμού και της ταχύτητας των επιταχυνόμενων ηλεκτρονίων τα οποία κτυπούν την άνοδο που περιέχει βολφράμιο.
- Η παρουσία αερίου μπορεί να επιφέρει μεταβολή στον αριθμό των ηλεκτρονίων και να μειώσει την ταχύτητα.
- Η κάθοδος αποτελείται από δύο στοιχεία:
  - Το νήμα (filament) που κατασκευάζεται από βολφράμιο
  - Το μεταλλικό κύπελλο για τη συγκέντρωση των ηλεκτρονίων που εκπέμπονται από την άνοδο.



Βασικές γνωστώδες μιας λυχνίας ακτίνων-Χ

# Γεννήτρια Ακτίνων – Χ

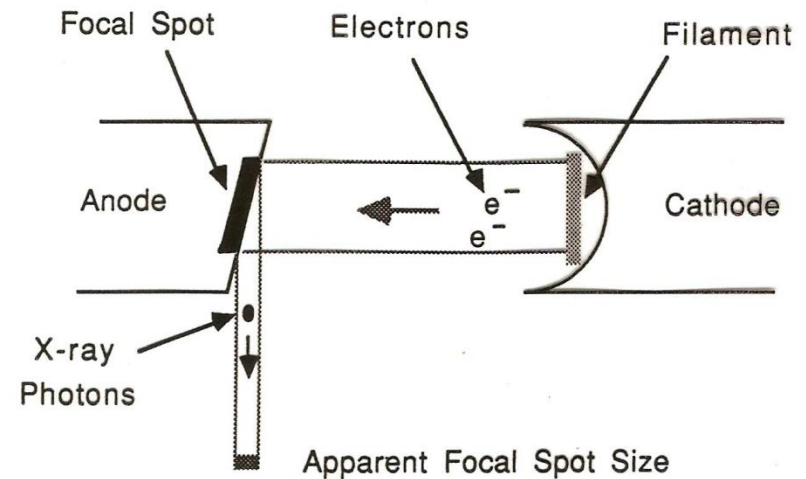
- Το νήμα είναι μια ελικοειδής σπείρα από σύρμα βολφραμίου με διάμετρο 0.2mm περίπου. Η σπείρα έχει προσεγγιστεί 0.2cm διάμετρο και μήκος 1cm.
- Όταν το ρεύμα τροφοδοτείται μέσω του σύρματος, το σύρμα θερμαίνεται. Η θερμοκρασία θα απορροφηθεί από τα ηλεκτρόνια που βρίσκονται στο σύρμα. Όταν η θερμοκρασία φτάσει σε ένα ορισμένο επίπεδο, τα ηλεκτρόνια απορροφούν αρκετή ενέργεια για να υπερνικήσουν το εμπόδιο της επιφάνειας και να ξεφύγουν από το μέταλλο.
- Αυτά τα ηλεκτρόνια που ξεφεύγουν, σχηματίζουν ένα νέφος γύρω από το νήμα και ονομάζονται **φορτίο χώρου**.
- **Επίδραση φορτίου χώρου** ονομάζεται η επίδραση κατά την οποία περιορίζεται η εκπομπή περισσότερων ηλεκτρονίων από το νήμα.

# Γεννήτρια Ακτίνων – Χ

- Τα ηλεκτρόνια παραμένουν γύρω από το νήμα επειδή η απώλεια των ηλεκτρονίων προκαλεί τη θετικοποίηση του νήματος. Αυτά τα ηλεκτρόνια που διαφεύγουν μπορούν να επιταχυνθούν προς την άνοδο εφαρμόζοντας ένα δυναμικό υψηλής τάσης.
- Το βολφράμιο είναι επιθυμητό στην εφαρμογή των ακτίνων – Χ επειδή:
  - Λιώνει σε πολύ υψηλή θερμοκρασία (3370°C)
  - Έχει μικρή τάση εξάτμισης
  - Είναι ανθεκτικό

