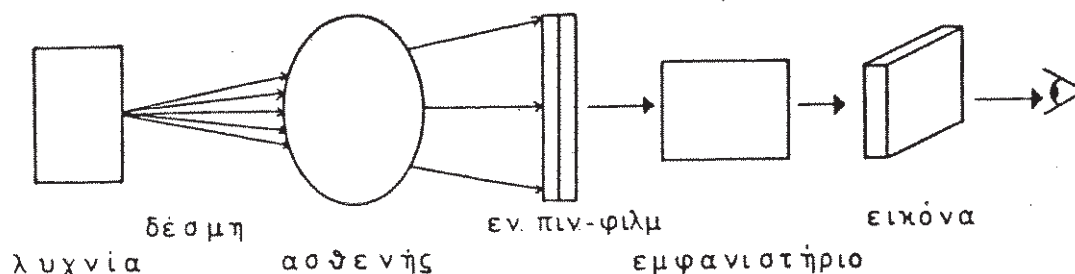


ΦΥΣΙΚΗ ΤΗΣ ΑΚΤΙΝΟΔΙΑΓΝΩΣΤΙΚΗΣ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το 1895 ο W.C. Roentgen ανακάλυψε τις ακτίνες X και τις πρώτες διαγνωστικές τους δυνατότητες. Σήμερα, λόγω της αλματώδους ανάπτυξης των Φυσικών Επιστημών και της Τεχνολογίας, η Ακτινοδιαγνωστική και γενικότερα η Ιατρική των Απεικονίσεων έχει εντυπωσιακή εξέλιξη. Στην Ακτινοδιαγνωστική εκμεταλλευόμαστε τη δυνατότητα αλληλεπίδρασης των ακτίνων X με την ύλη για να αποτυπώσουμε σ' ένα κατάλληλο ανιχνευτή μια "εικόνα" της εσωτερικής δομής του ασθενούς. Ο πιο διαδεδομένος ανιχνευτής εικόνας είναι το ακτινογραφικό φιλμ. Στο Σχήμα 1 φαίνεται σχηματικά ένα σύστημα ακτινογραφικής απεικόνισης. Οι ακτίνες X παράγονται στη λυχνία ακτίνων X και εκπέμπονται προς τον ασθενή. Ένα ποσοστό διαπερνά τον ασθενή και προσβάλλει το ακτινογραφικό φιλμ σχηματίζοντας μία αόρατη (λανθάνουσα) εικόνα. Μετά από κατάλληλη φυσικοχημική επεξεργασία η ακτινογραφική εικόνα γίνεται ορατή και μελετάται με τη βοήθεια διαφανοσκοπίου. Κατά την ακτινογραφική απεικόνιση δύο είναι οι βασικές απαιτήσεις: (α) Βελτιστοποίηση της ποιότητας ακτινοδιαγνωστικής εικόνας. Δηλαδή, άντληση όσο το δυνατόν περισσότερων χρήσιμων ακτινοδιαγνωστικών πληροφοριών (β) Ελαχιστοποίηση της έκθεσης σε ακτινοβολία του ασθενούς και του προσωπικού. Για την ικανοποίηση των απαιτήσεων αυτών, είναι αναγκαία η κατανόηση των φυσικών αρχών της Ακτινοδιαγνωστικής. Στις παραγράφους που ακολουθούν θα εξετασθούν οι αρχές αυτές και τα βασικά χαρακτηριστικά όρων των συνιστωσών της ακτινοδιαγνωστικής "αλυσίδας".



Σχήμα 1. Σχηματική παράσταση συστήματος ακτινοδιαγνωστικής απεικόνισης και παρατήρησης

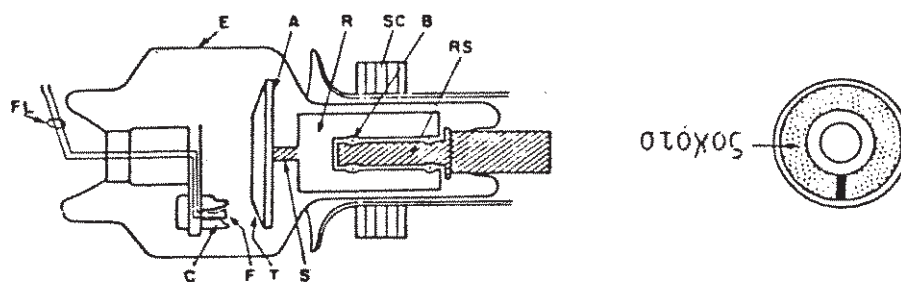
2. ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΑΚΤΙΝΩΝ Χ

Η παραγωγή των ακτίνων Χ είναι απαραίτητη προϋπόθεση για κάθε ακτινοδιαγνωστική διαδικασία. Η παραγωγή τους επιτυγχάνεται όταν δέσμη ηλεκτρονίων υψηλής ενέργειας προσπέσει σε κατάλληλο υλικό (στόχο). Η διαδικασία αυτή επιτυγχάνεται μέσα σε κατάλληλη διάταξη που καλείται ακτινοδιαγνωστική λυχνία ή λυχνία ακτίνων Χ. Στο κεφάλαιο αυτό θα εξετασθούν οι βασικές συνιστώσες και τα χαρακτηριστικά της λυχνίας καθώς και της δέσμης ακτίνων Χ.

2.1. Λυχνία Ακτίνων Χ.

Η λυχνία ακτίνων Χ είναι η πρώτη συνιστώσα της ακτινοδιαγνωστικής "αλυσίδας" και ουσιαστικά αποτελεί ένα σύστημα μετατροπής ενέργειας. Η ηλεκτρική ενέργεια μετατρέπεται σε κινητική ενέργεια ηλεκτρονίων και τελικά ένα μέρος της μετατρέπεται σε χρήσιμη ηλεκτρομαγνητική ενέργεια ακτίνων Χ. Το μεγαλύτερο μέρος της κινητικής ενέργειας των ηλεκτρονίων (~ 99%) μετατρέπεται σε θερμότητα. Οι πρώτες λυχνίες ακτίνων Χ αποτελούντο από ένα υάλινο κέλυφος που έφερε δύο ηλεκτρόδια και περιείχε αέριο χαμηλής πίεσης (καθοδικοί σωλήνες). Με επιβολή υψηλής τάσης μεταξύ των ηλεκτροδίων προκαλείται ιονισμός του αερίου. Τα ηλεκτρόνια επιταχυνόμενα προσκρούουν στην άνοδο και παράγεται ακτινοβολία Χ.

Το 1913 ο Coolidge εφεύρε μία συσκευή ακτίνων Χ στην οποία τα ηλεκτρόνια απελευθερώνονται από ένα πυρακτωμένο νήμα (θερμιονική εκπομπή). Οι σύγχρονες λυχνίες ακτίνων Χ αποτελούν εξέλιξη του σωλήνα του Coolidge. Τα κυριώτερα μέρη μίας σύγχρονης λυχνίας ακτίνων Χ δείχνονται στο Σχήμα 2' και είναι: (α) Μία πηγή ηλεκτρονίων (νήμα). (β) Ένας χώρος υψηλού κενού μέσα στον οποίο επιταχύνονται τα ηλεκτρόνια. (γ) Μία υψηλή διαφορά δυναμικού. (δ) Μία κοιλότητα εστίασης της ηλεκτρονικής δέσμης και (ε) ένας στόχος όπου προσπίπτουν τα ηλεκτρόνια και παράγονται οι ακτίνες Χ.



Σχήμα 2.: Λυχνία ακτίνων Χ: FL = καλώδια νήματος, F=νήμα, G=κοιλότητα εστίασης, A= άνοδος, T= στόχος, S= άξονας περιστροφής ανόδου, R=ρότορας B= τριβέας (ρουλιάν), RS= στήριγμα ρότορα, SC= πηνία στάτορα και E=υάλινο περίβλημα. Με κουκίδες σημειώνεται η θωρίδα της περιστρεφόμενης ανόδου όπου προσπίπτει η δέσμη των ηλεκτρονίων.

2.1.1. Νήμα και κοιλότητα εστίασης

Η πηγή των ηλεκτρονίων στη λυχνία είναι το νήμα. Σαν μέθοδος παραγωγής ηλεκτρονίων χρησιμοποιείται η θερμιοτική εκπομπή. Με τον όρο αυτό εννοείται η εξαγωγή ηλεκτρονίων από ένα μέταλλο όταν αυτό απορροφά κάποιο ποσό θερμότητας.

Ο ρυθμός εξαγωγής ηλεκτρονίων από το μέταλλο εξαρτάται από τρεις παράγοντες: Από τη θερμαινόμενη επιφάνεια, από το "έργο εξαγωγής" των ηλεκτρονίων και από τη θερμοκρασία. Σαν "έργο εξαγωγής" ορίζεται η ενέργεια που απαιτείται για την εξαγωγή ενός ηλεκτρονίου από το μέταλλο και είναι χαρακτηριστική για κάθε υλικό. Φυσικά, για συγκεκριμένο νήμα ο ρυθμός εξαγωγής ηλεκτρονίων καθορίζεται μόνο από την θερμοκρασία. Η θερμοκρασία αυτή καθορίζεται από την ένταση του ρεύματος που διαρρέει το νήμα με τη βοήθεια ενός θερμαντικού κυκλώματος. Το πιο κατάλληλο υλικό για το νήμα είναι το βορφαράμιο και θερμαίνεται σε περίπου 2200°C.

Οι κυριώτεροι λόχοι που οδήγησαν στην επιλογή του βορφαράμιου είναι: (α) Επιτρέπει τον ακριβή έλεγχο του ρυθμού εξαγωγής ηλεκτρονίων. (β) Έχει υψηλό σημείο τήξεως (3387°C). (γ) Επιτρέπει την κατασκευή ανθεκτικών νημάτων μικρού πάχους. (δ) Δεν καταστρέφεται εύκολα από τα θετικά ιόντα μεγάλης ενέργειας που προσπίπτουν στο νήμα. (ε) Δεν εξαχνώνεται εύκολα.

Το νήμα έχει μορφή ελικοειδούς ελατηρίου. Έτσι επιτυγχάνεται μεγαλύτερη θερμαινόμενη επιφάνεια και ταυτόχρονα η παραγωγή ηλεκτρονικής δέσμης μικρής διατομής. Επειδή συχνά απαιτείται ακόμα υψηλότερος ρυθμός εκπομπής θερμικών ηλεκτρονίων ή εκθέσεις μεγάλης χρονικής διάρκειας, πολλές σύγχρονες λυχνίες έχουν και ένα δεύτερο ελικοειδές νήμα μεγαλύτερου μήκους. Τα νήματα περιβάλλονται από ένα κύλινδρο από μολυβδαίνιο που αποτελεί ένα σύστημα εστίασης της ηλεκτρονικής δέσμης. Το σύστημα αυτό εξαναγκάζει τη δέσμη ηλεκτρονίων που κατευθύνεται προς το στόχο να προσπίπτει σ' αυτόν στο επιθυμητό

μέγεθος και σχήμα. Δηλαδή, η κοιλότητα εστίασης όρο σαν ηλεκτροστατικός φακός και μαζί με τα δύο νήματα αποτελεί την κάθοδο της θυχνίας.

2.1.2. Άνοδος.

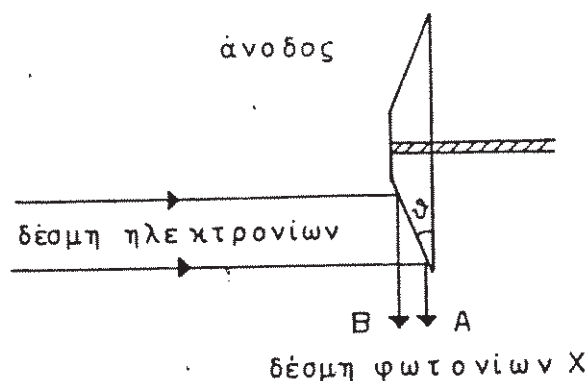
Τα ηλεκτρόνια που ελευθερώνονται στο νήμα πρέπει να επιταχυνθούν για να αποκτήσουν υψηλή κινητική ενέργεια. Η επιτάχυνσή τους επιτυγχάνεται μ' ένα δεύτερο ηλεκτρόδιο (άνοδος) που είναι θετικό ως προς την κάθοδο. Η περιοχή της ανόδου στην οποία προσκρούουν τα ηλεκτρόνια καλείται στόχος. Το υλικό του στόχου είναι συνήθως βολφράμιο διότι πληρεί ικανοποιητικά τα παρακάτω χαρακτηριστικά: (α) Υψηλό ατομικό αριθμό ($z=74$) για αποδοτική παραγωγή ακτινοβολίας Χ. (Στη μαστογραφία χρησιμοποιείται μόλυβδαίνιο ($z=82$) διότι η χαρακτηριστική του ακτινοβολία κείται στην χρήσιμη περιοχή ενεργειών). (β) Υψηλό σημείο τήξεως ($\theta=3387^{\circ}\text{C}$) για να αποφευχθεί τήξη του στόχου λόγω υπερθέρμανσης. (γ) Υψηλή θερμική αγωγιμότητα. (δ) Δεν εξαχνώνεται εύκολα. (ε) Υψηλή πυκνότητα για την απορρόφηση των ηλεκτρονίων σε στόχο μικρού όγκου. (ζ) Μηχανική αντοχή στις υψηλές θερμοκρασίες. Για την επίτευξη της συχνά χρησιμοποιείται κράμα με 90% βολφράμιο και 10% ρήνιο. Το κράμα αυτό είναι πολύ ανθεκτικό σε επιφανειακές φθορές ενώ παρουσιάζει μεγαλύτερη θερμική χωρητικότητα από το καθαρό βολφράμιο.

2.1.3. Αρχή της γραμμικής πηγής (εστίας).

Η πηγή των ακτίνων Χ (εστία) πρέπει να ικανοποιεί δύο αντικρουόμενες απαιτήσεις: Πρέπει να έχει (α) μεγάλες διαστάσεις για να αντέχει σε μεγάλα θερμικά φορτία και (β) μικρές διαστάσεις για κεντρική προβολή του ασθενούς πάνω στο φιλμ (μικρή παρασκιά). Το πρόβλημα αυτό επιλύθηκε ως ένα βαθμό το 1918 με την τεχνική που λέγεται "αρχή της γραμμικής πηγής" (εστίας). Το Σχ. 3 βοηθάει στην κατανόησή της. Εστω θ η γωνία του κόλλουρου κώνου της ανόδου. Η γωνία αυτή είναι 6° έως 20° . Λόγω της κλίσης αυτής όταν η εστία παρατηρείται από την κατεύθυνση που εξέρχεται η δέσμη η μία της διάσταση φαίνεται μικρότερη. Η φαινόμενη αυτή διάσταση είναι:

$$f' = f \cdot \eta \mu \theta \quad (1)$$

Η εστία αυτή καλείται γραμμική ή εστία Goetze. Όσο η γωνία θ μειώνεται, τόσο μικρότερη γίνεται η φαινόμενη διάσταση f' . Φυσικά δεν μπορεί να γίνει $\theta=0$ διότι θα ελαμβάνετο ένας ιδιαίτερος μικρός αριθμός φωτονίων Χ.



Σχήμα 3.: Αρχή της γραμμικής εστίας.

Ταυτόχρονα επειδή η παραγωγή ακτίνων X δεν γίνεται στην επιφάνεια του στόχου αλλά σε διάφορα βάθη μέσα στο υλικό, προκαλείται η εμφάνιση ανομοιογένειας στη χωρική κατανομή της έντασης ακτινοβολίας. Η δέσμη εμφανίζεται εξασθενημένη στην περιοχή που βρίσκεται προς την πλευρά της ανόδου (σημείο A). Το φαινόμενο αυτό είναι γνωστό σαν "φαινόμενο πτέρνας" (heel effect) και αυξάνει όσο μειώνεται η κλίση της ανόδου.

2.1.4. Περιστρεφόμενη άνοδος.

Ενα ακόμη βήμα για την αντιμετώπιση της υπερθέρμανσης της ανόδου αποτελεί η ανάπτυξη της περιστρεφόμενης ανόδου ή ανόδου του Bouwers το 1930. Σήμερα σταθερές άνοδοι συναντώνται σε ορισμένες κατηγορίες ρυχνιών, όπως σε φορητά και οδοντιατρικά ακτινολογικά μηχανήματα καθώς και σε ρυχνίες για ακτινοθεραπεία. Η περιστρεφόμενη άνοδος αποτελείται από ένα κόλλουρο κώνο που κατασκευάζεται από βορφράμιο ή από διαδοχική επίστρωση διαφόρων μετάλλων, όπως κράμα βορφραμίου-ρηνίου πάνω σε μολυβδαίνιο ή γραφίτη. Η διάμετρος του δίσκου αυτού είναι 75mm έως 125 mm. Στην περιστρεφόμενη άνοδο αξιοποιείται και η αρχή της γραμμικής εστίας, όπως φαίνεται στα Σχήματα 2 και 3. Η ταχύτητα περιστροφής της ανόδου είναι συνήθως 3000 στρ/min. Αποτέλεσμα της περιστροφής είναι η διασπορά της θερμότητας που αναπτύσσεται σε κάποια έκθεση σε μία κυκλική λωρίδα της επιφάνειας της ανόδου όπως δείχνεται στο Σχήμα 2.

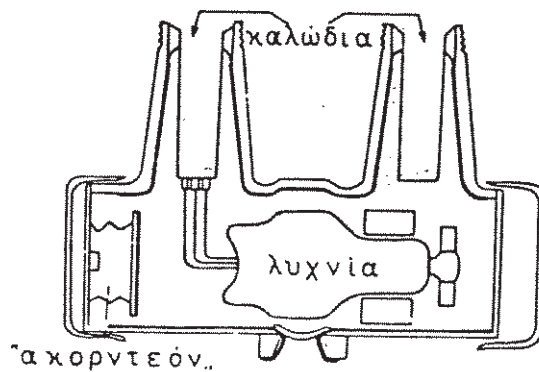
Όταν η χρονική διάρκεια έκθεσης είναι πολύ μικρή (π.χ. 10ms) η άνοδος δεν προλαβαίνει να εκτελέσει ολόκληρη περιστροφή στις 3000 στρ/min με αποτέλεσμα να μην αξιοποιείται ολόκληρη η θερμοχωρητικότητά της. Για το λόγο αυτό έχουν κατασκευασθεί άνοδοι με ταχύτητα περιστροφής της τάξης των 10.000 στρ/min. Η περιστροφή της ανόδου επιτυγχάνεται με μαγνητικό πεδίο που παράχεται από τα πηνία του στάτορα ηλεκτροκινητήρα που περιβάλλει το υάλινο περίβλημα της ρυχνίας προς την πλευρά της ανόδου, όπως φαίνεται στο Σχ. 2. Το μαγνητικό πεδίο δημιουργεί ρεύμα εξ επαγωγής στον ρότορα του ηλεκτροκινητήρα με αποτέλεσμα την περιστροφή της ανόδου.

Η μεγάλη ταχύτητα περιστροφής της ανόδου δημιουργεί σημαντικά μηχανικά προβλήματα. Αν δεν έχει ζυχοσταθμισθεί σωστά προκαλούνται κραδασμοί με κίνδυνο να σπάσει το υάλινο περίβλημα της λυχνίας. Κίνδυνος υπάρχει και όταν η συχνότητα περιστροφής της ανόδου γίνει ίση με την ιδιοσυχνότητα του συστήματος διότι προκαλείται συντονισμός. Συντονισμός είναι απίθανο να συμβεί ακριβώς στη συχνότητα λειτουργίας της ανόδου. Μπορεί όμως να συμβεί κατά την επιτάχυνση ή επιβράδυνσή της. Για το λόγο αυτό η άνοδος μεταβαίνει γρήγορα από την κατάσταση ηρεμίας στη μέγιστη ταχύτητα περιστροφής και αντιστρόφως. Έτσι διέρχεται γρήγορα από τις κρίσιμες ιδιοσυχνότητες του συστήματος. Απόρροια αυτής της απαίτησης είναι η κατασκευή ανόδων που εμφανίζουν μικρή αδράνεια. Αυτό επιτυγχάνεται με μείωση του βάρους της ανόδου καθώς και του μήκους διατομής του άξονα περιστροφής της.