# Η αρχή γραμμής εστίασης

- Το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας που μεταφέρεται από τα ηλεκτρόνια που βομβαρδίζουν το βολφράμιο στην άνοδο μετατρέπεται σε θερμότητα (στην πραγματικότητα το 99%).
- Επομένως μια μεγάλη κηλίδα συγκέντρωσης προτιμάται επειδή επιτρέπει τη συγκέντρωση μεγαλύτερων ποσοτήτων θερμότητας.
- Όμως επιθυμητή είναι μία μικρή κηλίδα συγκέντρωσης για τη δημιουργία καλύτερων εικόνων.
- Αυτό το πρόβλημα μπορεί να υπερνικηθεί χρησιμοποιώντας την αρχή γραμμής συγκέντρωσης όπως εξηγείται και στο διπλανό σχήμα. Η γωνία της ανόδου, που σχηματίζεται μεταξύ της κεκλιμένης επιφάνειας του στόχου και του επιπέδου είναι κάθετο στη δέσμη των ηλεκτρονίων κυμαίνεται μεταξύ  $5^\circ$  και  $15^\circ$ .



Βασικές γνωστώδες μιας μηχανής ακτίνων-X

# Η αρχή γραμμής εστίασης

- Το ενεργό μέγεθος συγκέντρωσης,  $f$ , σχετίζεται με το μήκος του πραγματικού μεγέθους συγκέντρωσης,  $F$ , στην άνοδο μέσω της σχέσης:

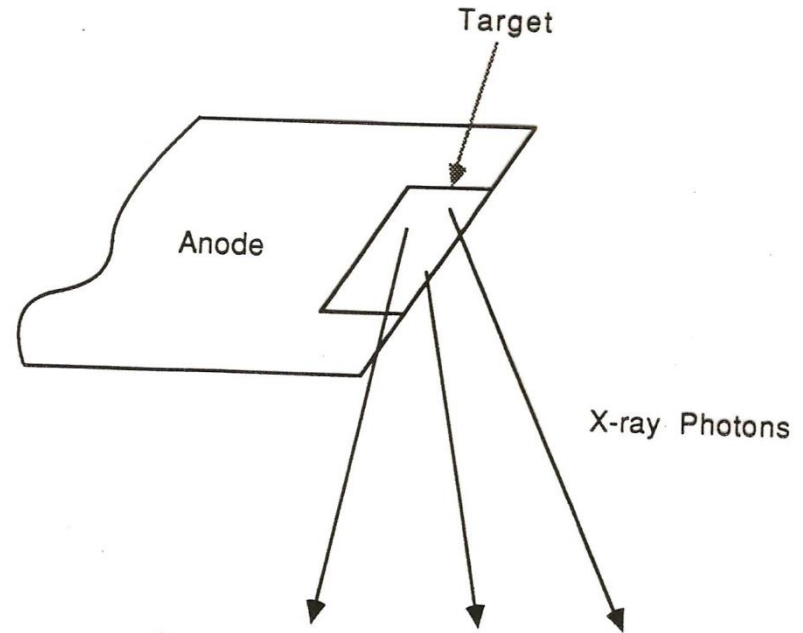
$$f = F \sin \theta,$$

όπου  $\theta$  είναι η γωνία ανόδου.

Είναι φανερό ότι μία μεγαλύτερη γωνία ανόδου παρέχει μία **μεγαλύτερη επιφάνεια βομβαρδισμού**, αλλά παράγει και μία μεγαλύτερη κηλίδα συγκέντρωσης.