2.1.5. Κέλυφος λυχνίας.

Η λυχνία ακτίνων Χ είναι τοποθετημένη μέσα σε ειδικό κέλυφος όπως δείχνεται στο Σχήμα 4. Αυτό κατασκευάζεται συνήθως από χάλυβα ή κράμα αλουμινίου και φέρει επένδυση μολύβδου. Μεταξύ κελύφους και υάλινου περιβλήματος υπάρχει λάδι. Το λάδι είναι απαραίτητο γιατί συμβάλλει στην ηλεκτρική μόνωση της λυχνίας και στη γρήγορη απαχωγή της θερμότητας από τη λυχνία προς το περιβάλλον.

Το κέλυφος της λυχνίας εξυπηρετεί τους παρακάτω σκοπούς. (α) Φέρει τη λυχνία και προσφέρει μηχανική προστασία σ'αυτήν. (β) Παρέχει θερμική προστασία και ακτινοπροστασία σε ασθενή και προσωπικό. (γ) Προσφέρει θερμική προστασία στη λυχνία με τη βοήθεια του λαδιού που περιέχει. Το λάδι λόγω αύξησης της θερμοκρασία του διαστέλλεται. Γι αυτό το κέλυφος φέρει ένα μεταλλικό "ακορντεόν" που επιτρέπει την αυξομείωση του όγκου του λαδιού. (δ) Φέρει το στάτορα του ηλεκτροκινητήρα που περιστρέφει την άνοδο (στ) Τέλος, κάτω από το παράθυρο εκπομπής φέρει τον κατευθυντήρα που καθορίζει τις διαστάσεις του πεδίου.



Σχήμα 4: Λυχνία ακτίνων Χ και κέλυφος. Οι έντονες γραμμές δείχνουν την θωράκιση μολύβδου.

2.2. Φάσμα δέσμης ακτίνων Χ.

Όταν τα υψηλής ενέργειας ηλεκτρόνια προσπίτουν στο "στόχο" παράγονται φωτόνια Χ με δύο διαφορετικές διαδικασίες: Η μία βασίζεται στην αλληλεπίδραση του ηλεκτρονίου με τον πυρήνα των ατόμων βοήφραμιού. Οι ακτίνες Χ που παράγονται με τη διαδικασία αυτή χαρακτηρίζονται σαν ακτινοβολία πεδήσεως (bremsstrahlung) ή συνεχής ή γενική ή λευκή ακτινοβολία. Η δεύτερη διαδικασία βασίζεται στην αλληλεπίδραση του ηλεκτρονίου με ηλεκτρόνια των φλοιών του ατόμου βοήφραμιού. Οι ακτίνες Χ που παράγονται με τη διαδικασία αυτή χαρακτηρίζονται σαν χαρακτηριστική ακτινοβολία. Οι μηχανισμοί αυτοί παραχωχής ακτίνων Χ καθορίζουν και την μορφή του ενεργειακού φάσματος. Υπενθυμίζεται ότι το ενεργειακό φάσμα απεικονίζει την ένταση της ακτινοβολίας για κάθε ενέργεια σε όλο το εύρος ενεργειών της δέσμης. Ένα τέτοιο αντιπροσωπευτικό φάσμα για δέσμη ακτίνων Χ δείχνεται στο Σχ. 5. Αυτό έχει παραχθεί σε στόχο βοήφραμιού με υψηλή τάση 100 kVp και έχει "φιλτραρισθεί". Οι απότομες αιχμές του φάσματος είναι οι Κ-χαρακτηριστικές ακτίνες Χ.

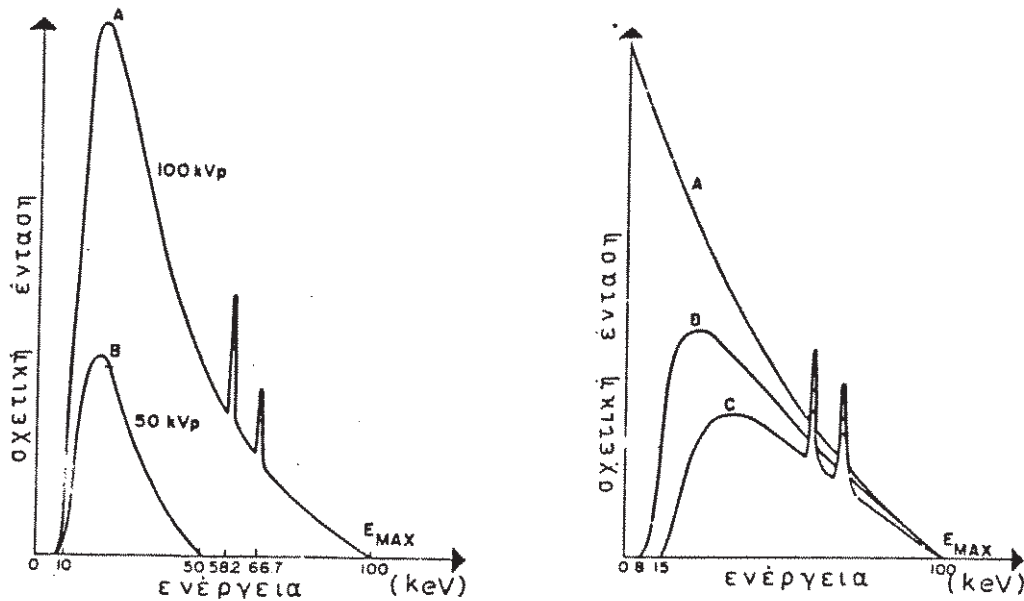
Οι αιχμές στα 58.2 και 66.7 keV αντιστοιχούν σε μεταπηδήσεις ηλεκτρονίων των ατόμων βοήφραμιού από τον φλοιό L στον Κ και από τον φλοιό Μ στον Κ αντίστοιχα. Η μέγιστη ενέργεια των ακτίνων Χ καθορίζεται από την υψηλή τάση στη λυχνία και δίνεται από τη σχέση:

$$E_{\max} = q_e \cdot V \quad (2)$$

όπου q_e το ηλεκτρικό φορτίο του ηλεκτρονίου και V η υψηλή τάση. Εάν η τιμή της υψηλής τάσης είναι σταθερή τα ηλεκτρόνια που προσπίτουν στο στόχο έχουν την ίδια ενέργεια E_{\max} , ενώ τα φωτόνια Χ που παράγονται έχουν ενέργεια από 0 έως E_{\max} . Στη μέγιστη αυτή ενέργεια το μήκος κύματος (σε angstrom) της ακτινοβολίας Χ που παράχεται δίνεται από τη σχέση:

$$\lambda_{\min} = 12.4/kVp \quad (3)$$

Το ενεργειακό φάσμα της δέσμης ακτίνων Χ εξαρτάται από το υλικό του στόχου, από την υψηλή τάση και από το φίλτράρισμα της δέσμης.



Σχήμα 5. (α) Φάσμα ακτίνων Χ από στόχο βολφραμίου σε υψηλή τάση 100 kVp και 50 kVp.
 (β) Επίδραση πάχους φίλτρου στο φάσμα της δέσμης ακτίνων Χ.
 (Α) χωρίς φίλτρο (Β) 0.5mm Al και (C) 2.5mm Al.

2.2.1. Επίδραση υλικού του στόχου.

Ο ατομικός αριθμός του υλικού του στόχου καθορίζει την ποσότητα των ακτίνων Χ που ανήκουν στο συνεχές φάσμα της δέσμης, δηλαδή έχουν παραχθεί με το μηχανισμό πεδήσεως. Επίσης καθορίζει την ενέργεια, δηλαδή την ποιότητα, της παραχόμενης χαρακτηριστικής ακτινοβολίας. Για παράδειγμα, οι K-χαρακτηριστικές ακτινοβολίες κείνται για το βολφράμιο ($z=74$) μεταξύ 57 και 69 keV, ενώ για το μόλυβδο ($z=82$) μεταξύ 17.9 και 19.5 keV.

2.2.2. Επίδραση υψηλής τάσης.

Στο Σχ. 5α δείχνεται το φάσμα δέσμης ακτίνων Χ σε υψηλή τάση 50kVp. Το ρεύμα της ρυθμίας και το φιλτράρισμα είναι ίδια όπως και στην καμπύλη των 100 kVp. Οι δύο καμπύλες διαφέρουν και στη μέγιστη ενέργεια και στο σχετικό αριθμό φωτονίων Χ της δέσμης. Η μέγιστη ενέργεια είναι τώρα μικρότερη διότι η υψηλή τάση καθορίζει τη μέγιστη ενέργεια των φωτονίων Χ. Ο αριθμός φωτονίων Χ είναι μεγαλύτερος σε υψηλότερες τάσεις. Γενικά η ένταση της ακτινοβολίας Χ είναι ανάλογη με το τετράγωνο της

υψηλής τάσης. Όσον αφορά τη χαρακτηριστική ακτινοβολία που παραχεται, είναι ανεξάρτητη από την υψηλή τάση. Φυσικά, με την προϋπόθεση ότι η υψηλή τάση είναι ικανή να παράξει χαρακτηριστική ακτινοβολία.

2.2.3. Επίδραση έντασης ρεύματος.

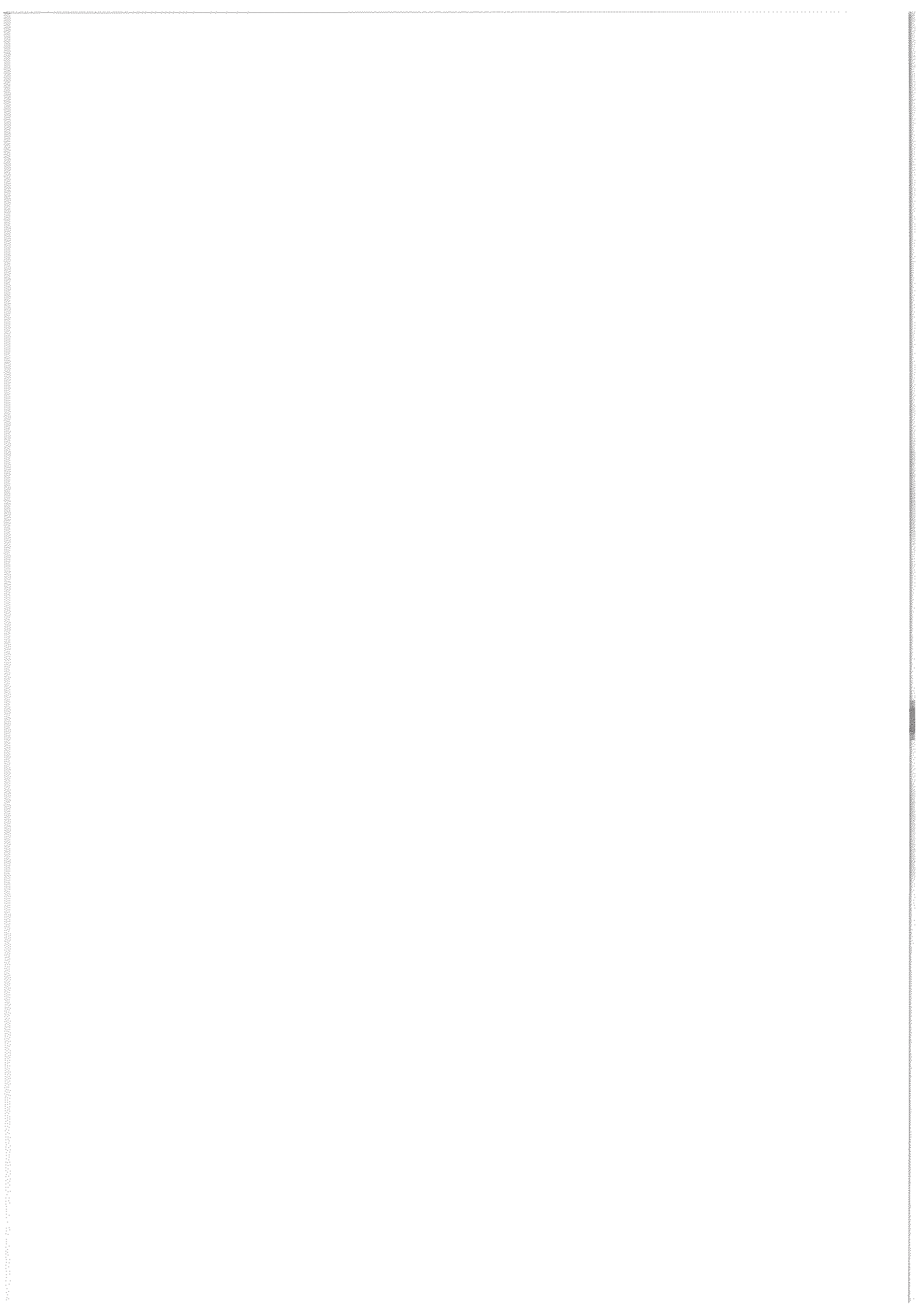
Ο αριθμός φωτονίων X που παράγονται σ'ένα ορισμένο χρονικό διάστημα είναι ευθέως ανάλογος με το ρεύμα της θυχνίας. Επομένως η μέγιστη ενέργεια και η μορφή του ενεργειακού φάσματος δεν αλλάζει. Η μόνη διαφορά είναι ότι ο αριθμός φωτονίων X είναι μεγαλύτερος για τη μεγαλύτερη τιμή ρεύματος της θυχνίας.

2.2.4. Επίδραση φίλτρου.

Σε μία δέσμη ακτίνων X που δεν έχει "φιλτραρισθεί" ένας μεγάλος αριθμός φωτονίων X έχει ενέργειες μικρότερες από 25 keV, όπως δείχνεται και στο Σχ.5β. Τα χαμηλής ενέργειας αυτά φωτόνια δεν συμβάλλουν στην ακτινοδιαγνωστική απεικόνιση διότι τα περισσότερα απορροφώνται από το σώμα του ασθενούς. Δηλαδή, αυξάνουν τη δόση στον ασθενή χωρίς να μεταφέρουν πληροφορίες στο ακτινογραφικό φιλμ. Για το λόγο αυτό η παρουσία τους στη δέσμη είναι ανεπιθύμητη. Πολλά από τα φωτόνια αυτά απορροφώνται από το υάλινο περίβλημα και τα άλλα παρεμβαλλόμενα υλικά (λάδι, παράθυρο θυχνίας). Τα υλικά αυτά χαρακτηρίζονται σαν ενυπάρχον φίλτρο της θυχνίας και συνήθως είναι ισοδύναμο με φίλτρο αλουμινίου πάχους 0.5 έως 1 mm. Ένα τέτοιο φάσμα ακτίνων X "φιλτραρισμένο" με πάχος 0.5 mm Al δείχνεται στο Σχ. 5β. Παρατηρούμε ότι η δέσμη περιέχει ακόμη αρκετά "μαλακά" (μικρής ενέργειας) φωτόνια X. Για την εξάλειψή τους χρησιμοποιείται και εξωτερικό φίλτρο που τίθεται έξω από το υάλινο περίβλημα. Φυσικά όπως φαίνεται και στο Σχ. 5β, τα φίλτρα αφαιρούν φωτόνια X όλων των ενεργειών από τη δέσμη. Απορροφούν όμως εκλεκτικά, κυρίως τα φωτόνια X χαμηλών ενεργειών. Το ελάχιστο πάχος φίλτρου (ενυπάρχον και εξωτερικό) που πρέπει να χρησιμοποιείται στις θυχνίες X καθορίζεται από διεθνείς κανονισμούς. Έτσι το απαιτούμενο ελάχιστο ολικό φίλτρο είναι 0.5 mm Al για τάσεις έως 50 kVp, 1.5mm Al, για τάσεις 50+70 kVp και 2.5 mm Al για τάσεις υψηλότερες από 70 kVp. Για πολύ υψηλές τάσεις (>120 kVp) χρησιμοποιείται φίλτρο Cu σε συνδιασμό με Al για να απορροφά τη χαρακτηριστική ακτινοβολία του Cu.

2.2.5. Ποιότητα δέσμης ακτίνων X.

Ο βαθμός διεισδυτικότητας της δέσμης ακτίνων X στην ύλη χαρακτηρίζεται από την "ποιότητα" της. Μία δέσμη υψηλής μέσης ενέργειας φωτονίων ("σκληρή") εξασθενεί λιγότερο κατά τη διέλευσή της



από κάποιο υλικό. Η "ποιότητα" μία δέσμης μπορεί να μεταβληθεί είτε με μεταβολή της υψηλής τάσης λυχνίας είτε με μεταβολή του πάχους φίλτρου. Για παράδειγμα, η δέσμη της καμπύλης C του Σχ 5β είναι υψηλότερης "ποιότητας" από τις δέσμες που αντιστοιχούν στις καμπύλες A και B του ίδιου Σχήματος.

Η "ποιότητα" της δέσμης έχει καθιερωθεί να εκφράζεται σε πάχος κάποιου υλικού (συνήθως Al) που είναι ικανό να μειώσει την ένταση της δέσμης στο ήμισυ της αρχικής τιμής της, με την προϋπόθεση ότι δεν λαμβάνεται υπόψη η σκεδαζόμενη ακτινοβολία. Το πάχος αυτό καλείται Πάχος Υποδιπλασιασμού ή HVL (Half-Value Layer). Για μονοενεργειακή δέσμη ακτίνων X αποδεικνύεται εύκολα ότι ισχύει η σχέση

$$\mu \cdot (\text{HVL}) = 0.693 \quad (4)$$

όπου μ ο γραμμικός συντελεστής εξασθένησης της δέσμης.

2.3. Σχήμα και μέγεθος πεδίου.

Οι λυχνίες X που παράχονται στο στόχο της λυχνίας εκπέμπονται προς όλες τις κατευθύνσεις. Όσες εκπέμπονται προς ανεπιθύμητες κατευθύνσεις απορροφώνται σε μεγάλο βαθμό από τη θωράκιση της λυχνίας. Η δέσμη ακτίνων X που κατευθύνεται προς την έξοδο της λυχνίας (παράθυρο) έχει μεγάλο εύρος γι' αυτό και χρειάζεται στις περισσότερες περιπτώσεις διαμόρφωση όσον αφορά το μέγεθος αλλά και το σχήμα της. Όταν το πεδίο είναι μεγαλύτερο από την περιοχή ενδιαφέροντος αυξάνεται η δόση στον ασθενή χωρίς λόγο. Παράλληλα, υποβαθμίζεται η ποιότητα της ακτινογραφικής εικόνας διότι στα πεδία μεγάλων διαστάσεων η σκεδαζόμενη ακτινοβολία αυξάνει. Η διαμόρφωση του πεδίου ακτίνων X επιτυγχάνεται με ειδικούς διαμορφωτές, που μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις κατηγορίες: (α) Διαφράγματα οπής, (β) κώνοι και κύλινδροι και (γ) διαφράγματα βάθους.

Τα διαφράγματα βάθους επιτρέπουν τη διαμόρφωση του πεδίου για οποιαδήποτε απόσταση εστίας-ασθενούς. Ενα ακόμη πλεονέκτημα τους είναι ότι συνήθως συνοδεύονται από σύστημα φωτεινού πεδίου που επιτρέπει τον ακριβή εντοπισμό του πεδίου (όρια και κέντρο).

3. ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗΣ

Η γεωμετρία απεικόνισης επηρεάζει σημαντικά την ποιότητα της ακτινογραφικής εικόνας. Στις παραγράφους που ακολουθούν θα εξετασθούν οι βασικοί γεωμετρικοί παράγοντες και η επίδρασή τους στην ακτινογραφική εικόνα.

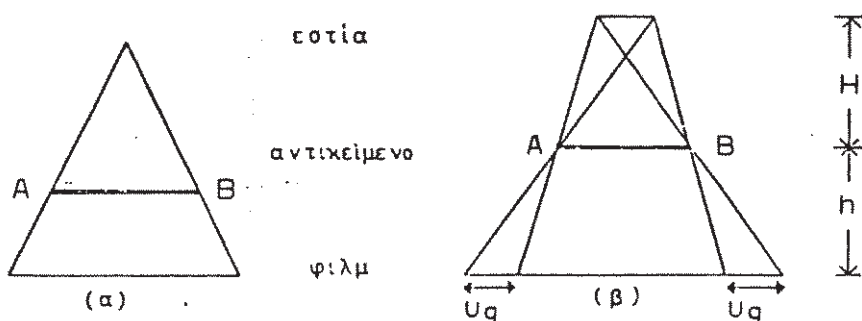
3.1. Προβολική της ακτινογράφισης.

Κατά την ακτινογράφιση το αντικείμενο (ασθενής) βρίσκεται πάντα μεταξύ πηγής φωτονίων X και ανιχνευτή εικόνας (φιλμ). Δηλαδή, έχουμε προβολική ακτινογράφιση σε αντίθεση με άλλες κατηγορίες απεικονίσεων. Η προβολική ακτινογράφιση μπορεί να παρασταθεί με διάφορα μοντέλα γεωμετρίας που προσεγγίζουν λιγότερο ή περισσότερο την πραγματικότητα.

Μία ιδανική περίπτωση γεωμετρίας είναι αυτή με παράλληλη δέσμη ακτίνων X , κάθετη προς τον ανιχνευτή. Προσεγγίζεται με σημειακή πηγή που βρίσκεται πολύ μακριά από το αντικείμενο (στο άπειρο). Κατά τη γεωμετρία αυτή δεν υπάρχει μεθέθυνση ούτε και ανεπιθύμητα φαινόμενα όπως παραμόρφωση και παρασκιά.

Μία άλλη γεωμετρία είναι αυτή με σημειακή πηγή που δεν βρίσκεται στο άπειρο, όπως δείχνεται στο Σχ. 6α. Στην περίπτωση αυτή ισχύει ο νόμος του αντιστρόφου τετραγώνου της απόστασης. Επίσης εμφανίζεται μεθέθυνση και παραμόρφωση αλλά όχι παρασκιά.

Ένα περισσότερο ρεαλιστικό μοντέλο είναι η ακτινογράφιση με μη σημειακή πηγή, επίπεδη και παράλληλη προς τον ανιχνευτή εικόνας. Γίνεται δε ακόμα πιο ρεαλιστικό αν η πηγή θεωρηθεί μη παράλληλη προς τον ανιχνευτή.



Σχήμα 6.: Απεικόνιση με (α) σημειακή πηγή φωτονίων X και (β) με μη σημειακή πηγή.

3.2. Μεγέθυνση.

Η ακτινογραφική απεικόνιση ενός αντικειμένου σε διαστάσεις μεγαλύτερες από τις πραγματικές καλείται μεγέθυνση. Η μεγέθυνση του ειδώλου καθορίζεται από τη γεωμετρία ακτινογράφησης. Σαν βαθμός μεγέθυνσης (ή απλώς μεγέθυνση) ορίζεται ο λόγος:

$$M = \text{Μέγεθος ειδώλου} / \text{Μέγεθος αντικειμένου} \quad (5)$$

Στην περίπτωση σημειακής πηγής και μονοδιάστατου αντικειμένου (πχ απεικόνιση του τμήματος AB στο σχήμα 6α) η μεγέθυνση είναι:

$$m = \text{απόσταση πηγής-φιλμ} / \text{απόσταση πηγής-αντικειμένου} = (H+h)/H \quad (6)$$

Η μεγέθυνση αυτή καλείται γεωμετρική και είναι ίση με την πραγματική που ορίζεται από τη σχέση (5) μόνο για σημειακή πηγή φωτονίων X. Εάν η πηγή δεν είναι σημειακή η πραγματική μεγέθυνση (M) δεν ισούται με τη γεωμετρική αλλά είναι:

$$M = m + (m-1) f/d \quad (7)$$

όπου f το μέγεθος εστίας και d το μέγεθος αντικειμένου (παράλληλα στον ανιχνευτή).

3.3. Νόμος αντιστρόφου τετραγώνου απόστασης.

Η εκπομπή φωτονίων X από σημειακή πηγή (εστία) υπακούει στο νόμο του αντιστρόφου τετραγώνου της απόστασης. Δηλαδή, η ένταση της δέσμης φωτονίων X είναι αντιστρόφως ανάλογη με το τετράγωνο της απόστασης από την σημειακή πηγή. Επομένως, κατά την χρήση τεχνικών μεγέθυνσης, για να ληφθεί η ίδια αμαύρωση στο φιλμ, πρέπει να αυξηθεί η έκθεση (mAs). Η αύξηση της έκθεσης είναι ανάλογη του τετραγώνου του βαθμού μεγέθυνσης και επιφέρει αύξηση της δόσης στον ασθενή και καταπόνηση της πυκνίας ακτίνων X. Εάν δε χρησιμοποιηθεί μεγαλύτερος χρόνος έκθεσης μπορεί να εμφανισθεί μεγαλύτερη ασάφεια λόγω κίνησης.

3.4. Παρασκιά.

Η παρασκιά οφείλεται στις πεπερασμένες διαστάσεις της εστίας ακτίνων X. Όπως δείχνεται στο σχήμα 6β, κατά την ακτινογράφηση ενός αντικειμένου με μία μη σημειακή εστία f σχηματίζεται γύρω από το είδωλο του αντικειμένου μία ζώνη (εικόνα) ενδιάμεσης αμαύρωσης. Η περιοχή αυτή χαρακτηρίζεται σαν γεωμετρική ασάφεια ή παρασκιά (penumbra από τις

λατινικές λέξεις *penumbra*=σχεδόν και *umbra*=σκιά). Για την ποσοτική εκτίμηση της παρασκιιάς θεωρηθεί το σχήμα 6β. Τα τρίγωνα που σχηματίζονται με κοινή την κορυφή Α είναι όμοια επομένως ισχύει:

$$U_g = (h/H) \cdot f = (M-1) \cdot f \quad (8)$$

όπου U_g η παρασκιιά, f το μέγεθος της εστίας, h η απόσταση αντικειμένου-φιλμ, H η απόσταση εστίας-αντικειμένου και M ο συντελεστής μεγέθυνσης.

Από την (8) προκύπτει ότι για ακτινογράφιση χωρίς μεγέθυνση ή με σημειακή εστία η παρασκιιά εξαλείφεται. Στην πράξη, για τη μείωση της παρασκιιάς πρέπει να γίνεται χρήση: (α) του μικρότερου δυνατού μεγέθους εστίας, (β) της μέγιστης δυνατής απόστασης εστίας-αντικειμένου και (γ) της ελάχιστης δυνατής απόστασης αντικειμένου-φιλμ.

3.5. Παραμόρφωση.

Σημαντική επίδραση στην ποιότητα εικόνας έχουν και πιθανές παραμορφώσεις του μεγέθους, της μορφής και της θέσης του αντικειμένου ή τμημάτων του αντικειμένου. Οι παραμορφώσεις αυτές οφείλονται στην ανομοιομορφή μεγέθυνση με την οποία απεικονίζονται οι διάφορες δομές του αντικειμένου.

3.5.1. Παραμόρφωση μεγέθους.

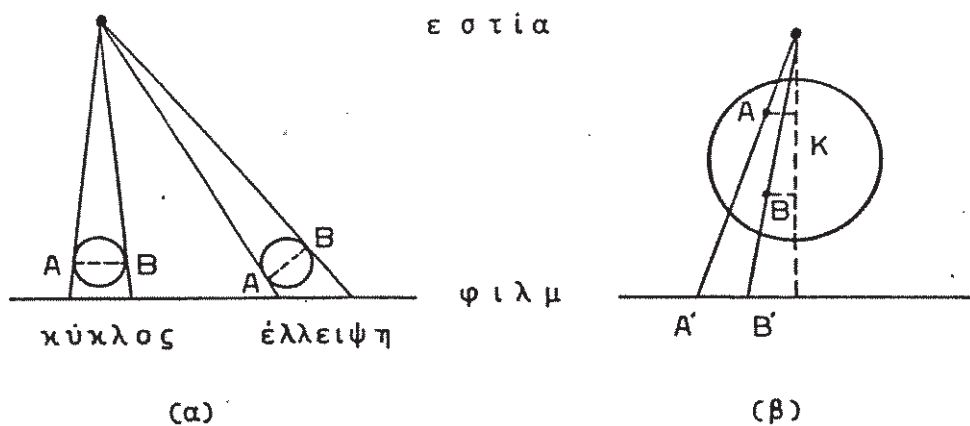
Η ακτινογραφική απεικόνιση ενός αντικειμένου σε διαστάσεις μεγαλύτερες από την πραγματική του καλείται παραμόρφωση μεγέθους. Δηλαδή η παραμόρφωση μεγέθους δεν είναι άλλη από τη μεγέθυνση που έχει ήδη αναφερθεί. Λόγω της παραμόρφωσης μεγέθους μπορεί ένα αντικείμενο που είναι μικρότερο από ένα άλλο μπορεί να απεικονισθεί σαν μεγαλύτερο. Η παραμόρφωση μεγέθους μπορεί να προκαλέσει σύγχυση κατά την παρατήρηση του ακτινογραφήματος, όμως σε αρκετές περιπτώσεις παρέχει σημαντικά πλεονεκτήματα. Γι' αυτό συχνά χρησιμοποιούνται τεχνικές ακτινογράφισης με μεγέθυνση (π.χ. στην αγγειογραφία και την ορθοπεδική) που χαρακτηρίζονται με τον όρο μακροακτινογράφιση. Κατά την μακροακτινογράφιση ο βαθμός μεγέθυνσης είναι συνήθως $M=2$ και η εστία που χρησιμοποιείται είναι όσο το δυνατόν μικρότερη ($< 0.3\text{mm}$) για τη μείωση της παρασκιιάς.

3.5.2. Παραμόρφωση σχήματος.

Η ανομοιομορφή μεγέθυνση με την οποία απεικονίζονται διάφορες δομές ενός αντικειμένου μπορεί να προκαλέσει παραμόρφωση όχι μόνο του

μεγέθους, αλλά και του σχήματος του αντικειμένου. Ανομοιομορφή μεγέθυνση μπορεί να υπάρχει είτε στην περίπτωση δομών που βρίσκονται υπό κλίση ως προς την κασσέτα, είτε στην περίπτωση που το αντικείμενο είναι απομακρυσμένο ως προς την κεντρική ακτίνα της δέσμης.

Χαρακτηριστικό είναι το παράδειγμα του Σχήματος 7α. Δείχνεται η ακτινογράφιση μιάς σφαίρας σε δύο περιπτώσεις. Στην πρώτη το κέντρο της σφαίρας κείται επί της κεντρικής ακτίνας της δέσμης. Η εστία "βλέπει" τη διάμετρο AB της σφαίρας, που είναι παράλληλη προς το φιλμ. Η εικόνα που λαμβάνεται είναι ένας κύκλος. Δηλαδή δεν παρατηρείται παραμόρφωση σχήματος. Αντίθετα στη δεύτερη περίπτωση το κέντρο της σφαίρας δεν κείται επί της κεντρικής ακτίνας της δέσμης. Η εστία "βλέπει" τη διάμετρο AB της σφαίρας που δεν είναι παράλληλη προς το φιλμ. Η εικόνα που λαμβάνεται δεν είναι κύκλος αλλά έλλειψη. Επομένως, εμφανίζεται παραμόρφωση σχήματος η οποία γίνεται περισσότερο έντονη όσο η διάμετρος AB αυξάνει την κλίση της ως προς το φιλμ. Σε αρκετές περιπτώσεις η παραμόρφωση σχήματος αξιοποιείται για την άντληση περισσότερων πληροφοριών από την ακτινογραφική εικόνα. Το ακτινογραφούμενο τμήμα του ασθενούς μπορεί να απομακρυνθεί σκόπιμα από την κεντρική ακτίνα της δέσμης. Με τον τρόπο αυτόν μπορεί να επιτευχθεί: (α) αποφυγή της υπέρθεσης δομών του ασθενούς δηλαδή, μείωση του θορύβου δομής, (β) καλύτερη απεικόνιση κάποιας συγκεκριμένης ανατομικής δομής του ασθενούς.



Σχήμα 7. (α) Παραμόρφωση σχήματος.
(β) Παραμόρφωση θέσης.

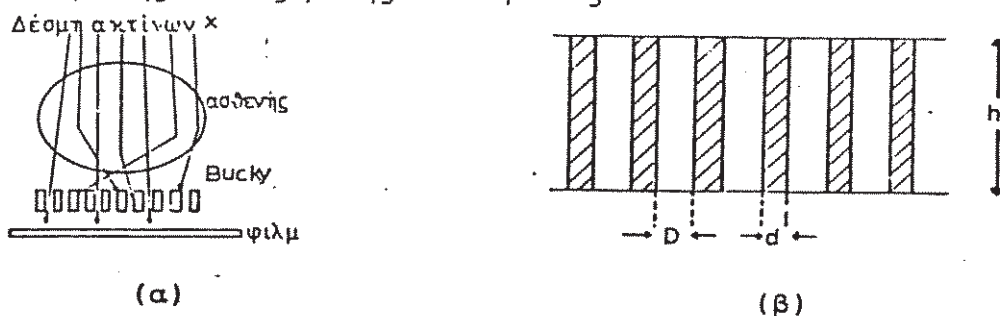
3.5.3. Παραμόρφωση θέσης.

Η ανομοιομορφή μεγέθυνση μπορεί να προκαλέσει και παραμόρφωση της σχετικής θέσης επιμέρους δομών μέσα στο αντικείμενο. Χαρακτηριστικό είναι το παράδειγμα του Σχ. 7β. Μέσα σε μία σφαίρα βρίσκονται δύο σημεία A και B "αδιαφανή" στην ακτινοβολία. Το σημείο A βρίσκεται πλησιέστερα

από το B στην κεντρική ακτίνα της δέσμης, που διέρχεται από το κέντρο της σφαίρας. Όμως το σημείο A βρίσκεται πιο μακριά από το επίπεδο του φιλμ, απ' ό,τι το σημείο B. Στην ακτινογραφική εικόνα, η εικόνα A' του σημείου A εμφανίζεται μακρύτερα από την εικόνα B' του σημείου B, ως προς το κέντρο του κύκλου που σχηματίζεται. Δηλαδή, εμφανίζεται μία αντιστροφή της σχετικής θέσης των σημείων A και B ως προς το κέντρο του κύκλου. Η παραμόρφωση θέσεως μειώνεται με την τοποθέτηση του αντικειμένου όσο το δυνατόν πλησιέστερα στην κεντρική ακτίνα της δέσμης και στο φιλμ.

4. ΑΝΤΙΔΙΑΧΥΤΙΚΟ ΔΙΑΦΡΑΓΜΑ

Η δέσμη των ακτίνων X που εξέρχεται από τον ασθενή και κατευθύνεται προς το φιλμ δεν αποτελείται μόνο από πρωτογενή ακτινοβολία αλλά και από σκεδαζόμενη. Η πρωτογενής ακτινοβολία έχει διαπεράσει τον ασθενή χωρίς να αλληλεπιδράσει μ'αυτόν και μεταφέρει τις χρήσιμες πληροφορίες σχετικά με την ανατομική δομή του ασθενούς. Επομένως, αυτή η συνιστώσα της δέσμης πρέπει να χρησιμοποιηθεί για να αποτυπώσει στο φιλμ την ακτινογραφική εικόνα του ασθενούς. Σε αντίθεση με την πρωτογενή ακτινοβολία, η σκεδαζόμενη δημιουργείται μέσα στο σώμα του ασθενούς κατά την διάρκεια της αλληλεπίδρασης της πρωτογενούς με τον ασθενή. Εάν η σκεδαζόμενη ακτινοβολία φθάσει στο φιλμ θα δημιουργήσει μία ομίχλη που θα προκαλέσει υποβάθμιση στην αντίθεση εικόνας. Επομένως είναι αναγκαία η απομάκρυνση της σκεδαζόμενης ακτινοβολίας από τη δέσμη στο μέγιστο δυνατό βαθμό. Η περισσότερο συνηθισμένη μέθοδος ελάττωσης της σκεδαζόμενης ακτινοβολίας είναι η χρήση αντιδιαχυτικών διαφραγμάτων. Καλούνται και Bucky από τον Gustave Bucky που τα πρότεινε το 1913. Αποτελούνται από λεπτές λωρίδες μολύβδου εναλλασσόμενες με λωρίδες αλουμινίου, πλαστικού ή άλλων οργανικών ουσιών. Όπως δείχνεται και στο Σχ. 8α η διάταξη των λωρίδων είναι τέτοια, ώστε επιτρέπει τη διέλευση της πρωτογενούς ακτινοβολίας ενώ δεν επιτρέπει τη διέλευση της σκεδαζόμενης ακτινοβολίας.



Σχ.8: (α) Ακτινογραφική απεικόνιση με αντιδιαχυτικό διάφραγμα.
(β) Διατομή αντιδιαχυτικού διαφράγματος.

Γενικά το αντιδιαχυτικό διάφραγμα χρησιμοποιείται στις περιπτώσεις που το ακτινογραφούμενο τμήμα του ασθενούς έχει πάχος μεγαλύτερο από 10 cm και η υψηλή τάση είναι μεγαλύτερη από 60 kVp. Σ'αυτές τις περιπτώσεις και ιδιαίτερα για μεγάλες διαστάσεις πεδίων ακτίνων X το ποσοστό της σκεδαζόμενης ακτινοβολίας στη δέσμη αυξάνει σημαντικά.

4.1. Παράμετροι αντιδιαχτυτικού διαφράγματος.

Τα φυσικά χαρακτηριστικά του αντιδιαχτυτικού διαφράγματος περιγράφονται από τις παράμετρος του. Οι κυριώτερες απ'αυτές είναι:

(α) *Λόγος αντιδιαχτυτικού διαφράγματος*. Είναι ο λόγος του ύψους των λωρίδων μολύβδου δια της απόστασης μεταξύ αυτών. Σύμφωνα με το Σχ. Ββ:

$$r=h/D \quad (9)$$

(β) *Πυκνότητα λωρίδων*. Είναι ο αριθμός λωρίδων μολύβδου ανά μονάδα μήκους. Μπορεί να υπολογισθεί από τη σχέση:

$$\text{Lines/mm} = 1/(D+d) \quad (10)$$

όπου d το πλάτος μολύβδου και το D το πάχος του μεσοδιαστήματος εκφρασμένα σε mm.

(γ) *Διαπερατότητα πρωτογενούς ακτινοβολίας*. Αυτή δίδεται από τη σχέση:

$$T_p=(I_p/I'_p) \cdot 100 \quad (11)$$

όπου I_p η ένταση πρωτογενούς ακτινοβολίας που διαπερνά το αντιδιαχτυτικό διάφραγμα και I'_p η αντίστοιχη ένταση χωρίς αντιδιαχτυτικό διάφραγμα.