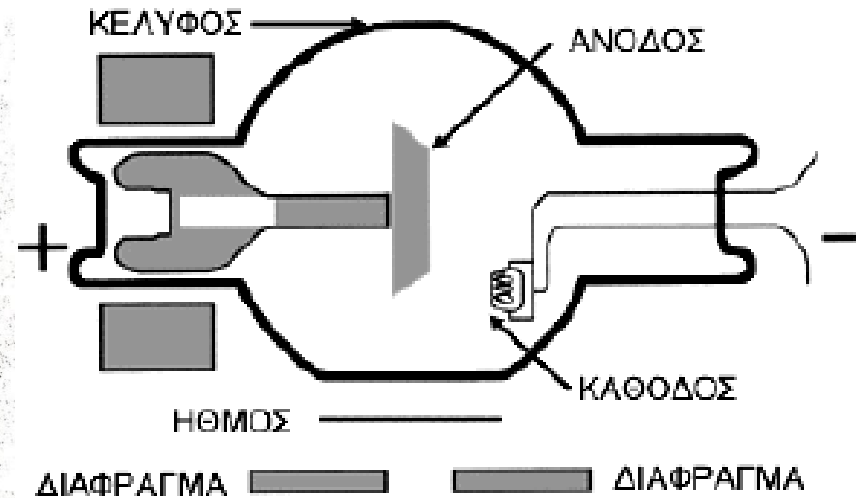
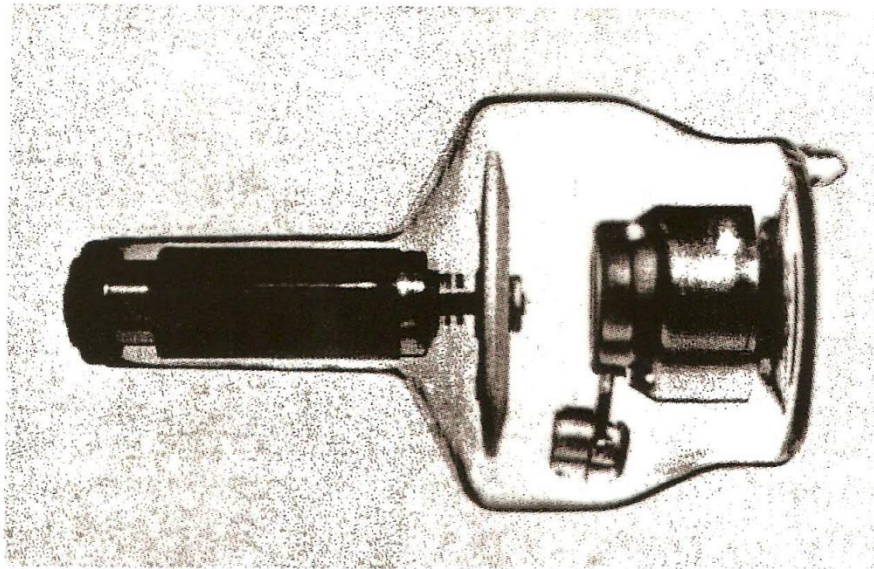
# Η αρχή γραμμής εστίασης

- Στην πράξη , η γωνία περιορίζεται λόγω της επίδρασης Heel (Σχήμα). Η ένταση που εγκαταλείπει τη λυχνία των ακτίνων – X δεν είναι ομοιόμορφη.
- Είναι μικρότερη στην κατεύθυνση της ανόδου επειδή τα φωτόνια που ταξιδεύουν σε συγκεκριμένες κατευθύνσεις πρέπει να διανύσουν μία μεγαλύτερη απόσταση στην κατεύθυνση της ανόδου από τις άλλες.
- Το πρόβλημα της θέρμανσης στην άνοδο μπορεί να ελαττωθεί περαιτέρω χρησιμοποιώντας μία περιστρεφόμενη άνοδο (3000 – 10000rpm), η οποία αυξάνει τη συνολική επιφάνεια του στόχου.



Επίδραση Heel

# Φωτογραφία και διάγραμμα λυχνίας ακτίνων - Χ.



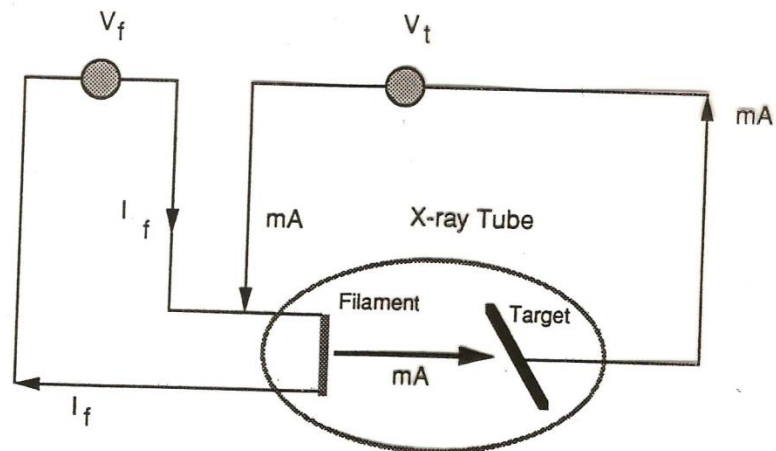
Σχηματικό διάγραμμα  
λυχνίας ακτίνων - Χ.

Φωτογραφία λυχνίας ακτίνων - Χ



# Αξιολόγηση των ακτίνων – X

- Ένας αριθμός παραγόντων μπορούν να επιδράσουν στην ένταση της δέσμης των ακτίνων – X που παράγεται από τη γεννήτρια:
  - Θερμοκρασία νήματος που ελέγχεται από το ρεύμα του νήματος ( $i_f$ )
  - Η διαφορά δυναμικού μεταξύ ανόδου και καθόδου
  - Ο αριθμός των ηλεκτρονίων που βομβαρδίζουν το στόχο στην άνοδο (ρεύμα λυχνίας,  $mA$ )
  - Το υλικό του στόχου
- Τα βασικά ηλεκτρικά κυκλώματα που εμπλέκονται σε μία γεννήτρια ακτίνων – X δείχνονται στο διπλανό σχήμα, όπου  $V_f$  είναι η πηγή για την παροχή του ρεύματος στο νήμα.



Ηλεκτρικά κυκλώματα που σχετίζονται με τη γεννήτρια ακτίνων – X

# Υλικό στόχου

- Όσο μεγαλύτερος είναι ο ατομικός αριθμός, τόσο μεγαλύτερη είναι η αποδοτικότητα της παραγωγής των ακτίνων – Χ.
  - Για παράδειγμα η πλατίνα (ατομικός αριθμός 78) παράγει μεγαλύτερη λευκή ακτινοβολία από το βολφράμιο (ατομικός αριθμός 74) για το ίδιο ρεύμα και δυναμικό της λυχνίας.

# Δυναμικό λυχνίας

- Το δυναμικό της λυχνίας  $V_t$  μπορεί να είναι dc ή ac ακολουθώντας ανόρθωση πλήρους – κύματος ή μισού – κύματος.
- Για ac γεννήτριες, το δυναμικό συνήθως μετριέται σε kilovolts κορυφής ( $kVp$ ). Η ένταση είναι ανάλογη του τετραγώνου του  $kVp$ .
- Η μέγιστη ενέργεια που παράγεται εξαρτάται επίσης από το δυναμικό.
- Τυπικά το δυναμικό της λυχνίας εκτείνεται από λίγα  $kVp$  μέχρι  $150kVp$ .

# Ρεύμα λυχνίας

- Ο αριθμός των φωτονίων των ακτίνων –  $X$  που παράγεται εξαρτάται από τον αριθμό των ηλεκτρονίων που χτυπούν το στόχο και επομένως πρέπει να εξαρτώνται από το ρεύμα της λυχνίας. Έχει βρεθεί ότι η ένταση σχετίζεται γραμμικά με το ρεύμα της λυχνίας.
- Τυπικά το ρεύμα της λυχνίας εκτείνεται από λίγα  $mA$  μέχρι λίγες εκατοντάδες  $mA$ .

# Ρεύμα νήματος

- Το ρεύμα της λυχνίας αυξάνει αρχικά καθώς το δυναμικό της λυχνίας αυξάνεται σε ένα σταθερό ρεύμα νήματος. Όμως καθώς η διαφορά δυναμικού αυξάνεται περαιτέρω, ένα σημείο θα επιτευχθεί πέρα από το οποίο μία αύξηση στη διαφορά δυναμικού δεν έχει επίδραση στο ρεύμα της λυχνίας. Αυτό το σημείο καλείται δυναμικό κορεσμού.
- Σε αυτήν την περιοχή, το ρεύμα περιορίζεται από τη θερμοκρασία ή το ρεύμα του νήματος. Τυπικές τιμές του ρεύματος είναι μερικά Amperes τα οποία μπορεί να είναι dc ή ac.