(δ) *Παράγοντας αντιδιαχτυτικού διαφράγματος (B)*. Είναι ο λόγος της ακτινοβολίας (πρωτογενούς και σκεδαζόμενης) που προσπίπτει στο αντιδιαχτυτικό διάφραγμα δια της ακτινοβολίας που το διαπερνά:

$$B=\text{Προσπίπτουσα ακτινοβολία} / \text{διαπενούσα ακτινοβολία} \quad (12)$$

Καθορίζει την αύξηση της δόσης στον ασθενή όταν γίνεται χρήση του αντιδιαχτυτικού διαφράγματος.

(ε) *Παράγοντας βελτίωσης αντίθεσης (K)*. Είναι ο λόγος της αντίθεσης εικόνας όταν γίνεται χρήση αντιδιαχτυτικού διαφράγματος δια της αντίθεσης χωρίς αυτό:

$$K=\text{αντίθεση με Bucky} / \text{αντίθεση χωρίς Bucky} \quad (13)$$

Καθορίζει την ικανότητα βελτίωσης αντίθεσης του αντιδιαχτυτικού διαφράγματος.

4.2. Τύποι αντιδιαχυτικού διαφράγματος.

Τα αντιδιαχυτικά διαφράγματα διακρίνονται σε διάφορους τύπους ανάλογα με τα ιδιαίτερα κατασκευαστικά τους χαρακτηριστικά.

Οι κυριώτεροι τύποι είναι:

(α) Γραμμικά.

Αποτελούνται από λωρίδες μολύβδου παράλληλες μεταξύ τους. Έχουν δύο πλεονεκτήματα. Πρώτον, επιτρέπουν την αυξομείωση της απόστασης λυχνίας-αντιδιαχυτικού διαφράγματος. Δεύτερον, επιτρέπουν την κλίση της λυχνίας σε διεύθυνση παράλληλη με τις λωρίδες μολύβδου. Τα βασικά τους μειονεκτήματα είναι δύο. Πρώτον, δεν μπορούν να εξαλείψουν τη σκεδαζόμενη ακτινοβολία σε διεύθυνση παράλληλη προς τις λωρίδες μολύβδου. Δεύτερον, σε σημεία που απέχουν αρκετά από την κεντρική ακτίνα της δέσμης δημιουργούνται φαινόμενα αποκοπής (cut off). Δηλαδή το αντιδιαχυτικό διάφραγμα δεν επιτρέπει τη διέλευση της πρωτογενούς ακτινοβολίας. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 9 εμφανίζεται πλήρες φαινόμενο αποκοπής σε σημεία που απέχουν από την κεντρική λωρίδα του αντιδιαχυτικού διαφράγματος, απόσταση μεγαλύτερη από x . Είναι δε:

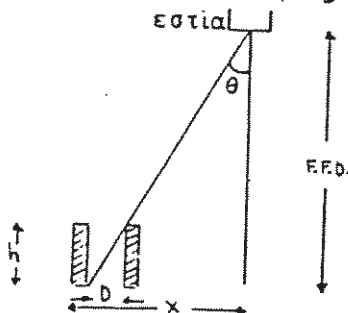
$$\tan\theta = x/FFD = D/h = 1/r \quad (14)$$

όπου FFD η απόσταση εστίας-φιλμ, h το ύψος λωρίδων, D το εύρος του μεσοδιαστήματος και r ο λόγος του αντιδιαχυτικού διαφράγματος. Λόγω του προβλήματος αυτού, τα γραμμικά αντιδιαχυτικά διαφράγματα χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις που γίνεται χρήση πεδίου ακτίνων X μικρών διαστάσεων και γενικά σε περιπτώσεις που απαιτείται μεγάλη απόσταση εστίας-φιλμ.

(β) Διασταυρωτά.

Αποτελούνται από δύο υπερτιθέμενα γραμμικά ή μη αντιδιαχυτικά διαφράγματα που έχουν την ίδια εστιακή απόσταση (σημείωση: στην περίπτωση που είναι γραμμικά η εστιακή απόσταση τείνει στο άπειρο).

Ο λόγος τους ισούται με το άθροισμα των λόγων των υπερτιθέμενων αντιδιαχυτικών διαφραγμάτων. Ένα βασικό τους πλεονέκτημα σε σχέση με τα γραμμικά είναι ότι μειώνουν τη σκεδαζόμενη ακτινοβολία προς όλες τις κατευθύνσεις. Δεν επιτρέπουν όμως την κλίση της λυχνίας ακτίνων X .



Σχήμα 9. Φαινόμενο αποκοπής.

(γ) Εστιασμένα.

Είναι τα αντιδιαχυτικά διαφράγματα που οι λωρίδες τους προεκτεινόμενες συναντώνται στον χώρο. Τα μεν γραμμικά συναντώνται σε ευθεία τα δε διασταυρωτά σε σημείο. Η απόσταση μεταξύ του αντιδιαχυτικού διαφράγματος και της ευθείας (ή σημείου) τομής καλείται ακτίνα ή εστιακή απόσταση. Εύρος εστίασης είναι το εύρος των αποστάσεων που μπορεί να χρησιμοποιηθεί το αντιδιαχυτικό διάφραγμα, χωρίς σημαντική απώλεια πρωτογενούς ακτινοβολίας.

(δ) Ψευδοεστιασμένα.

Τα εστιασμένα αντιδιαχυτικά διαφράγματα εμφανίζουν προβλήματα στην κατασκευή τους γι' αυτό και συχνά αντικαθίστανται από ψευδοεστιασμένα. Αυτά είναι γραμμικά αλλά το ύψος των λωρίδων μοθύβδου μειώνεται προοδευτικά όσο η απόσταση από την κεντρική λωρίδα αυξάνει. Δηλαδή, ο λόγος τους δεν είναι σταθερός.

(ε) Κινητά.

Τα ακίνητα διαφράγματα έχουν ένα σοβαρό μειονέκτημα. Δημιουργούν στην ακτινογραφική εικόνα είδωλα των φύλλων μοθύβδου. Το πρόβλημα αυτό επιλύθηκε με τα κινητά αντιδιαχυτικά διαφράγματα που οφείλουν την ονομασία τους στο ότι κινούνται κατά την διάρκεια της έκθεσης. Λέγονται και Potter-Bucky διαφράγματα από το όνομα του Hollis Potter, που τα καθιέρωσε το 1920. Τα κινητά αντιδιαχυτικά διαφράγματα έχουν και μειονεκτήματα, όπως ότι μπορούν να προκαλέσουν δονήσεις στην ακτινολογική τράπεζα ενώ δεν είναι χρήσιμα για πολύ μικρούς χρόνους έκθεσης.

4.3. Μειονεκτήματα.

Η χρήση αντιδιαχυτικών διαφραγμάτων προκαλεί διάφορα φαινόμενα που δημιουργούν ανεπιθύμητα προβλήματα στην ακτινογράφηση. Τα κυριώτερα από αυτά είναι:

4.3.1. Αύξηση της έκθεσης στον ασθενή.

Τα αντιδιαχυτικά διαφράγματα απορροφούν και ένα μέρος της πρωτογενούς ακτινοβολίας. Για να επιτευχθεί ο ίδιος βαθμός αμαύρωσης στο φιλμ πρέπει να αυξηθούν τα στοιχεία έκθεσης, με επακόλουθο την αύξηση της έκθεσης στον ασθενή. Κατά την επιλογή του κατάλληλου αντιδιαχυτικού διαφράγματος γίνεται συμβιβασμός ώστε να επιτυγχάνεται ικανοποιητική βελτίωση στην ποιότητα της ακτινογραφικής εικόνας με τη μικρότερη δυνατή αύξηση της έκθεσης.

4.3.2. Φαινόμενο αποκοπής.

Όταν το αντιδιαχυτικό διάφραγμα δεν είναι σωστά εστιασμένο οι λωρίδες μολύβδου προβάλλονται στο φιλμ με μεγαλύτερο πλάτος. Όταν δε, η προβολή αυτή γίνει μεγαλύτερη από το πλάτος των μεσοδιαστημάτων, η πρωτογενής ακτινοβολία δεν μπορεί να φθάσει στο φιλμ. Αυτό εμφανίζεται ευκολότερα μακριά από την κεντρική λωρίδα του αντιδιαχυτικού διαφράγματος, όπως περιγράφηκε στην παράγραφο 4.2. Γενικά υπάρχουν τέσσερις καταστάσεις (γεωμετρίες) εμφάνισης φαινομένων αποκοπής:

(i) Εστιασμένα αντιδιαχυτικά διαφράγματα τοποθετημένα ανάποδα (το πάνω μέρος είναι κάτω). (ii) Πλευρική αποεστίαση. (iii) Απόσταση εστίας-αντιδιαχυτικού διαφράγματος διαφορετική από την εστιακή απόσταση του αντιδιαχυτικού διαφράγματος. (iv) Αντιδιαχυτικό διάφραγμα που δεν σχηματίζει ορθή γωνία με την κεντρική ακτίνα της δέσμης.

4.4. Άλλες τεχνικές μείωσης της σκεδαζόμενης ακτινοβολίας.

Για την εξάλειψη της σκεδαζόμενης ακτινοβολίας από τη δέσμη που εξέρχεται από τον ασθενή και κατευθύνεται προς το φιλμ χρησιμοποιούνται και άλλες τεχνικές. Η κυριώτερη από αυτές είναι η τεχνική "χάσμα αέρος" (air gap). Στη μέθοδο αυτή το φιλμ απομακρύνεται από τον ασθενή. Μέ τον τρόπο αυτό ένα σημαντικό μέρος της σκεδαζόμενης ακτινοβολίας δεν προσβάλλει το φιλμ. Όσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση ασθενούς-φιλμ τόσο η μείωση της σκεδαζόμενης ακτινοβολίας θα είναι μεγαλύτερη. Η αύξηση όμως της απόστασης ασθενούς φιλμ δημιουργεί και αρκετά προβλήματα. Λόγω της μεγέθυνσης παρατηρείται αύξηση της γεωμετρικής ασάφειας αλλά και της έκθεσης στον ασθενή. Αύξηση της απόστασης ασθενούς-φιλμ πέρα από κάποιο όριο μειώνει ελάχιστα τη σκεδαζόμενη ακτινοβολία που φθάνει στο φιλμ. Για το λόγο αυτό γίνεται λόγος για κάποιο βέλτιστο χάσμα αέρος που αποτελεί ιδανικό συμβιβασμό μεταξύ των πλεονεκτημάτων και των μειονεκτημάτων της τεχνικής αυτής.

5. ΦΙΛΜ ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΤΙΚΗ ΠΙΝΑΚΙΔΑ

Το ακτινογραφικό φιλμ χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά το 1895 από τον W. C. Roentgen και σήμερα αποτελεί το πιο διαδεδομένο ανιχνευτικό σύστημα ακτινοδιαγνωστικών πληροφοριών. Επειδή χαρακτηρίζεται από χαμηλή αποδοτικότητα ανίχνευσης ακτίνων X (2+10%) χρησιμοποιείται συνήθως σε συνδιασμό με ενισχυτική πινακίδα. Η πρώτη ενισχυτική πινακίδα κατασκευάστηκε το 1896 από τον Thomas Edison με φθορίζον υλικό CaWO_4 . Για κάθε απορροφούμενο φωτόνιο X η ενισχυτική πινακίδα εκπέμπει μεγάλο αριθμό φωτονίων στο ορατό ή υπεριώδες τμήμα του φάσματος. Δηλαδή, μέσα στην κασσέτα που περιέχει το φιλμ και τις πινακίδες, η αρχική "εικόνα" των ακτίνων X μεταλλάσσεται σε ορατή, ενισχύεται και αποτυπώνεται στο ακτινογραφικό φιλμ.

5.1. Κατασκευή και φυσικά χαρακτηριστικά του φιλμ.

Υπάρχουν πολλοί τύποι ακτινογραφικών φιλμ και διατίθενται σε διάφορα μεγέθη. Ως προς τη δομή τους διακρίνονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες. Στα φιλμ διπλού και στα φιλμ μονού φωτογραφικού χαλακτώματος.

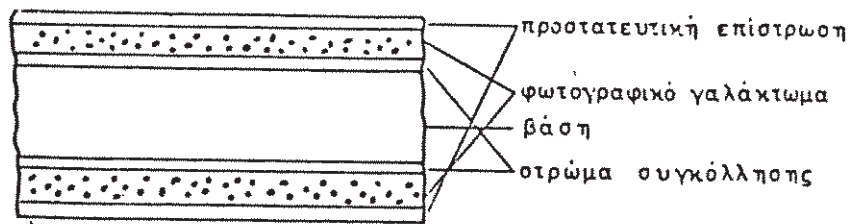
5.5.1. Δομή φιλμ διπλού φωτογραφικού χαλακτώματος

Το φιλμ διπλού φωτογραφικού χαλακτώματος αποτελείται από διαδοχικά στρώματα, που όπως δείχνεται στο Σχήμα 10 είναι:

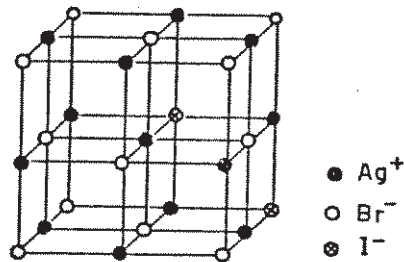
(α) Βάση, που είναι το κεντρικό και το πιο παχύ στρώμα (-0.1 mm) και στηρίζει τα φωτογραφικά χαλακτώματα.

(β) Στρώμα συγκόλλησης πολύ μικρού πάχους για τη στερέωση του φωτογραφικού χαλακτώματος πάνω στη βάση.

(γ) Φωτογραφικό χαλακτώμα. Τα κυριώτερα συστατικά του στοιχεία είναι η ζελατίνη και φωτοευαίσθητοι κόκκοι αλογονούχου αργύρου. Οι φωτοευαίσθητοι κόκκοι είναι 95% κόκκοι AgBr και οι υπόλοιποι AgI . Οι κόκκοι έχουν σχήμα τριγωνικό και αποτελούνται από ιόντα Ag^+ , Br^- και I^- που δομούνται σε μορφή κρυστάλλου κυβικού πλέγματος (βλέπ. Σχ.11). Η διάμετρος του κρυστάλλου είναι της τάξης των μm και κάθε κρύσταλλος περιέχει $1+10^9$ εκατομμύρια ιόντα Ag^+ . Κάθε cm^3 ζελατίνης περιέχει περίπου 6.3×10^9 κόκκους. Αυξημένη φωτοευαισθησία του κόκκου επιτυγχάνεται αφενός με απόσπαση ιόντων Ag^+ που κινούνται μέσα στον κρύσταλλο και αφετέρου με συγκέντρωση σουλφιδίου του αργύρου σε επιφανειακή περιοχή του κρυστάλλου. Η περιοχή αυτή χαρακτηρίζεται σαν "ίχνος ευαισθησίας" και είναι υπεύθυνη για την παχίδευση ηλεκτρονίων, δηλαδή για την έναρξη σχηματισμού των κέντρων λανθάνουσας εικόνας.



Σχήμα 10. Διατομή φιλμ διπλού φωτογραφικού γαλακτώματος.



Σχήμα 11. Κυβικό πλέγμα κόκκου.

(δ) Προστατευτική επίστρωση. Οι κόκκοι αλοχονούχου αργύρου μπορούν να σχηματισθούν σε λανθάνουσα εικόνα και λόγω πίεσης ή τριβής. Για την αποφυγή αυτού του φαινομένου και για γενικότερη μηχανική προστασία χρησιμοποιείται λεπτή (~ 0.001 mm) προστατευτική επίστρωση ζελατίνης.

5.1.2. Δομή μονού φωτογραφικού γαλακτώματος.

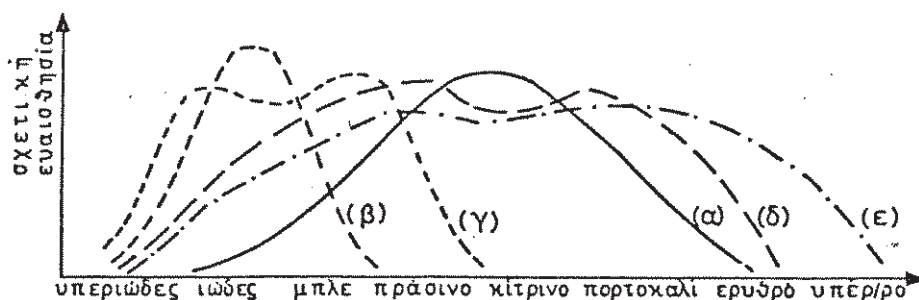
Το φιλμ μονού φωτογραφικού γαλακτώματος αποτελείται από διαδοχικά στρώματα, ανάλογα με αυτά που περιγράφηκαν στο φιλμ διπλού φωτογραφικού γαλακτώματος. Η βασική διαφορά είναι ότι το φωτογραφικό γαλάκτωμα υπάρχει μόνο προς τη μία πλευρά της βάσης. Μία ακόμα διαφορά είναι η παρουσία στην άλλη πλευρά της βάσης ενός στρώματος ζελατίνης που χαρακτηρίζεται σαν αντικαμπτικό και αντιθαμβωτικό. Η πρώτη ονομασία οφείλεται στο ότι εξουδετερώνει την κάμψη του φιλμ που εμφανίζεται κατά τη διάρκεια της ύφρασης και στεχνώματός του λόγω της μη συμμετρικής δομής του. Η δεύτερη ονομασία οφείλεται στο ότι απορροφά τα ανακλώμενα ορατά φωτόνια που δημιουργούν το φαινόμενο "άλω" (halation).

5.1.3. Φασματική ευαισθησία.

Ο βαθμός απορρόφησης φωτονίων από το φωτογραφικό γαλάκτωμα εξαρτάται από τη φασματική του ευαισθησία. Στο Σχήμα 12 παρίστανται οι φασματικές ευαισθησίες διαφόρων φιλμ και του ανθρώπινου οφθαλμού. Ο οφθαλμός μπορεί να αποκριθεί σε μία περιοχή χρωμάτων από το μωβ-μπλε

έως το κόκκινο με μέγιστη ευαισθησία στην πρασινο-κίτρινη περιοχή. Οι φασματικές ευαισθησίες των φιλμ είναι διαφορετικές από του οφθαλμού και κατά κανόνα επεκτείνονται σε μικρότερα μήκη κύματος, όπως υπεριώδεις και ακτίνες Χ. Τα φωτογραφικά χαλακτώματα διακρίνονται ως προς τη φασματική τους ευαισθησία στις εξής κατηγορίες:

(α) Συνήθη, που είναι ευαίσθητα στο μπλε, (β) ορθοχρωματικά που είναι ευαίσθητα στο μπλε-πράσινο, (γ) πανχρωματικά που είναι ευαίσθητα σε όλα τα χρώματα, (δ) ευαίσθητα σε όλα τα χρώματα και στο υπέρυθρο. Η γνώση της φασματικής ευαισθησίας είναι απαραίτητη για πολλούς λόγους, όπως: (α) Καθορίζει την επιλογή χρώματος φωτισμού στο σκοτεινό θάλαμο κατά τη διαδικασία εμφάνισης και στερέωσης του φιλμ. (β) Καθορίζει την επιλογή της κατάλληλης ενισχυτικής πινακίδας για χρήση σε συνδιασμό με το φιλμ. (γ) Η ποιότητα του ακτινογραφήματος εξαρτάται και από τη φασματική ευαισθησία του φιλμ. Για παράδειγμα, το φαινόμενο διασταυρώσεως (cross-over) που υποβαθμίζει την ποιότητα εικόνας είναι πιο έντονο στην περιοχή του πράσινου φωτός.



Σχήμα 12. Φασματικές ευαισθησίες: (α) οφθαλμού, (β) συνήθους φιλμ, (γ) ορθοχρωματικού φιλμ (δ) πανχρωματικού φιλμ και (ε) ευαίσθητου σε όλα τα χρώματα και στο υπέρυθρο.