# Ρεύμα νήματος

- Οι παραπάνω παρατηρήσεις μπορούν να συνοψιστούν από την ακόλουθη σχέση για σταθερό  $i_f$ :

$$I \approx Z(mA)(kVp)^2 F,$$

Όπου  $I$  είναι η ένταση που εκπέμπεται από τη λυχνία των ακτίνων –  $X$ ,  $Z$  είναι ο ατομικός αριθμός του υλικού του στόχου και  $F$  είναι ο παράγοντας ανόρθωσης για το  $V_t$ , ο οποίος είναι 1 για συνεχές ρεύμα.

- Σημείωση:
  - Μία αλλαγή στο  $kVp$  έχει ως αποτέλεσμα μία αλλαγή στην  $E_{max}$ , τη μέγιστη ενέργεια που μπορεί να μεταφερθεί από ένα φωτόνιο ακτίνων –  $X$ , ενώ μία αλλαγή στο  $mA$  δεν προκαλεί αλλαγή στην  $E_{max}$ .

# Φίλτρα

- Το φιλτράρισμα στις ακτίνες  $\gamma$  περιγράφει μία διαδικασία παρόμοια με εκείνη στην επεξεργασία σημάτων, δηλ. μία διαδικασία απαλοιφής πληροφορίας σε ανεπιθύμητες συχνότητες από το σήμα εισόδου.
- Θα πρέπει να τονισθεί ότι οι ακτίνες  $\gamma$  που δημιουργούνται από τις λυχνίες ακτίνων  $\gamma$  είναι πολυχρωματικές. Μόνο ένα μέρος της ενέργειας του φάσματος είναι επιθυμητό, το οποίο φυσικά εξαρτάται από τη φύση της συγκεκριμένης εφαρμογής.
- Επομένως, η δόση ακτινοβολίας προς τον ασθενή μπορεί να ελαττωθεί σημαντικά με το φιλτράρισμα του ανεπιθύμητου μέρους του φάσματος των ακτίνων  $\gamma$ .
- Τα φωτόνια των ακτίνων  $\gamma$  που εκπέμπονται από την άνοδο μιας γεννήτριας ακτίνων  $\gamma$  κατά τη διάρκεια μίας εξέτασης απορροφώνται από την ίδια τη λυχνία των ακτίνων  $\gamma$ , τα φίλτρα ή τους απορροφητές και τον ασθενή πριν φθάσει τον ανιχνευτή ακτίνων  $\gamma$  όπως το φωτογραφικό φιλμ.

- Απορροφητές: Είναι συχνά λεπτά φύλλα μετάλλου που τοποθετούνται μεταξύ της πηγής των ακτίνων – X και του ασθενούς.
  - Το αργίλιο είναι ένας εξαιρετικός απορροφητής για ακτίνες – X μικρής ενέργειας, ενώ
  - ο χαλκός είναι πολύ χρήσιμος για ακτίνες – X υψηλής ενέργειας
- Στην πράξη ο χαλκός ποτέ δεν χρησιμοποιείται μόνος ως απορροφητής. Πάντοτε χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με το αργίλιο σαν ένα συνθετικό φίλτρο επειδή η χαρακτηριστική ακτινοβολία που παράγεται από το χαλκό είναι περίπου  $8keV$ , η οποία είναι αρκετά ισχυρή ώστε να φθάσει τον ασθενή και να αυξήσει τη δόση στο δέρμα.
- Συνεπώς, η λωρίδα του αργιλίου τοποθετείται κάτω από αυτήν του χαλκού για να απορροφήσει την ακτινοβολία αυτή.
- Μία λωρίδα αργιλίου  $3mm$  μπορεί να αποσβέσει περισσότερο από το 90% της ενέργειας των ακτίνων – X  $20keV$ . Η μη – ομοιόμορφη φύση της δέσμης των ακτίνων – X που παράγεται από μία γεννήτρια ακτίνων – X μπορεί να αντιμετωπισθεί από φίλτρα σχήματος σφήνας που είναι λεπτότερα στην πλευρά της ανόδου από ότι στην άλλη πλευρά.



# Περιοριστές δέσμης – πλέγματα

- 3 τύποι περιοριστών δέσμης ακτίνων – Χ:
  - Διαφράγματα ανοίγματος
  - Κώνοι και κύλινδροι
  - Παραλληλιστές (collimators)
- Η βασική λειτουργία ενός περιοριστή δέσμης είναι να ρυθμίζει το μέγεθος και το σχήμα της δέσμης. Μία ευθυγραμμισμένη δέσμη μπορεί να μειώσει την έκθεση του ασθενή και να παράγει μικρότερο ποσοστό ακτινοβολίας σκέδασης.

# Περιοριστές δέσμης – πλέγματα

- Το διάφραγμα ανοίγματος απεικονίζεται στο διπλανό σχήμα.

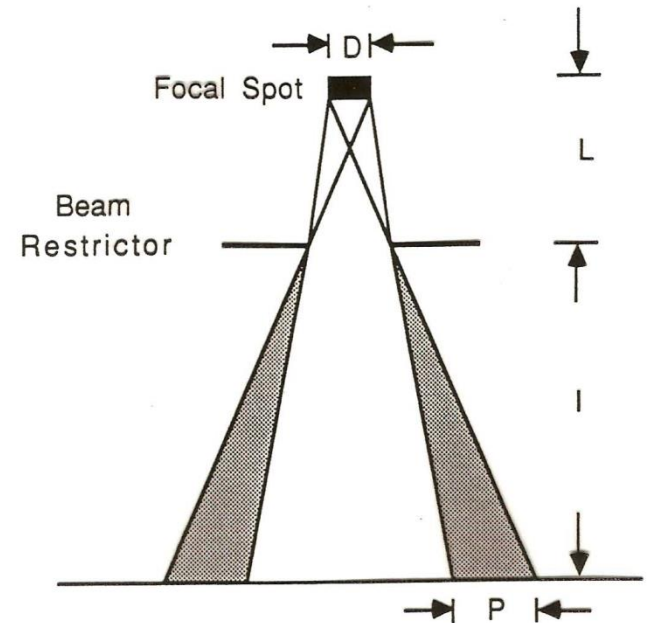
Αποτελείται βασικά από ένα φύλλο μολύβδου με ένα άνοιγμα στο κέντρο του οποίου το μέγεθος και το σχήμα καθορίζουν εκείνα της δέσμης των ακτίνων – X.

Το πλάτος του σκιασμένου μέρους  $P$  είναι ανάλογο της διαμέτρου της πηγής σύμφωνα με την παρακάτω σχέση:

$$P = \frac{D}{L} I,$$

όπου  $D$  το πλάτος της πηγής,  $L$  η απόσταση μεταξύ της πηγής και του αντικειμένου και  $I$  η απόσταση μεταξύ του αντικειμένου και του ανιχνευτή.

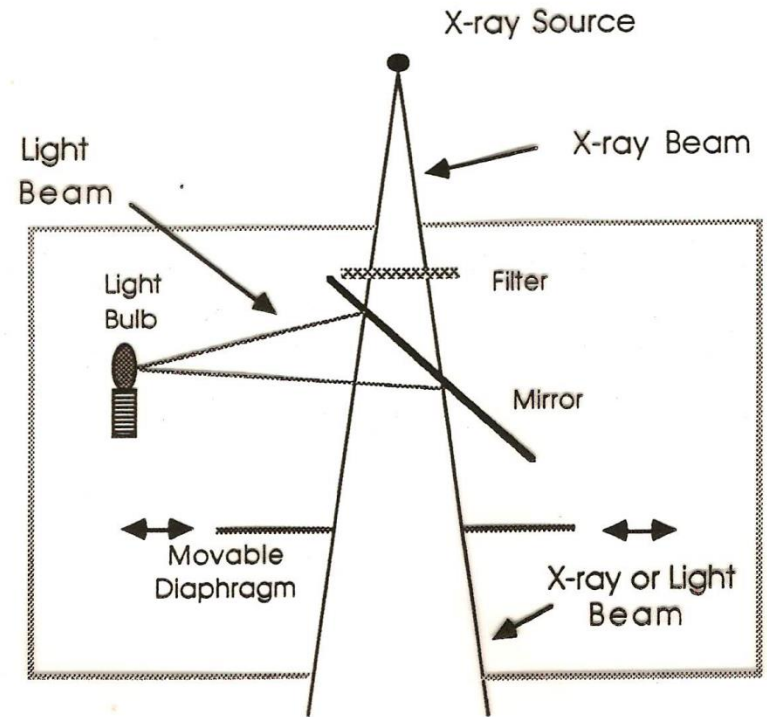
- Επομένως, για να μειώσουμε το σκιασμένο μέρος, η πηγή θα πρέπει να γίνει όσο το δυνατόν μικρότερη και το διάφραγμα να τοποθετείται όσο το δυνατόν πιο μακριά από την πηγή.