5.2. Κατασκευή και φυσικά χαρακτηριστικά ενισχυτικής πινακίδας.

Η ενισχυτική πινακίδα χρησιμοποιείται ευρέως για τα πλεονεκτήματα που προσφέρει, όπως μείωση της δόσης στον εξεταζόμενο και μείωση του χρόνου έκθεσης. Έχει όμως και μειονεκτήματα, όπως αύξηση της ασάφειας και του ακτινογραφικού θορύβου. Η ενισχυτική πινακίδα βασίζεται στο φαινόμενο της φωταύγειας και ειδικότερα στο φθορισμό. Είναι χρήσιμο να γίνει μία αναφορά στα φαινόμενα αυτά:

- *Φωταύγεια* χαρακτηρίζεται η ικανότητα εκπομπής φωτός από ορισμένα υλικά όταν διεγείρονται από αίτιο διάφορο της θερμοκρασίας.

Η φωταύγεια διακρίνεται σε :

- *Φθορισμό* όταν η φωταύγεια δεν συνεχίζεται μετά την άρση της διέγερσης.

- *Φωσφορισμό* όταν η φωταύγεια συνεχίζεται (για χρόνο μεγαλύτερο

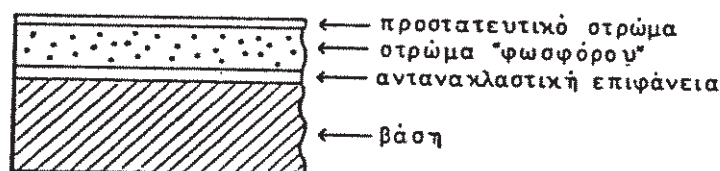
από 10^{-8} s) και μετά την άρση της διέγερσης.

Στην ενισχυτική πινακίδα χρησιμοποιούνται φθορίζοντα υλικά που διεγείρονται από ακτίνες X. Τέτοια υλικά είναι διάφορα ανόργανα άλατα όπως βολεφραμικό ασβέστιο, φθοριοχλωριούχο βάριο με ενεργοποιητή ευρώπιο, ύτριο και οι σπάνιες γαίες γαδολίνιο και λανθάνιο. Φθορίζοντα υλικά χρησιμοποιούνται και σε οθόνες ακτινοσκόπησης (θειούχος ψευδάργυρος και θειούχο κάδμιο με ενεργοποιητή άργυρο) και σε ενισχυτές εικόνας (ιωδιούχο κάσιο με ενεργοποιητή νάτριο).

5.2.1. Δομή ενισχυτικής πινακίδας.

Η ενισχυτική πινακίδα αποτελείται από διαδοχικά στρώματα που σύμφωνα με το Σχήμα 13 είναι:

(α) Βάση που στηρίζει τα άλλα στρώματα. (β) Αντανakλαστική επιφάνεια που αντανakλά τα ορατά που εκπέμπονται προς το μέρος της, προς το φιλμ. Συντελεί στην αύξηση της ταχύτητας αλλά και στην υποβάθμιση της σαφήνειας εικόνας. Σε ενισχυτικές πινακίδες υψηλής διακριτικής ικανότητας το στρώμα αυτό παραλείπεται. (γ) Στρώμα φθορίζοντος υλικού ("φωσφόρο"). Είναι ένα λεπτό εύκαμπτο στρώμα π्लाστικού που περιέχει τους φθορίζοντες κρυστάλλους. Το πάχος του επιδρά στην ταχύτητα και διακριτική ικανότητα της ενισχυτικής πινακίδας. (δ) Προστατευτικό στρώμα. Είναι ένα λεπτό, διαφανές και υδατοστεχές στρώμα π्लाστικού. Προστατεύει από μηχανικές φθορές και υγρασία το στρώμα φθορίζοντος υλικού και εμποδίζει τη συσσώρευση στατικών ηλεκτρικών φορτίων.



Σχήμα 13. Διατομή ενισχυτικής πινακίδας.

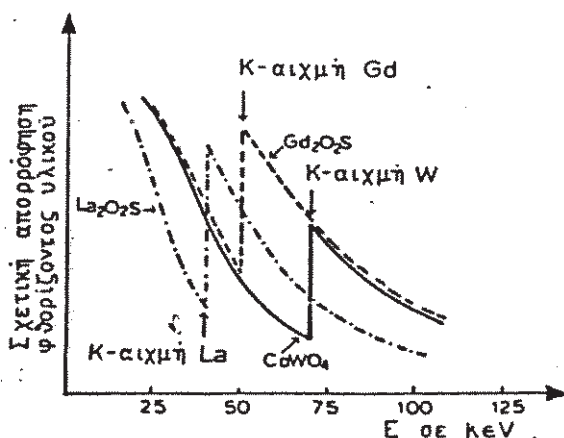
5.2.2. Απορρόφηση ακτίνων X και αποδοτικότητα μετατροπής ενέργειας.

Για υψηλή ταχύτητα ενισχυτικής πινακίδας και για μειωμένο ακτινογραφικό θόρυβο απαιτείται υψηλή απορροφητικότητα ακτίνων X στο στρώμα φθορίζοντος υλικού. Αυτό επιτυγχάνεται με χρήση φθορίζοντων υλικών υψηλού ατομικού αριθμού σε στρώμα ικανού πάχους. Η απορρόφηση ακτίνων X γίνεται κυρίως με το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο που είναι έντονο όχι μόνον σε στοιχεία υψηλού ατομικού αριθμού αλλά και όταν η ενέργεια φωτονίου είναι ίση με την ενέργεια σύνδεσης των ηλεκτρονίων K-φλοιού.

Το γεγονός αυτό εξηγεί τις αιχμές των καμπυλών του Σχήματος 14. Το ποσοστό της ενέργειας φωτονίων X που μετατρέπεται σε ενέργεια ορατών φωτονίων χαρακτηρίζεται σαν αποδοτικότητα μετατροπής ενέργειας. Τη χαμηλότερη αποδοτικότητα μετατροπής ενέργειας έχει το CaWO_4 (3+5%), ενώ την υψηλότερη το ύτριο και οι σπάνιες γαίες (13+18%). Τα φυσικά χαρακτηριστικά της ενισχυτικής πινακίδας εξαρτώνται και από περιβαλλοντολογικούς παράγοντες όπως η θερμοκρασία και η υγρασία. Κύρια όμως καθορίζονται από τις διάφορες -μεταβλητές κατασκευής όπως η σύνθεση και το μέγεθος των κρυστάλλων, το πάχος του στρώματος φθορίζοντος υλικού και την ύπαρξη κατάλληλων χημικών ουσιών. Η ταχύτητα της ενισχυτικής πινακίδας αυξάνει με το μέγεθος των κρυστάλλων και το πάχος του στρώματος του φθορίζοντος υλικού. Ταυτόχρονα όμως χειροτερεύει η διακριτική της ικανότητα.

Αύξηση στο πάχος του στρώματος φθορίζοντος υλικού μεγαλύτερο από κάποιο όριο δεν αυξάνει την ταχύτητα διότι η αυξημένη απορρόφηση ακτίνων X αντισταθμίζεται από την αυξημένη απορρόφηση των ορατών φωτονίων. Το οριακό αυτό πάχος χαρακτηρίζεται σαν "βέλτιστο πάχος". Σε μερικές ενισχυτικές πινακίδες με δύο στρώματα φθορίζοντος υλικού το πάχος αυτό εξαρτάται και από τη σχετική θέση του στρώματος ως προς το φίλμ. Το μπροστινό τμήμα είναι μικρότερου πάχους.

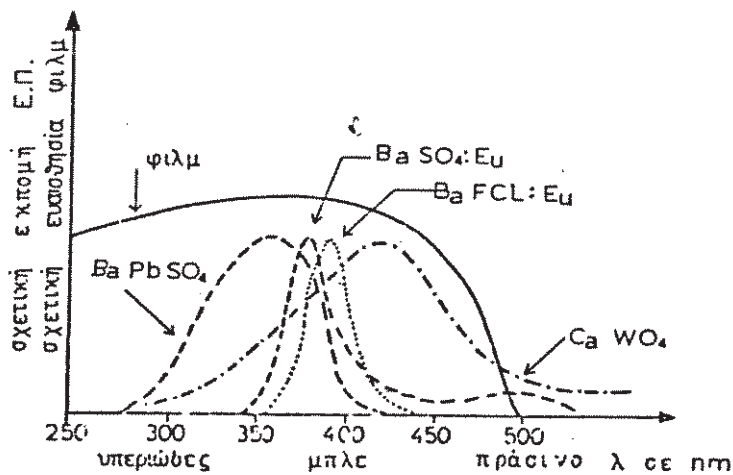
Αυτό χαρακτηρίζεται σαν *ασυμμετρία πινακίδας* και συντελεί: (α) Στην παραγωγή ίδιου πλήθους ορατών φωτονίων στα δύο στρώματα φθορίζοντος υλικού. (β) Στην επίτευξη ίδιου βαθμού σαφήνειας στα δύο σχηματιζόμενα είδωλα.



Σχήμα 14. Σχετική απορρόφηση φωτονίων X σε συνάρτηση με την ενέργεια για διάφορα φθορίζοντα υλικά.

5.3. Φασματική σύζευξη ενισχυτικής πινακίδας και φιλμ.

Κάθε ενισχυτική πινακίδα χαρακτηρίζεται από ένα φάσμα φωτός εκπομπής και κάθε φιλμ από μία ορισμένη φασματική ευαισθησία. Για να είναι ένα σύστημα ενισχυτική πινακίδα-φιλμ αποδεκτό, απαιτείται πρώτα απ' όλα η ύπαρξη φασματικής σύζευξης. Δηλαδή, το φάσμα φωτός εκπομπής της ενισχυτικής πινακίδας πρέπει να εμπεριέχεται στη φασματική καμπύλη του φιλμ, όπως φαίνεται στο Σχήμα 15. Η φασματική σύζευξη επιδρά στην ταχύτητα του συστήματος. Ταυτόχρονα συντελεί στη μείωση του ακτινογραφικού θορύβου και στη βελτίωση της διακριτικής ικανότητας του συστήματος. Η βελτίωση αυτή είναι πιο έντονη σε φιλμ διπλού φωτογραφικού χαλακτώματος διότι λόγω φασματικής σύζευξης διατίθενται λιγότερα ορατά φωτόνια για το φαινόμενο διασταυρώσεως.



Σχήμα 15. Φασματική σύζευξη ενισχυτικής πινακίδας-φιλμ.

5.4. Κασσέτα.

Το σύστημα ενισχυτική πινακίδα-φιλμ (ή μόνο φιλμ) τοποθετείται μέσα σε ειδική κασσέτα κατάλληλου μεγέθους. Η μπροστινή της επιφάνεια κατασκευάζεται από υλικό χαμηλού ατομικού αριθμού για να μην εξασθενεί τη δέσμη ακτίνων X. Η πίσω επιφάνεια περιέχει στοιχεία υψηλότερου ατομικού αριθμού για τη μείωση της ομίχλωσης του φιλμ. Η χρήση της κασσέτας εξυπηρετεί κυρίως τρεις σκοπούς:

(α) Προσφέρει μηχανική προστασία στο σύστημα. (β) Είναι αδιαφανής στο φως και εμποδίζει την ομίχλωση του φιλμ. (γ) Εξασφαλίζει ομοιόμορφη πίεση, δηλαδή στενή και ομοιογενή επαφή μεταξύ ενισχυτικής πινακίδας και φιλμ. (δ) Τέλος, σε ορισμένες περιπτώσεις βελτιώνει την αντίθεση εικόνας διότι απορροφά εκλεκτικά ένα ποσοστό της σκεδαζόμενης ακτινοβολίας.

5.5. Φωτογραφικά χαρακτηριστικά συστήματος ενισχυτικής πινακίδας-φιλμ.

Τα φωτογραφικά χαρακτηριστικά αναφέρονται στην απόκριση του συστήματος ενισχυτικής πινακίδας-φιλμ στην έκθεση σε ακτινοβολία. Τα χαρακτηριστικά αυτά ορίζονται από τη χαρακτηριστική καμπύλη του συστήματος. Πριν ορισθούν θα γίνει αναφορά στον όρο οπτική πυκνότητα.

5.5.1. Οπτική πυκνότητα.

Η οπτική πυκνότητα (optical density) χαρακτηρίζει το βαθμό αμαύρωσης του φιλμ και ορίζεται από το λογάριθμο της αδιαφάνειας του φιλμ στο συγκεκριμένο "σημείο" του. Δηλαδή:

$$D = \log (I_0/I_T) \quad (15)$$

όπου I_0 η ομοιογενής ένταση του φωτός και προσπίπτει στη μία πλευρά του φιλμ και I_T η ένταση του διερχόμενου φωτός στο "σημείο" που μετράμε. Οι λόγιοι της λογαριθμικής έκφρασης της οπτικής πυκνότητας είναι:

(α) Ο περιορισμός του εύρους της κλίμακας τιμών.

(β) Η διευκόλυνση έκφρασης της ολικής οπτικής πυκνότητας υπερτιθέμενων φιλμ (ισούται με το άθροισμα των επιμέρους οπτικών πυκνοτήτων).

(γ) Ο ψυχοφυσικός νόμος της λογαριθμικής απόκρισης, σύμφωνα με τον οποίο η ένταση των ανθρώπινων αισθημάτων είναι ανάλογη του λογαρίθμου των ερεθισμάτων.

Το φιλμ δεν έχει ποτέ μηδενική οπτική πυκνότητα. Αυτό οφείλεται στη μικρή αδιαφάνεια βάσης ($D_{\beta\alpha\sigma}$) και στην αμαύρωση κρυστάλλων αλογονούχου αργύρου που δεν έχουν εκτεθεί σε ακτινοβολία. Η αμαύρωση αυτή καλείται ομίχληση ($D_{\sigma\mu}$) και εξαρτάται από το χρόνο και τις συνθήκες αποθήκευσης του φιλμ, την ακτινοβολία περιβάλλοντος και τα χημικά διαλύματα εμφάνισης. Επομένως η οπτική πυκνότητα που οφείλεται σε έκθεση ακτινοβολίας είναι:

$$D = D_{\sigma\lambda} - D_{\beta\alpha\sigma} - D_{\sigma\mu} \quad (16)$$

Εάν εκτεθούν και εμφανιστούν όλοι οι κόκκοι του φιλμ η οπτική πυκνότητα χαρακτηρίζεται σαν μέγιστη ή κορεσμού (D_{\max}). Το ακτινοδιαγνωστικά χρήσιμο εύρος οπτικών πυκνοτήτων είναι συνήθως 0.25 έως 2.0.

5.5.2. Χαρακτηριστική καμπύλη, αντίθεση, εύρος και ταχύτητα.

Η απόκριση του συστήματος ενισχυτική πινακίδα-φίλμ (ή μόνο φίλμ) στην ακτινοβολία εκφράζεται πλήρως από τη χαρακτηριστική του καμπύλη ή H&D καμπύλη από τα ονόματα των Hurter F. και Driffield V. C. που πρώτοι την εισήγαξαν το 1890. Παριστά γραφικά τη σχέση μεταξύ οπτικής πυκνότητας και λογαρίθμου της σχετικής έκθεσης. Όπως δείχνεται στο Σχήμα 16 έχει μορφή σιγμοειδή και αποτελείται από επιμέρους τμήματα που καλούνται κατώφλι, δακτύλιος, γραμμική περιοχή και ώμος. Το χρήσιμο ακτινοδιαγνωστικά τμήμα είναι η γραμμική περιοχή που περιγράφεται από τη γραμμική εξίσωση:

$$D = \gamma \cdot \log E + C \quad (17)$$

όπου γ η κλίση του ευθύγραμμου τμήματος και C σταθερά. Η χαρακτηριστική καμπύλη του συστήματος εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως το φάσμα της προσπίπτουσας ακτινοβολίας, τη χρονική διάρκεια μεταξύ έκθεσης και εμφάνισης, το νόμο αμοιβαιότητας, τις συνθήκες εμφάνισης του φίλμ (χημική σύσταση διαλυμάτων, θερμοκρασία, χρόνος) και τη μέθοδο προσδιορισμού της.

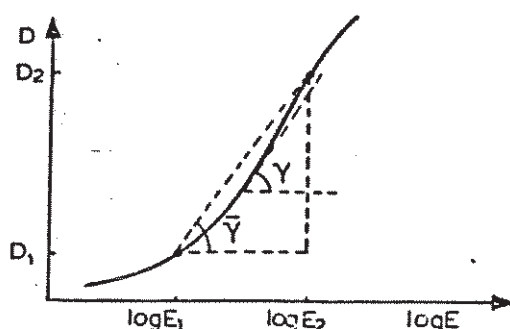
Ο βαθμός αμαύρωσης του φίλμ για δεδομένη ποσότητα έκθεσης εξαρτάται από την αντίθεση ή βάρθρωση (contrast) του συστήματος.

Χρησιμοποιούνται δε οι όροι:

(α) Αντίθεση (γ). Ορίζεται σαν η κλίση της χαρακτηριστικής καμπύλης σε συγκεκριμένο σημείο της (Βλ.επ. Σχ. 16).

$$\gamma = dD/d(\log E) \quad (18)$$

Γίνεται μέγιστη στο ευθύγραμμο τμήμα της χαρακτηριστικής καμπύλης.



Σχήμα 16. Χαρακτηριστική καμπύλη, αντίθεση, μέση αντίθεση και εύρος ενισχυτικής πινακίδας-φίλμ.

(β) Μέση αντίθεση ($\bar{\gamma}$). Ορίζεται σαν η κλίση του ευθύγραμμου τμήματος που ενώνει δύο ορισμένα σημεία της χαρακτηριστική καμπύλης (Βλ. Σχ. 16).

$$\bar{\gamma} = (D_2 - D_1) / (\log E_2 - \log E_1) \quad (19)$$

Συνήθως τα επιλεγόμενα σημεία είναι τα όρια της χρήσιμης περιοχής οπτικών πυκνοτήτων.

Το χρήσιμο εύρος οπτικών πυκνοτήτων αντιστοιχεί σε μία περιοχή τιμών έκθεσης που καλείται (χρήσιμο) εύρος (latitude) εκθέσεων. Το εύρος και η αντίθεση είναι μετέωρα αντίστροφα. Δηλαδή, ένα σύστημα δεν μπορεί να έχει ταυτόχρονα μεγάλο εύρος και υψηλή αντίθεση.

Με τον όρο ταχύτητα (speed) χαρακτηρίζεται η ευαισθησία του συστήματος ενισχυτικής πινακίδας-φίλμ στην ακτινοβολία. Η ταχύτητα καθορίζεται κυρίως από την ενισχυτική πινακίδα και ορίζεται σαν το αντίστροφο της έκθεσης που απαιτείται για να παραχθεί μια "καθαρή" οπτική πυκνότητα $D=1$.

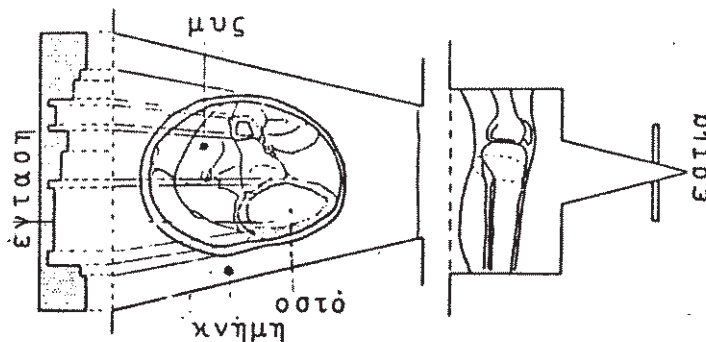
$$S = 1/E_{(D=1)} \quad (20)$$

5.5.3. Νόμος αμοιβαιότητας.

Η αμαύρωση του φίλμ καθορίζεται από την ολική έκθεση σε ακτινοβολία και όχι από το ρυθμό έκθεσης. Δηλαδή, για ορισμένη γεωμετρία και ποιότητα ακτινοβολίας η οπτική πυκνότητα σε συγκεκριμένο φίλμ εξαρτάται από το γινόμενο $I \cdot t$ (mAs) και όχι από τις επιμέρους τιμές των I και t , όπου I η ένταση και t η χρονική διάρκεια έκθεσης. Αυτό χαρακτηρίζεται σαν νόμος της αμοιβαιότητας και ισχύει για φίλμ που εκτίθενται ευθέως σε ακτινοβολία. Δεν ισχύει όμως για φίλμ που εκτίθενται σε συνδιασμό με ενισχυτική πινακίδα. Το φαινόμενο αυτό χαρακτηρίζεται σαν "αποτυχία του νόμου της αμοιβαιότητας".

6. ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΑΚΤΙΝΟΓΡΑΦΙΚΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ.

Κατά την ακτινοδιαγνωστική απεικόνιση η δέσμη ακτίνων X που κατευθύνεται προς τον ασθενή δεν περιέχει διαγνωστικές πληροφορίες. Η δέσμη μεταφέρει πληροφορίες μετά τη διέλευσή της από το σώμα του ασθενούς. Κατά τη διέλευσή της αυτή, η δέσμη υφίσταται εξασθένηση που είναι διαφορετικού βαθμού στα διάφορα τμήματα της διατομής της. Αυτό οφείλεται στην εξάρτηση της εξασθένησης από τα φυσικά χαρακτηριστικά των περιεβαλλομένων ιστών, όπως είναι το πάχος, ο ατομικός αριθμός και η πυκνότητα. Χαρακτηριστικό είναι το Σχήμα 17 όπου δείχνεται σχηματικά ο σχηματισμός της "εικόνας ακτίνων X" (X-ray image) κατά τη διέλευση της δέσμης ακτίνων X από την κνήμη ασθενούς. Η "εικόνα ακτίνων X" είναι άορατη και φυσικά δεν μπορεί να αξιοποιηθεί σ'αυτήν την μορφή.

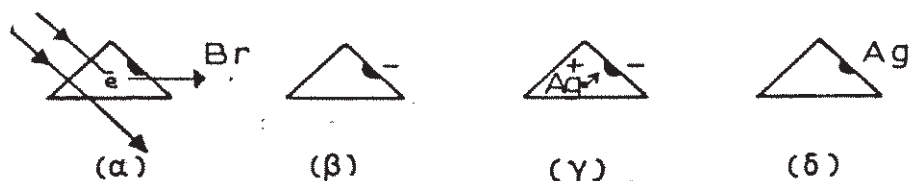


Σχ. 17. Σχηματισμός "εικόνας ακτίνων X".

Για την ανίχνευση και αποκωδικοποίηση της πρέπει να χρησιμοποιηθεί κάποιο κατάλληλο σύστημα απεικόνισης, όπως είναι η οθόνη ακτινοσκόπησης, το ακτινογραφικό φιλμ, ο δίσκος ξηρογραφίας, ο μαχητικός δίσκος και άλλα. Στην περίπτωση της ακτινογράφισης η δέσμη ακτίνων X προσβάλλει το φιλμ είτε άμεσα, είτε έμμεσα στην περίπτωση που χρησιμοποιείται και ενισχυτική πινακίδα. Όταν τα φωτόνια X ή τα ορατά φωτόνια της ενισχυτικής πινακίδας προσπίπτουν στο φωτογραφικό χαλάκωμα του φιλμ, σχηματίζεται μία λανθάνουσα εικόνα (latent image). Η εικόνα αυτή, όπως δηλώνει και η ονομασία της, είναι άορατη. Η μετατροπή της λανθάνουσας εικόνας σε ορατή (δηλαδή σε μεταβολές οπτικής πυκνότητας) απαιτεί κατάλληλη φυσικοχημική επεξεργασία.

6.1. Σχηματισμός της λανθάνουσας εικόνας.

Όταν το ακτινογραφικό φιλμ εκτίθεται σε ακτινοβολία, σχηματίζεται σχεδόν αυτόματα η λανθάνουσα εικόνα. Τα βασικά στάδια μηχανισμού του σχηματισμού της λανθάνουσας εικόνας φαίνονται σχηματικά στο Σχήμα 18. Κάποιο από τα φωτόνια που διαπερνούν τον κόκκο απορροφάται. Συνήθως η απορρόφηση γίνεται με το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο λόγω των μεγάλων ατομικών αριθμών Br ($z=35$) και Ag ($z=47$), αλλά μπορεί να γίνει και με το φαινόμενο Compton. Σε οποιαδήποτε περίπτωση το αποτέλεσμα είναι η εμφάνιση ενός ηλεκτρονίου. Το ηλεκτρόνιο κινείται μέσα στον κρύσταλλο απελευθερώνοντας και άλλα ηλεκτρόνια κυρίως από τα ιόντα Br^- . Τα ιόντα Br^- που μετατρέπονται σε ουδέτερα άτομα Br αφήνουν τον κρύσταλλο και απορροφώνται στη ζελατίνη του φωτογραφικού χαλακτώματος. Το ηλεκτρόνιο μπορεί να μετακινείται έως ότου πλησιάσει κάποια περιοχή "ατέλειας" του κρυστάλλου, όπως είναι το ίχνος ευαισθησίας ή ευαίσθητη κηλίδα από AgS. Το ίχνος ευαισθησίας λειτουργεί σαν παγίδα ηλεκτρονίων. Το ηλεκτρόνιο φορτίζει με αρνητικό φορτίο το ίχνος ευαισθησίας με αποτέλεσμα την έλξη των ιόντων Ag^+ που κινούνται ελεύθερα μέσα στον



Σχ. 18. Σχηματισμός της λανθάνουσας εικόνας.

κρύσταλλο. Στο ίχνος ευαισθησίας το ιόν Ag^+ συλλαμβάνει το ηλεκτρόνιο και μετατρέπεται σε ουδέτερο άτομο Ag. Το άτομο Ag δρα σαν παγίδα για ένα δεύτερο ηλεκτρόνιο. Το αρνητικό φορτίο έλκει ένα άλλο ιόν Ag^+ στο ίχνος της ευαισθησίας. Η διαδικασία αυτή μπορεί να επαναληφθεί αρκετές φορές με αποτέλεσμα τη συγκέντρωση ατόμων Ag στην περιοχή του ίχνους ευαισθησίας. Ένας κόκκος AgBr μπορεί να έχει ένα ή περισσότερα τέτοια κέντρα συγκέντρωσης ουδετέρων ατόμων Ag. Τα σημεία αυτά συγκέντρωσης καλούνται κέντρα λανθάνουσας εικόνας (latent image centers) και μπορούν να γίνουν αντιληπτά με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο. Στα σημεία αυτά θα γίνει συγκέντρωση ορατής ποσότητας μεταλλικού αργύρου κατά τη διαδικασία εμφάνισης του φιλμ. Για να εμφανισθεί ένας κόκκος, πρέπει στο κέντρο λανθάνουσας εικόνας να υπάρχουν τουλάχιστον δύο ουδέτερα άτομα Ag. Όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των ουδετέρων ατόμων Ag τόσο μεγαλύτερη είναι η πιθανότητα να εμφανισθεί ο κόκκος και να γίνει ορατός. Κατά κανόνα με την απορρόφηση ενός φωτονίου φως στον κόκκο παράχεται ένα άτομο Ag και ένα Br. Στην περίπτωση της

έκθεσης του φιλμ χωρίς χρήση ενισχυτικής πινακίδας ένα ποσοστό της ενέργειας του φωτονίου X ($3 \pm 10\%$) δαπανάται για την παραγωγή ουδετέρων ατόμων αργύρου. Η απόδοση δε αυτή εξαρτάται από την ενέργεια των φωτονίων X της δέσμης ή ισοδύναμα από την υψηλή τάση. Η ευαισθησία των περισσότερων φιλμ άμεσης έκθεσης είναι μέγιστη σε υψηλή τάση περίπου 50 kVp. Σ'αυτή την τιμή υψηλής τάσης η μέση ενέργεια φωτονίων X είναι περίπου ίση με την ενέργεια K-αιχμής Ag (22.5 keV) & Br (13,5 keV).

6.2. Επεξεργασία του φιλμ.

Η επεξεργασία του φιλμ περιλαμβάνει μία σειρά από χημικές αντιδράσεις που γίνονται σε κατάλληλη θερμοκρασία. Αποτέλεσμα της επεξεργασίας αυτής είναι η μετατροπή της λανθάνουσας εικόνας σε ορατή εικόνα μεταβολών οπτικής πυκνότητας. Οι διάφορες τιμές οπτικής πυκνότητας αντιστοιχούν σε διάφορες τιμές συγκεντρώσεως μεταλλικού αργύρου. Η επεξεργασία του φιλμ μπορεί να γίνει είτε χειρωνακτικά είτε σε αυτόματο εμφανιστήριο. Τα βασικά της στάδια είναι η εμφάνιση και η στερέωση του φιλμ.

6.2.1. Εμφάνιση.

Η μετατροπή της λανθάνουσας εικόνας σε ορατή γίνεται με την εμφάνιση του φιλμ. Η εμφάνιση αποτελεί μία χημική διαδικασία που ενισχύει τη λανθάνουσα εικόνα μέσα συντελεστή της τάξης των εκατομμυρίων ($\sim 10^8$) και τη μετατρέπει σε ορατή (μαύρο μεταλλικό άργυρο) ενώ ταυτόχρονα δεν επιδρά στους κόκκους όπου δεν έχει σχηματισθεί κέντρο λανθάνουσας εικόνας. Εάν το φιλμ παραμείνει αρκετή ώρα στο διάλυμα του εμφανιστού, παρατηρείται η δημιουργία μεταλλικού αργύρου και σε τμήματα του φιλμ που δεν έχουν εκτεθεί σε ακτινοβολία. Δηλαδή, έχουμε τη δημιουργία ομίχλωσης (fog). Ο χρόνος εμφάνισης αποτελεί βασική παράμετρο στη διαδικασία εμφάνισης. Η εμφάνιση πρέπει να διακόπτεται όταν η διαφορά στο βαθμό εμφάνισης μεταξύ κόκκων που έχουν εκτεθεί σε ακτινοβολία και κόκκων που δεν έχουν εκτεθεί είναι μέγιστη.

6.2.2. Λουτρό ανακοπής εμφάνισης.

Το φιλμ μετά την εμφάνισή του περιέχει μία μικρή ποσότητα διαλύματος εμφάνισης. Εάν το φιλμ τοποθετηθεί στο διάλυμα του στερεωτή, η παραμένουσα αλκαλικότητα του διαλύματος εμφάνισης θα εξουδετερώσει αντίστοιχη οξύτητα του διαλύματος στερέωσης. Για το λόγο αυτό απαιτείται πρώτα η τοποθέτηση του φιλμ σε λουτρό νερού ή οξικού οξέος, για να

εξουδετερωθεί και απομακρυνθεί το παραμένον διάλυμα εμφάνισης. Στην αυτόματη εμφάνιση του φιλμ αυτό το στάδιο παραλείπεται διότι χρησιμοποιούνται ειδικά χημικά διαλύματα.

6.2.3. Στερέωση.

Κατά την εμφάνιση του φιλμ ένα ποσοστό των κόκκων αλδοχονούχου αργύρου εμφανίζεται και σχηματίζει την ορατή εικόνα. Οι υπόλοιποι κόκκοι εμποδίζουν την σταθερότητα της ακτινογραφίας διότι είναι ευαίσθητοι στο φως. Με την στερέωση επιτυγχάνεται η απομάκρυνση των κόκκων αυτών χωρίς να προσβλάθεται η ορατή εικόνα του μεταλλικού αργύρου.

6.2.4. Πλύση και Ξήρανση.

Μετά τη στερέωση το φιλμ πλύνεται με άφθονο νερό για να απομακρυνθούν τα συστατικά του διαλύματος στερέωσης. Εάν δεν γίνει σωστή πλύση, το φιλμ θα αποκτήσει με τον καιρό μία καφέ απόχρωση που είναι αποτέλεσμα χημικής επίδρασης του παραμένουστος στερεωτή στο μεταλλικό άργυρο. Μετά την πλύση, το φιλμ στεχνώνεται με καθαρό ρεύμα αέρος. Στο αυτόματο εμφανιστήριο το στεχνώμα γίνεται γρήγορα από ειδικό στεχνωτή.

6.3. Αυτόματο εμφανιστήριο.

Μέχρι το 1944 η επεξεργασία του φιλμ γινόταν μόνο χειρωνακτικά και απαιτούσε περίπου 30 min. Σήμερα η επεξεργασία του φιλμ γίνεται αυτόματα και διαρκεί μερικά λεπτά ή μόνο 90 s.

Τα σύγχρονα αυτόματα εμφανιστήρια αποτελούν εξέλιξη του αυτόματου εμφανιστηρίου με κυλίνδρους που εμφανίστηκε το 1955. Στο σχήμα 19 δείχνεται σχηματικά η διατομή ενός αυτόματου εμφανιστηρίου φιλμ καθώς και η διατομή που ακολουθεί το επεξεργαζόμενο φιλμ. Οι βασικές συνιστώσες του αυτόματου εμφανιστηρίου είναι:

(α) Τμήμα ελέγχου που περιλαμβάνει τους διακόπτες ενεργοποίησης και ρύθμισης του συστήματος.

(β) Τμήμα ανίχνευσης που ανιχνεύει την εισαγωγή του φιλμ στο αυτόματο εμφανιστήριο. Το τμήμα αυτό ενεργοποιεί αντλίες για αναπλήρωση των διαλυμάτων εμφάνισης και στερέωσης. Επίσης, με κατάλληλο οπτικό ή ηχητικό σήμα επιτρέπει (ή όχι) την εισαγωγή του επόμενου φιλμ.

(γ) Τμήμα επεξεργασίας που περιλαμβάνει τα δοχεία εμφάνισης στερέωσης και πλύσης του φιλμ. Το φιλμ μεταφέρεται σ' αυτά με σύστημα κυλίνδρων.

(δ) Τμήμα στιψίματος και στεχνώματος. Στο τμήμα στιψίματος αφαιρείται νερό από το φιλμ για να επιτευχθεί πιο γρήγορα το στέγνωμά του.

Εκτός από τα κύρια τμήματα που αναφέρθηκαν υπάρχουν και βοηθητικά τμήματα που όμως είναι απαραίτητα για τη λειτουργία του αυτόματου εμφανιστηρίου. Τα κυριώτερα από αυτά είναι:

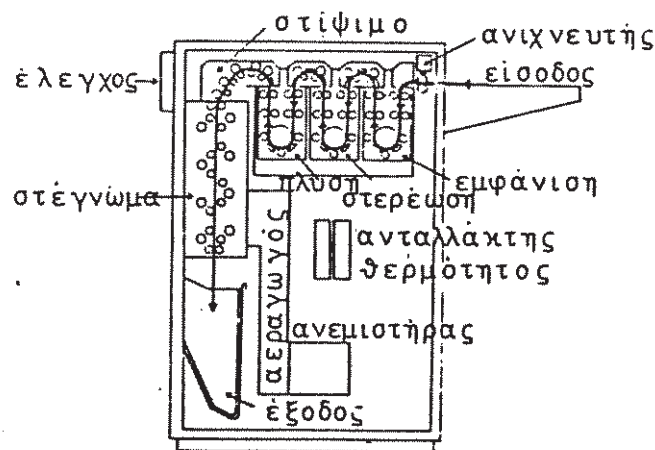
(α) Τμήμα κίνησης που περιστρέφει τους κυλίνδρους που μεταφέρουν το φιλμ.

(β) Τμήμα παροχής νερού που παρέχει στο αυτόματο εμφανιστήριο νερό κατάλληλης πίεσης και θερμοκρασίας.

(γ) Τμήμα κυκλοφορίας και ρύθμισης της θερμοκρασίας.

(δ) Τμήμα αναπλήρωσης που προσθέτει χημικά διαλύματα στα διαλύματα εμφάνισης και στερέωσης για να επανακτήσουν την απαιτούμενη ενεργότητα.

(ε) Τμήμα εξαερισμού που παρέχει ρεύμα αέρος για την απαγωγή των αναθυμιάσεων και της θερμότητας που εκλύονται στο αυτόματο εμφανιστήριο κατά τη λειτουργία του.

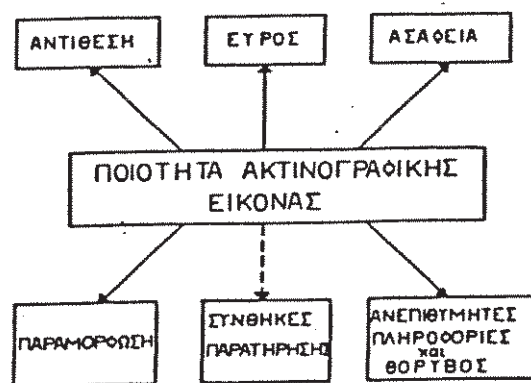


Σχ. 19. Αυτόματο εμφανιστήριο.

7. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΚΤΙΝΟΓΡΑΦΙΚΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ

7.1. Ποιότητα ακτινογραφικής εικόνας.

Σε κάθε ακτινοδιαγνωστικό τμήμα αντιμετωπίζεται καθημερινά η απαίτηση για παραγωγή ακτινογραφικών εικόνων υψηλής ποιότητας. Δηλαδή ακτινογραφιών που μπορούν να παράσχουν όλες τις απαραίτητες πληροφορίες για την κατάσταση του ασθενούς. Η έννοια όμως του όρου "ποιότητα εικόνας" δεν είναι πάντοτε η ίδια αλλά εξαρτάται από την ακτινοδιαγνωστική εξέταση και τις απαιτήσεις του ακτινολόγου. Διαφορετικό περιεχόμενο αποδίδεται στην ποιότητα εικόνας κατά την ακτινογράφιση πνευμόνων, διαφορετικό κατά την ακτινογράφιση μικρών αγγείων και διαφορετικό κατά την ακτινογράφιση άκρων χειρών. Για την εκτίμηση της ποιότητας της ακτινογραφικής εικόνας χρησιμοποιούνται διάφορα χαρακτηριστικά. Στις παραγράφους που ακολουθούν θα ορισθούν και περιγραφούν τα χαρακτηριστικά αυτά και θα αναλυθούν οι φυσικογεωμετρικής φύσεως παράγοντες που τα επηρεάζουν. Τα κυριώτερα από τα χαρακτηριστικά αυτά παρουσιάζονται σχηματικά στο Σχήμα 20 και είναι η αντίθεση εικόνας, το εύρος εικόνας, η ασάφεια, η παραμόρφωση (βλ. § 3.5), η παρουσία ανεπιθύμητων πληροφοριών και ο ακτινογραφικός θόρυβος. Τέλος, η ποιότητα ακτινογραφικής εικόνας εξαρτάται από τις συνθήκες παρατήρησής της.



Σχ. 20. Χαρακτηριστικά ακτινογραφικής εικόνας.

7.2. Αντίθεση.