Επίδραση ενός περιοριστή δέσμης στις ακτίνες -X

# Παραλληλιστής δέσμης

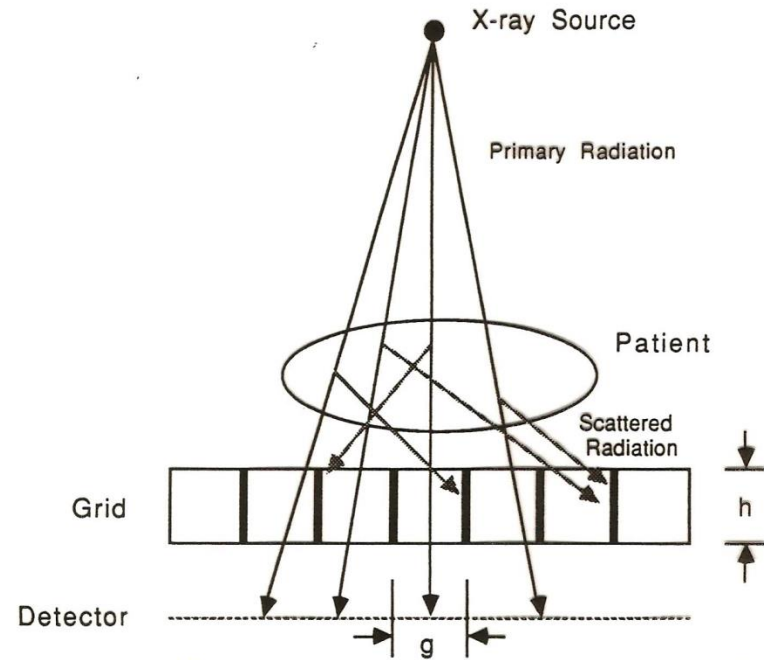
- Ο παραλληλιστής δέσμης είναι ο πιο δημοφιλής για δύο λόγους:
  - Το μέγεθος του πεδίου ακτίνων – X είναι ρυθμιζόμενο και μία δέσμη φωτός μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να υποδείξει το ακριβές μέγεθος του πεδίου. Η ρύθμιση αυτή περιγράφεται στο διπλανό σχήμα
- Το μέγεθος της δέσμης των ακτίνων – X προσαρμόζεται από το φορητό διάφραγμα φακού. Το πεδίο ακτίνων – X φωτίζεται από μία δέσμη φωτός από έναν ηλεκτρικό λαμπτήρα, ο οποίος είναι τοποθετημένος μέσα στον παραλληλιστή δέσμης στην ίδια απόσταση από το κέντρο του κατόπτρου, όπως η πηγή των ακτίνων – X.