Η δυνατότητα διάκρισης στην ακτινογραφική εικόνα των διαφόρων ανατομικών δομών του ασθενούς επιτυγχάνεται με την απεικόνιση της κάθε δομής με διαφορετικό βαθμό αμαύρωσης στο ακτινογραφικό φιλμ. Όσο η διαφορά των βαθμών αμαύρωσης στο φιλμ αυξάνει τόσο πιο εύκολη είναι η διάκριση και μελέτη των γειτονικών ανατομικών δομών. Το χαρακτηριστικό

αυτό καλείται αντίθεση εικόνας ή ακτινογραφική αντίθεση ή απλά αντίθεση και οφείλεται στη διαφορετική έκθεση σε ακτινοβολία "σημείων" του φιλμ. Η διαφορά έκθεσης μπορεί να προκληθεί από διαφορά πάχους του ίδιου υλικού ή από παρεμβολή άλλου υλικού μέσα στο αντικείμενο (ασθενής). Η αντίθεση εικόνας εξαρτάται από την αντίθεση θέματος και την αντίθεση του ανιχνευτικού συστήματος.

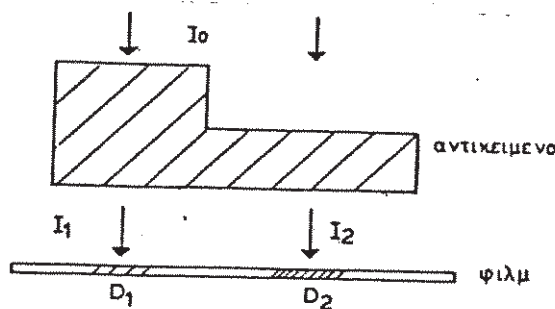
7.2.1. Αντίθεση θέματος, αντίθεση εικόνας και αντίθεση φωτεινότητας εικόνας.

Καθώς η δέσμη ακτίνων X διαπερνά ένα τμήμα του ασθενούς υφίσταται διαφορετική εξασθένηση στα διάφορα σημεία της διατομής της διότι οι διάφορες δομές και ιστοί του σώματος διαφέρουν σε πάχος, σύνθεση και διαπερατότητα. Η δέσμη που εξέρχεται από το σώμα του ασθενούς έχει διαφορετική ένταση στα διάφορα σημεία της διατομής της, όπως δείχνεται στο Σχήμα 17. Η διαφορά αυτή χαρακτηρίζεται σαν αντίθεση αντικειμένου ή θέματος (subject contrast) και ορίζεται από τη διαφορά των εντάσεων ακτινοβολίας που εξέρχονται από δύο αντίστοιχα "σημεία" του αντικειμένου (ασθενούς) προς την ένταση με τη μεγαλύτερη τιμή. Συνήθως εκφράζεται "επί τοις εκατό" (%) και σύμφωνα με το Σχήμα 21 είναι:

$$C_S = [(I_A - I_B) / I_A] \cdot 100\% \quad (21)$$

όπου I_A και I_B οι εντάσεις πρωτογενούς ακτινοβολίας που διαπερνούν το λεπτό και παχύ τμήμα του αντικειμένου αντίστοιχα. Η αντίθεση θέματος χαρακτηρίζει την αντίθεση (τις διαφορές εντάσεως ακτινοβολίας) της άορατης "εικόνας ακτίνων X" πριν προσβάλει το φιλμ. Για το λόγο αυτό καλείται και αντίθεση ακτινοβολίας (radiation contrast).

Η αντίθεση θέματος εξαρτάται από τις διαφοροποιήσεις των ανατομικών δομών σε πάχος, πυκνότητα και ατομικό αριθμό. Αυτό έχει μεγάλη ακτινοδιαγνωστική σημασία διότι το ανθρώπινο σώμα αποτελείται από ουσίες με διάφορους ατομικούς αριθμούς και πυκνότητες μάζας.



Σχ.21. Ακτινογράφηση αντικειμένου με διαφορετικά πάχη

Η αντίθεση θέματος εξαρτάται και από το ενεργειακό φάσμα της ακτινοβολίας. Σε συνθήκες χαμηλής τάσης η αντίθεση θέματος αυξάνει διότι πληθαίνουν οι φωτοηλεκτρικές αλληλεπιδράσεις, που εξαρτώνται έντονα από τον ατομικό αριθμό. Τέλος, η αντίθεση θέματος εξαρτάται από την παρουσία σκεδαζόμενης ακτινοβολίας. Εάν εκτός από πρωτογενή υπάρχει και σκεδαζόμενη ακτινοβολία έντασης I_S η σχέση (21) παίρνει τη μορφή:

$$C_S = [(I_A + I_S) - (I_B + I_S)] / (I_A + I_S) \cdot 100\% = [(I_A - I_B) / (I_A + I_S)] \cdot 100\% \quad (22)$$

Η "εικόνα ακτίνων Χ" προσπίπτει στο φιλμ είτε άμεσα, είτε αφού πρώτα μεταλλαχθεί σε ορατή με τη βοήθεια ενισχυτικής πινακίδας. Μετά την εμφάνιση και στερέωση του φιλμ δημιουργείται η ακτινογραφική εικόνα. Η εικόνα αυτή χαρακτηρίζεται από "σημεία" διαφορετικής οπτικής πυκνότητας ανάλογα με την ένταση ακτινοβολίας που έχει προσβάλλει το αντίστοιχο "σημείο". Σαν αντίθεση εικόνας ή ακτινογραφική αντίθεση ή απλά αντίθεση ορίζεται η διαφορά στην οπτική πυκνότητα δύο "σημείων" στο φιλμ. Σύμφωνα με το Σχήμα 21 είναι:

$$C_{im} = D_A - D_B \quad (23)$$

όπου D_A και D_B οι οπτικές πυκνότητες που αντιστοιχούν στο λεπτό και παχύ τμήμα του αντικειμένου αντίστοιχα. Η αντίθεση εικόνας καθορίζεται από την αντίθεση θέματος αλλά και από την αντίθεση (γ) του (συστήματος ενισχυτικής πινακίδας-) φιλμ. Η αντίθεση του φιλμ επιδρά ενισχυτικά στην αντίθεση αντικειμένου (αν $\gamma > 1$) διότι η αντίθεση εικόνας είναι προσεγγιστικά ανάλογη με το γινόμενο της αντίθεσης φιλμ επί την αντίθεση θέματος. Η αντίθεση του φιλμ εξαρτάται από την οπτική πυκνότητα του φιλμ και μεγιστοποιείται στο γραμμικό τμήμα της χαρακτηριστικής καμπύλης (βλ. Β 5.5.2). Επομένως, η αντίθεση εικόνας μεγιστοποιείται στην περιοχή εκθέσεων που αντιστοιχούν στο γραμμικό τμήμα της χαρακτηριστικής καμπύλης του συστήματος. Αντίθετα η αντίθεση εικόνας υποβαθμίζεται όταν η έκθεση αντιστοιχεί στα άκρα της χαρακτηριστικής καμπύλης (υπό ή υπερ-έκθεση).

Το ακτινογραφικό φιλμ για να μελετηθεί τοποθετείται μπροστά από διαφανοσκόπιο ομοιογενούς φωτισμού. Το φως που εκπέμπεται από το διαφανοσκόπιο υφίσταται διαφορετική εξασθένηση στα διάφορα "σημεία" του φιλμ. Η διαφορά φωτεινότητας δύο "σημείων" στο φιλμ καλείται αντίθεση φωτεινότητας (luminance contrast) και καθορίζεται από την αντίθεση εικόνας. Για ομοιογενή οπισθοφωτισμό αποδεικνύεται ότι η αντίθεση φωτεινότητας (C_L) είναι ανάλογη της αντιθεσης εικόνας (C_{im}) και πιο συγκεκριμένα 2.3 φορές μεγαλύτερη:

$$C_L = 2.3 C_{im}$$

(24)

Η αντίθεση φωτεινότητας εξαρτάται και από τις συνθήκες παρατήρησης του φιλμ.

7.2.2. Υλικά αντίθεσης.

Σε αρκετές περιπτώσεις η αντίθεση θέματος δεν είναι ικανή να δημιουργήσει επιθυμητή ακτινογραφική αντίθεση. Η αντίθεση θέματος μπορεί να βελτιωθεί τεχνητά με τη χρήση κατάλληλων υλικών αντίθεσης (contrast media). Τα υλικά αντίθεσης ή σκιερές ουσίες, διακρίνονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες:

(α) Υλικά "αδιαφανή" στην ακτινοβολία (όπως ενώσεις του βαρίου ή του ιωδίου).

(β) Υλικά "διαφανή" στην ακτινοβολία (όπως αέρας, οξυγόνο ή διοξείδιο του άνθρακα).

Για την επιλογή του κατάλληλου υλικού αντίθεσης εξετάζεται πρώτα απ'όλα αν ικανοποιεί τα καθιερωμένα κριτήρια ασφαλείας. Πρέπει να μην έχει τοξικότητα και να προκαλεί παρενέργειες σε όσο το δυνατόν λιγότερους ασθενείς. Να έχει κατάλληλο ιξώδες και σταθερότητα και να είναι αναμίξιμο ή μη, ανάλογα με τις απαιτήσεις της εξέτασης. Τέλος, πρέπει να βελτιώνει σε ικανοποιητικό βαθμό την αντίθεση θέματος.

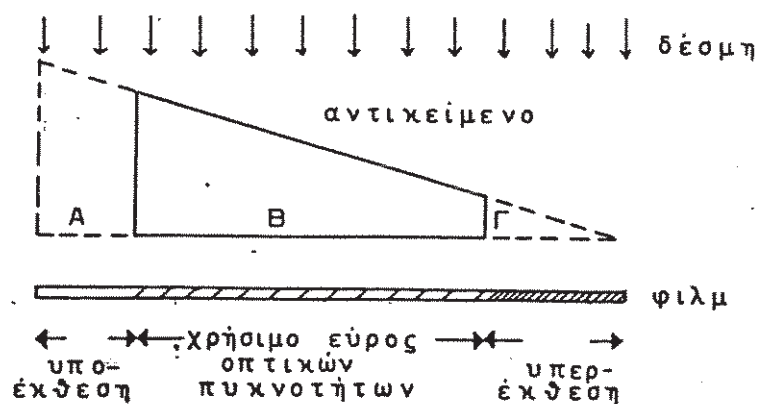
Τα "αδιαφανή" υλικά αντίθεσης παρέχονται στον ασθενή από το στόμα ή με ένεμα ή με ένεση. Μπορούν να πληρώσουν μία περιοχή ή να επιστρώσουν το τοίχωμά της ή να την περιβάλλουν. Ενώσεις του βαρίου χρησιμοποιούνται σε εξετάσεις του οισοφάγου, του στομάχου και του εντέρου. Ενώσεις του ιωδίου χρησιμοποιούνται σε απεικονίσεις νεφρών, των ουρητήρων της κύστης και του κυκλοφοριακού συστήματος. Ενώσεις του βαρίου και του ιωδίου βελτιώνουν με "θετικό" τρόπο την αντίθεση θέματος διότι έχουν πυκνότητα και ατομικό αριθμό μεγαλύτερο από τους ιστούς. Το ιώδιο έχει πυκνότητα $4953 \text{ Kg}\cdot\text{m}^{-3}$ και $z=53$. Το βάριο έχει πυκνότητα $3594 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ και $z=56$. Το βάριο χρησιμοποιείται με την μορφή θειϊκού βαρίου που έχει πυκνότητα $4500 \text{ Kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Οι ατομικοί αριθμοί του οξυγόνου και θείου δεν διαφέρουν σημαντικά από αυτούς των ιστών χι' αυτό και η βελτίωση της αντίθεσης θέματος οφείλεται κυρίως στον υψηλό ατομικό αριθμό του βαρίου.

Τα "διαφανή" υλικά αντίθεσης εγχύονται στον ασθενή και δημιουργούν κοιλότητες γεμάτες αέριο. Βελτιώνουν με "αρνητικό" τρόπο την αντίθεση θέματος διότι έχουν μικρή πυκνότητα μάζας και επομένως οι κοιλότητες που σχηματίζονται διαπερνώνται εύκολα από τη δέση ακτίνων Χ, σε αντίθεση με τους περιβάλλοντες ιστούς.

7.3. Εύρος.

Εστω το ομοιογενές αντικείμενο του Σχήματος 22 με πάχος που μεταβάλλεται από την μηδενική έως μία μέγιστη τιμή. Κατά την ακτινογράφησή του το είδωλο που λαμβάνεται έχει μεγάλο εύρος οπτικών πυκνοτήτων. Η μέγιστη οπτική πυκνότητα αντιστοιχεί στο μηδενικό πάχος αντικειμένου. Οπτικές πυκνότητες ικανές να παράσχουν χρήσιμες ακτινοδιαγνωστικές πληροφορίες είναι αυτές που κείνται στο χρήσιμο εύρος οπτικών πυκνοτήτων δηλαδή, μεταξύ 0.25 και 2.00 (βλ. § 5.5.2). Τμήματα του φιλμ που είναι υποεκτεθειμένα ή υπερεκτεθειμένα δεν συμβάλλουν στην ακτινοδιάγνωση. Για το παράδειγμα του Σχήματος 22 μόνο το τμήμα Β του αντικειμένου θα αποτυπωθεί ικανοποιητικά στο ακτινογραφικό φιλμ. Το εύρος των ανατομικών λεπτομερειών που μπορούν ταυτόχρονα να αποτυπωθούν σε μία ακτινογραφία χαρακτηρίζεται σαν εύρος εικόνας.

Το εύρος εικόνας εξαρτάται από τη χαρακτηριστική καμπύλη του συστήματος ενισχυτικής πινακίδας-φιλμ και ειδικότερα από το εύρος του καθώς και από το ενεργειακό φάσμα της δέσμης ακτίνων Χ. Όσο μεγαλύτερο εύρος έχει το σύστημα ενισχυτική πινακίδα-φιλμ, τόσο μεγαλύτερο εύρος εκθέσεων αντιστοιχούν στο χρήσιμο εύρος οπτικών πυκνοτήτων και επομένως τόσο μεγαλύτερο είναι το εύρος εικόνας. Το εύρος εικόνας αυξάνει και με την αύξηση της υψηλής τάσης της ρυχνίας.

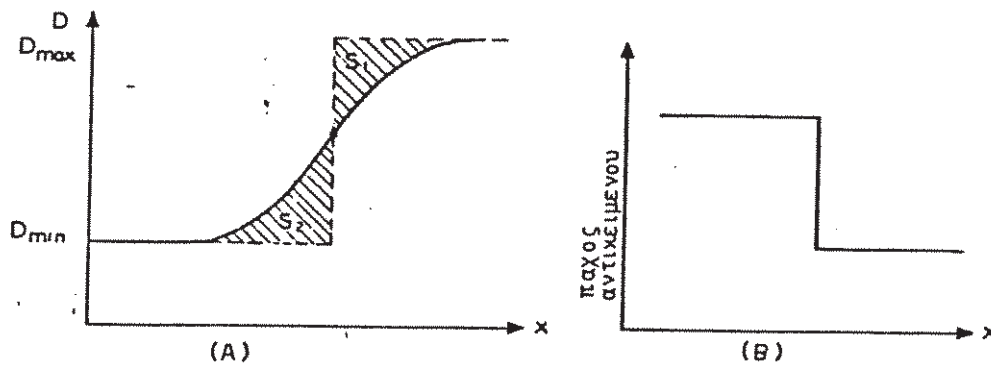


Σχ. 22. Εύρος εικόνας κατά την ακτινογράφιση αντικειμένου.

7.4. Ασάφεια.

Με τον όρο ασάφεια χαρακτηρίζεται η ανικανότητα του ακτινογραφικού συστήματος να αποτυπώνει καθαρά (με σαφήνεια) μία ακμή, δηλαδή μία μικρή αλλά απότομη μεταβολή πάχους. Η ανικανότητα αυτή δείχνεται παραστατικά στο Σχήμα 23. Οι κυριώτερες πηγές-συνιστώσες ασάφειας είναι η ασάφεια αντικειμένου, η γεωμετρική ασάφεια, η ασάφεια κίνησης και η ασάφεια ενισχυτικής πινακίδας. Υπάρχουν και άλλες πηγές ασάφειας που

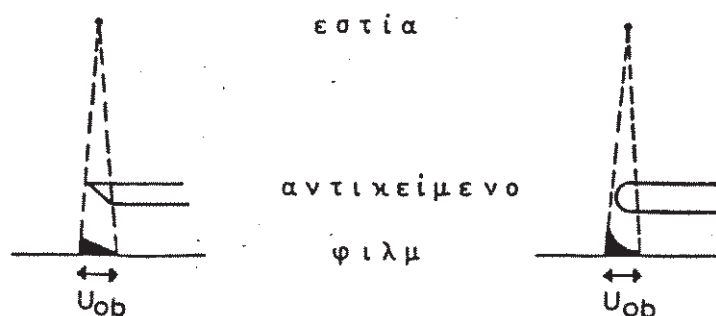
χαρακτηρίζονται σαν δευτερεύουσες αλλά σε ορισμένες περιπτώσεις διαδραματίζουν κυρίαρχο ρόλο. Τέτοιες πηγές-συνιστώσες είναι το φαινόμενο διασταύρωσης, το φαινόμενο άθω και η παράλλαξη. Στις επόμενες παραγράφους θα εξεταστούν οι πηγές-συνιστώσες ασάφειας σε συσχέτιση με τους φυσικογεωμετρικούς παράγοντες που τις επηρεάζουν.



Σχ. 24. Κατανομή οπτικής πυκνότητας σε φιλμ με ενισχυτική πινακίδα (α) κατά την ακτινογράφιση ακμής (β).

7.4.1. Ασάφεια αντικειμένου.

Η ασάφεια αντικειμένου ή απορρόφησης ή ενυπάρχουσα, είναι απόρροια της πολυπλοκότητας της δομής του αντικειμένου (ασθενούς). Εξαρτάται από την πυκνότητα, το σχήμα και τις ιδιότητες απορρόφησης ακτινοβολίας του αντικειμένου. Γίνεται σημαντική κατά την ακτινογράφιση αντικειμένων με άκρα, τριγωνικού ή καμπύλου σχήματος όπως φαίνεται και στα παραδείγματα του Σχήματος 24.



Σχ. 24. Δημιουργία ασάφειας αντικειμένου.

7.4.2. Γεωμετρική ασάφεια.

Το πρόβλημα της γεωμετρικής ασάφειας έχει αναλυθεί σε προηγούμενη παράγραφο (§ 3.4). Υπενθυμίζεται ότι για τη μείωσή της πρέπει να γίνεται η χρήση του μικρότερου δυνατού μεγέθους εστίας, της μέγιστης δυνατής απόστασης εστίας-αντικειμένου και της ελάχιστης δυνατής απόστασης αντικειμένου-φιλμ.

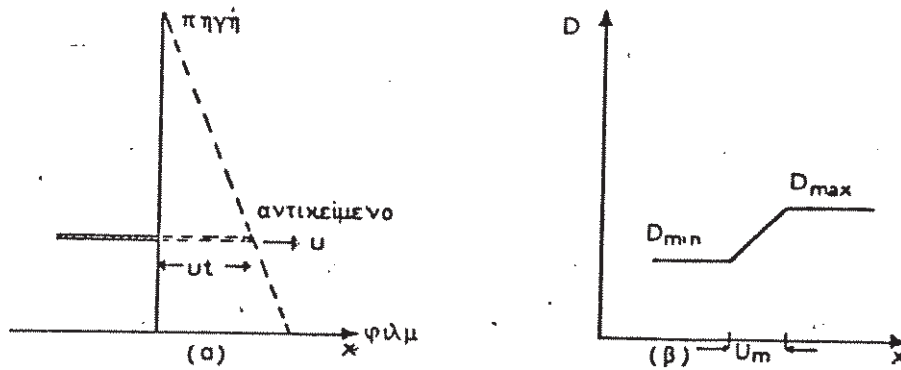
7.4.3. Ασάφεια κίνησης.

Εμφανίζεται στην περίπτωση ύπαρξης σχετικής κίνησης μεταξύ εστίας, αντικειμένου (ασθενούς) και φιλμ. Η σχετική αυτή κίνηση μπορεί να οφείλεται σε μετατόπιση είτε της εστίας είτε του αντικειμένου, είτε του φιλμ. Για την ποσοτική εκτίμηση της ασάφειας κίνησης που οφείλεται στο αντικείμενο ας θεωρηθεί το παράδειγμα του σχήματος 25. Το αντικείμενο κινείται παράλληλα προς το φιλμ με σταθερή ταχύτητα u . Στο χρονικό διάστημα t της έκθεσης το αντικείμενο θα έχει μετατοπιστεί κατά $u \cdot t$. Η αντίστοιχη μετατόπιση του ειδώλου του άκρου του αντικειμένου θα είναι ίση με το εύρος της ασάφειας κίνησης U_m . Από τα όμοια τρίγωνα που σχηματίζονται προκύπτει:

$$U_m = u \cdot M \cdot t \quad (25)$$

όπου M ο συντελεστής μεγέθυνσης. Σύμφωνα με την (25) κατά την ακτινογράφιση χωρίς μεγέθυνση ($M=1$) η ασάφεια κίνησης ισούται με την απόσταση μετακίνησης του αντικειμένου κατά το χρόνο έκθεσης (για μετατόπιση παράλληλη προς το ανιχνευτικό σύστημα).

Η ασάφεια κίνησης είναι σημαντική κατά την ακτινογράφιση μικρών παιδιών ή κινούμενων εσωτερικών οργάνων του ασθενούς όπως είναι οι πνεύμονες, το στομάχι και η καρδιά. Για την εξάλειψη των κινήσεων των παιδιών και άλλων ασθενών έχουν σχεδιαστεί κατάλληλα εξαρτήματα ακινητοποίησης του ασθενούς. Στην περίπτωση των πνευμόνων χρησιμοποιείται η απλή μέθοδος του ελέγχου της αναπνοής. Σε άλλες όμως περιπτώσεις, όπως στην καρδιακή αγγειογραφία δεν είναι δυνατή η ακινητοποίηση του κινούμενου οργάνου. Η μόνο μέθοδος για τη μείωση της ασάφειας κίνησης είναι η χρήση μικρών χρόνων έκθεσης, ή πιο συγκεκριμένα χρόνων έκθεσης που είναι μικροί συγκρινόμενοι με το χρόνο που απαιτείται για σημαντική μετατόπιση των δομών που ακτινογραφούνται. Η χρήση μικρών χρόνων έκθεσης μειώνει και την ασάφεια κίνησης που προκαλείται από κινήσεις της εστίας ή του ανιχνευτικού συστήματος. Τέτοιες κινήσεις οφείλονται σε δονήσεις της βελύχνης, σε μη κανονική περιστροφή της ανόδου ή σε δονήσεις του κτιρίου από την παρακείμενη κυκλοφορία βαρέων οχημάτων.

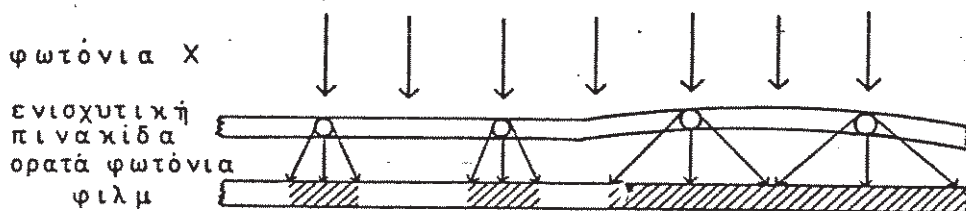


Σχ. 25. (α) Δημιουργία ασάφειας κίνησης (β) Ασάφεια κίνησης στο φιλμ.

7.4.4. Ασάφεια ενισχυτικής πινακίδας.

Οφείλεται στη διάχυση που υφίσταται το ορατό φως που παράχεται μέσα στο στρώμα φθορίζοντος υλικού της ενισχυτικής πινακίδας. Συχνά αναφέρεται και σαν "ασάφεια ανιχνευτικού συστήματος" ή "ασάφεια ενισχυτικής πινακίδας-φιλμ". Η ασάφεια όμως που οφείλεται στο φιλμ είναι αμελητέα συγκρινόμενη με την ασάφεια που οφείλεται στην ενισχυτική πινακίδα. Η ασάφεια ενισχυτικής πινακίδας εξαρτάται από τον τύπο του φθορίζοντος υλικού και το μέγεθος των κρυστάλλων του, το πάχος της ενισχυτικής πινακίδας και την ύπαρξη κατάλληλων χημικών ουσιών που απορροφούν εκλεκτικά τα ορατά φωτόνια που εκπέμπονται υπό μεγάλες γωνίες προς το φιλμ (βλ. § 5.2).

Η ασάφεια ενισχυτικής πινακίδας εξαρτάται σημαντικά από το βαθμό επαφής — ενισχυτικής πινακίδας-φιλμ που προσφέρει η κασσέτα. Χαρακτηριστικό είναι το σχήμα 26 στο οποίο δείχνεται σχηματικά ότι στην περιοχή που η επαφή ενισχυτικής πινακίδας-φιλμ δεν είναι ικανοποιητική η ασάφεια ενισχυτικής πινακίδας αυξάνει. Αυτό οφείλεται στη μεγαλύτερη διάχυση που υφίσταται το ορατό φως λόγω της μεγαλύτερης απόστασης ενισχυτικής πινακίδας-φιλμ. Ο βαθμός επαφής έχει ιδιαίτερη σημασία στον καθορισμό της ασάφειας εικόνας διότι η "κακή" επαφή επιδρά ενισχυτικά σε όλες τις συνιστώσες ασάφειας.



Σχ. 26. Παράδειγμα "καλής" και "κακής" επαφής συστήματος ενισχυτικής πινακίδας-φιλμ.

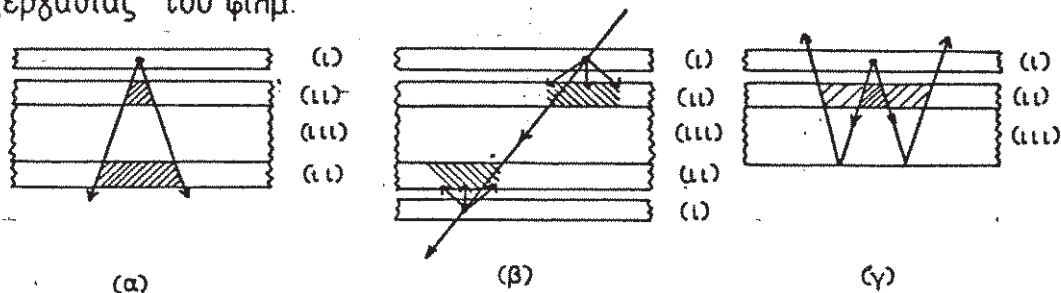
7.4.5. Άλλες πηγές ασάφειας.

Στην ασάφεια εικόνας μπορούν να συμβάλουν και φαινόμενα όπως το διασταυρώσεως, το παράλληλαξης και το άλω. Ασάφεια μπορεί να προκληθεί και από τη μη ασυμμετρία σε σύστημα με εμπρός και πίσω ενισχυτική πινακίδα (βλ. § 5.2.1).

(α) *Φαινόμενο διασταυρώσεως* (cross-over ή print through) που εμφανίζεται σε φιλμ διπλού φωτογραφικού χαλακτώματος. Τα ορατά φωτόνια που έχουν παραχθεί στο στρώμα φθορίζοντος υλικού της ενισχυτικής πινακίδας προσβάλλουν και τα δύο στρώματα φωτογραφικού χαλακτώματος του φιλμ. Στο δεύτερο στρώμα, που απέχει μεγαλύτερη απόσταση από την ενισχυτική πινακίδα, τα ορατά φωτόνια έχουν υποστεί μεγαλύτερη διάχυση, όπως φαίνεται στο Σχήμα 27α. Η διάχυση και επομένως η ασάφεια που προκαλείται αυξάνει για μεγάλα πάχη βάσης του φιλμ. Το φαινόμενο διασταυρώσεως είναι έντονο όταν χρησιμοποιούνται ενισχυτικές πινακίδες που εκπέμπουν πράσινο φως. Γενικά το φαινόμενο δεν είναι έντονο σε συστήματα ενισχυτικής πινακίδας-φιλμ που χαρακτηρίζονται από ικανοποιητική φασματική σύζευξη (βλ. § 5.3). Στην περίπτωση αυτή διατίθενται λιγότερα ορατά φωτόνια για το φαινόμενο διασταυρώσεως.

(β) *Φαινόμενο παράλληλαξης* που μπορεί να προκληθεί σε φιλμ διπλού φωτογραφικού χαλακτώματος όταν δεν είναι κάθετο προς την κεντρική ακτίνα της δέσμης. Όπως δείχνεται στο Σχήμα 27β λόγω της ακτίνας X υπάρχει εκπομπή ορατών φωτονίων στην εμπρός και στην πίσω ενισχυτική πινακίδα και δημιουργία αντίστοιχων αμαυρώσεων-ειδώλων στα φωτογραφικά χαλακτώματα του φιλμ. Τα είδωλα αυτά είναι μετατοπισμένα μεταξύ τους ως προς άξονα κάθετο προς την επιφάνεια του φιλμ. Η μετατόπιση αυτή είναι αυξημένη για μεγάλα πάχη βάσης του φιλμ.

(γ) *Φαινόμενο άλω* (halation) που εμφανίζεται σε φιλμ μονού φωτογραφικού χαλακτώματος. Ορατά φωτόνια που εκπέμπονται από την ενισχυτική πινακίδα διαπερνούν το φιλμ και ανακλώμενα επιστρέφουν και επαναπροσβάλλουν το χαλακτώμα (Σχήμα 27γ). Το φαινόμενο αυτό μπορεί να παρεμποδιστεί με επίστρωση της οπίσθιας πλευράς του φιλμ με στρώμα ζελατίνης που περιέχει κατάλληλη ουσία που απορροφά εκλεκτικά τα ορατά φωτόνια στα οποία είναι ευαίσθητο το φωτογραφικό χαλακτώμα. Η ουσία αυτή αποχρωματίζεται ή απομακρύνεται κατά τη διαδικασία επεξεργασίας του φιλμ.



Σχ. 28. (α) Φαινόμενο διασταυρώσεως. (β) Φαινόμενο παράλληλαξης και (γ) φαινόμενο άλω. Συμβολισμός: (i) ενισχυτική πινακίδα, (ii) φωτογραφικό χαλακτώμα, (iii) βάση του φιλμ.

7.4.6. Ολική ασάφεια εικόνας.

Η ολική ασάφεια εικόνας εξαρτάται απ' όλες τις επιμέρους συνιστώσες ασάφειας. Για την ποσοτική εκτίμηση της ολικής ασάφειας έχουν δοθεί διάφορες σχέσεις αλλά η περισσότερο αποδεκτή είναι:

$$U_t = [U_{ob}^2 + U_g^2 + U_m^2 + U_s^2]^{1/2} \quad (26)$$

Αυτή η μη γραμμική εξάρτηση συνεπάγεται ότι η ολική ασάφεια εικόνας καθορίζεται από τη συνιστώσα ασάφειας με τη μεγαλύτερη τιμή. Πράγματι, έστω ότι σε μία ακτινογραφική εικόνα οι επιμέρους συνιστώσες ασάφειας είναι: $U_{ob} = 0.9$ mm, $U_g = 2.4$ mm, $U_m = 0.5$ mm και $U_s = 0.7$ mm. Σύμφωνα με τη σχέση (26) η ολική ασάφεια εικόνας θα είναι $U_t = 2.7$ mm. Επομένως, κατά την ακτινογράφιση πρέπει να επισημαίνεται η κυριώτερη πηγή-συνιστώσα ασάφειας και να καταβάλλεται προσπάθεια περιορισμού της. Προσπάθειες για τη μείωση των άλλων συνιστωσών ασάφειας δεν θα έχουν πρακτικό αποτέλεσμα διότι δεν θα συμβάλλουν στη μείωση της ολικής ασάφειας εικόνας.

7.5. Ανεπιθύμητες πληροφορίες και θόρυβος.

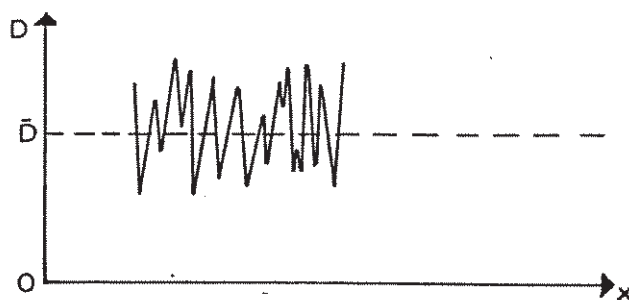
Η παρουσία στην ακτινογραφική εικόνα ανεπιθύμητων πληροφοριών και ακτινογραφικού θορύβου χαρακτηρίζεται γενικά σαν "θόρυβος" και δυσχεραίνει σημαντικά την άντληση διαγνωστικών πληροφοριών.

7.5.1. Θόρυβος δομής.

Συχνά η αρχιτεκτονική των δομών του αντικειμένου (ασθενούς) αποτελεί εμπόδιο στη λήψη πληροφοριών από κάποια συγκεκριμένη δομή ή προσθέτει ανεπιθύμητες εικόνες-πληροφορίες. Οι ανεπιθύμητες αυτές πληροφορίες χαρακτηρίζονται γενικά σαν θόρυβος δομής. Χαρακτηριστικό παράδειγμα θορύβου δομής αποτελεί η απεικόνιση των οστέινων πλευρών κατά την ακτινογράφιση των πνευμόνων. Μπορεί να εξαλειφθεί είτε με επιλογή κατάλληλης τάσης (π.χ. υψηλή σχετικά τάση 150 kVp κατά την ακτινογράφιση πνευμόνων), είτε με χρήση ειδικής τεχνικής (π.χ. τοποθέτηση του αντικειμένου σε απόσταση από την κεντρική ακτίνα της δέσμης ή τομογραφίας).

7.5.2. Ακτινογραφικός θόρυβος.

Ο ακτινογραφικός θόρυβος (radiographic mottle) οφείλεται στην αδυναμία του συστήματος ενισχυτικής πινακίδας-φιλμ να απεικονίσει ομοιογενώς μία μακροσκοπικά ομοιογενή δέσμη ακτίνων Χ, όπως δείχνεται στο σχήμα 28. Επιδρά κυρίως στην ικανότητα απεικόνισης λεπτομερειών χαμηλής αντίθεσης. Στο παρελθόν ο ακτινογραφικός θόρυβος εθεωρείτο δευτερεύον χαρακτηριστικό και δεν ελαμβάνετο υπόψη. Η ανάπτυξη και καθιέρωση πολύ ευαίσθητων συστημάτων ενισχυτικής πινακίδας-φιλμ συνέβαλλε σε αναθεώρηση αυτής της αντίληψης, διότι ο ακτινογραφικός θόρυβος αναδεικνύεται συχνά σε κύριο παράγοντα υποβάθμισης της ποιότητας της εικόνας. Ο ακτινογραφικός θόρυβος είναι στατιστικής φύσεως και χαρακτηρίζεται από δύο βασικά μεγέθη, την ένταση και τη χωρική του συχνότητα ("αδρότητα"). Οι κύριες συνιστώσες του είναι ο κβαντικός θόρυβος, ο θόρυβος ενισχυτικής πινακίδας και ο θόρυβος κόκκων του φιλμ.



Σχ.28. Κατανομή οπτικής πυκνότητας σε φιλμ που έχει εκτεθεί σε μακροσκοπικά ομοιογενή δέσμη ακτίνων Χ.

7.6. Συνθήκες παρατήρησης.

Το τελικό στάδιο μίας ακτινογραφικής εξέτασης είναι η παρατήρηση-μελέτη της ακτινογραφικής εικόνας και η άντληση απ'αυτήν όλων των απαραίτητων ακτινοδιαγνωστικών πληροφοριών. Το στάδιο αυτό είναι ίσως το πιο περίπλοκο απ' όλα τα στάδια της ακτινοδιαγνωστικής διαδικασίας διότι εξαρτάται πρώτα απ' όλα από φυσιολογικά και ψυχολογικά χαρακτηριστικά του παρατηρητή. Εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά απόκρισης του οφθαλμού του, την εκπαίδευση και εμπειρία του, την αναγνώριση προτύπων (pattern recognition) και την ανάκληση και συσχέτιση πληροφοριών. Η ποιότητα της παρατηρούμενης ακτινογραφικής εικόνας εξαρτάται και από τις συνθήκες παρατήρησής της. Πιο συγκεκριμένα εξαρτάται από: (α) Τη φωτεινότητα του διαφανοσκοπίου που πρέπει να έχει ομοιογένεια, κατάλληλη ένταση και κατάλληλη φασματική εκπομπή. Ο φωτισμός σε μπλε-λευκό είναι γενικά αποδεκτός. Εάν ο φωτισμός

είναι πολύ έντονος ή αδύναμος η ακτινογραφική εικόνα θα παρουσιάζεται σαν υποεκτεθειμένη ή υπερεκτεθειμένη αντίστοιχα. Για τη μελέτη υπερεκτεθειμένων τμημάτων της ακτινογραφικής εικόνας είναι χρήσιμο ένα διαφανοσκόπιο έντονης ή αυξομειούμενης φωτεινότητας. (β) Τις συνθήκες φωτισμού του περιβάλλοντος χώρου. Όσον αφορά το φωτισμό δωματίου πρέπει να μην είναι υψηλός και να μην υπάρχουν στο δωμάτιο εστίες έντονου φωτισμού ή αντικείμενα που προκαλούν έντονες φωτεινές ανακλάσεις. Όσον αφορά το άμεσο περιβάλλον του τμήματος υψηλού ενδιαφέροντος του φιλμ, εμφανίζονται δύο προβλήματα: Πρώτον, επειδή οι διαστάσεις του φιλμ είναι συνήθως μικρότερες από τις διαστάσεις του διαφανοσκοπίου, το φιλμ περιβάλλεται από έντονο φωτισμό που δυσχεραίνει την παρατήρηση. Αυτό αντιμετωπίζεται με κάλυψη της επιφάνειας αυτής με αδιαφανές υλικό. Δεύτερον, κατά την παρατήρηση ενός τμήματος του φιλμ υπάρχουν χειτονικά τμήματα που ο φωτισμός τους δυσχεραίνει την παρατήρηση. Το πρόβλημα χίνεται πιο εμφανές όταν τα χειτονικά τμήματα είναι μικρότερης οπτικής πυκνότητας από το τμήμα παρατήρησης. Το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίζεται με ανάλογο τρόπο δηλαδή με χρήση αδιαφανούς υλικού. (γ) Την τεχνική παρατήρησης της ακτινογραφικής εικόνας. Φυσικά κάθε ακτινολόγος αναπτύσσει και προσαρμόζει στις απαιτήσεις και ικανότητές του μία κατάλληλη τεχνική. Υπάρχουν όμως μερικά ζητήματα που μπορούν να αναφερθούν. Ιδιαίτερη σημασία έχει η απόσταση παρατηρητή-φιλμ. Σε αρκετές περιπτώσεις βοηθάει η παρατήρηση του φιλμ από διάφορες αποστάσεις καθώς και η οπτική σάρωση του φιλμ. Σημαντική είναι η γωνία παρατήρησης του φιλμ. Κατά την παρατήρηση φιλμ διπλού φωτογραφικού χαλακτώματος υπό γωνία, μπορεί να προκληθεί ασάφεια λόγω παράλλαξης. Τέλος, η άντληση ακτινοδιαχωνστικών πληροφοριών μπορεί να διευκολυνθεί με την κατάλληλη χρήση βοηθητικών εξαρτημάτων όπως μεγεθυντικό φακό, οπτικό κύλινδρο και μετρητική κλίμακα.