φυσική κατασκευή ενός παραλληλιστή

# Παραλληλιστής δέσμης

- Οι ακτίνες – X που υφίστανται σκέδαση είναι θόρυβος που αλλοιώνει την ποιότητα της εικόνας και αυξάνει την έκθεση των ασθενών και για αυτό θα πρέπει να ελαχιστοποιηθεί.
- Ο πιο αποτελεσματικός τρόπος για την απομάκρυνση της ακτινοβολίας σκέδασης είναι το ακτινογραφικό πλέγμα το οποίο περιγράφεται στο σχήμα
- Το πλέγμα αποτελείται από μία σειρά φύλλων μολύβδου τα οποία χωρίζονται από διαφανή διαστήματα που μπορεί να είναι είτε από αλουμίνιο είτε από οργανικό υλικό.
- Το πλέγμα εμποδίζει την ακτινοβολία σκέδασης αφήνοντας να περάσει μόνο η αρχική ακτινοβολία



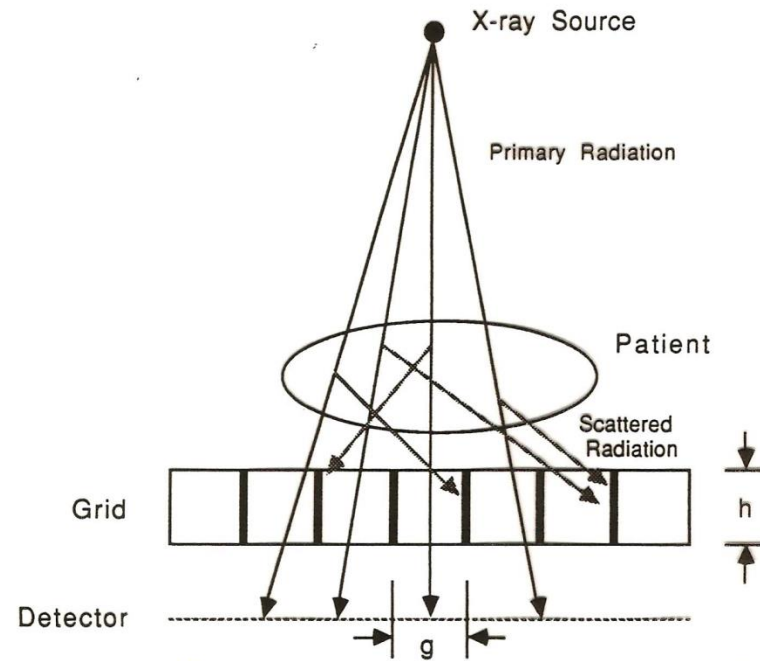
Φωτόνια εκέδασης μπορούν να μετακινηθούν με την τοποθέτηση ενός πλέγματος μεταξύ του ασθενούς και του ανιχνευτή ακτίνων-X

# Παραλληλιστής δέσμης

- Ο λόγος πλέγματος, ορίζεται ως  $h/g$  που είναι το πηλίκο μεταξύ του ύψους των φύλλων μολύβδου και του πλάτους του κενού μεταξύ τους.
- Αυτή η αναλογία συνήθως κυμαίνεται μεταξύ 4 και 16. Για ένα πλέγμα με ύψος  $2mm$ , πάχος φύλλου μολύβδου  $0.05mm$  και κενό μεταξύ φύλλων  $0.25mm$ , ο λόγος του πλέγματος είναι 8.
- Γίνεται φανερό λοιπόν ότι όσο μεγαλύτερος είναι ο λόγος πλέγματος, τόσο καλύτερη είναι η λειτουργία του πλέγματος στην απαλοιφή της ακτινοβολίας σκέδασης.
- Όμως πρέπει να θυμόμαστε ότι όταν ένα πλέγμα χρησιμοποιείται έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της έκθεσης των ασθενών εάν η ένταση των ακτίνων – X πίσω από το πλέγμα πρόκειται να κρατηθεί η ίδια όπως εκείνη πριν την είσοδο του πλέγματος.

# Παραλληλιστής δέσμης

- Το πλέγμα του σχήματος καλείται γραμμικό πλέγμα.
- Άλλες μορφές πλεγμάτων έχουν επίσης χρησιμοποιηθεί.
- Όταν οι λωρίδες του πλέγματος εστιάζονται προς την πηγή των ακτίνων – X, τότε το πλέγμα καλείται εστιακό πλέγμα.



Φωτόνια εκέδασης μπορούν να μετακινηθούν με την τοποθέτηση ενός πλέγματος μεταξύ του ασθενούς και του ανιχνευτή ακτίνων - X