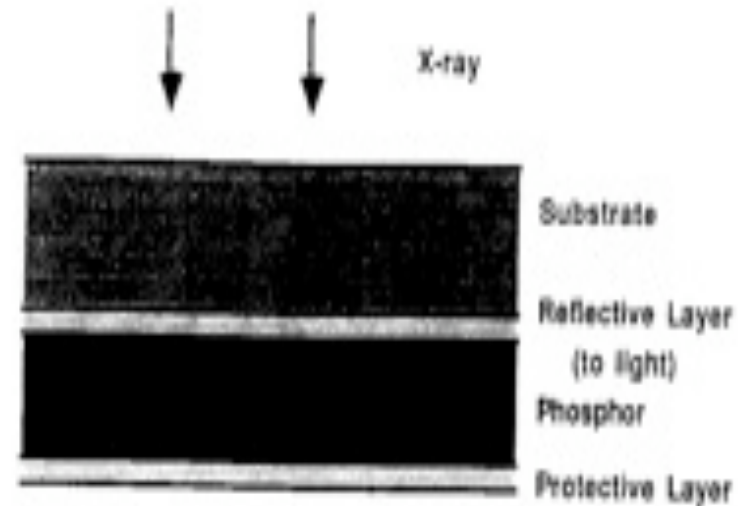


Οθόνες Ενίσχυσης κ Ενισχυτές Εικόνας

- Η πληροφορία που μεταφέρεται από τις ακτίνες – Χ δε γίνεται απ'ευθείας αντιληπτή από το ανθρώπινο μάτι.
- Για να έχουμε ορατή πληροφορία χρησιμοποιούμε είτε φωτογραφική ταινία είτε μετατρέπουμε τα φωτονία ακτίνων – Χ σε ορατά φωτόνια.
- Συνήθως, χρησιμοποιούμε ενισχυτικές οθόνες, με αποτέλεσμα να έχουμε καλύτερη απεικόνιση καθώς και σημαντική μείωση της ποσότητας που δέχεται ο ασθενής σε ακτινοβολία.

Οθόνες Ενίσχυσης (1)

- Η ενισχυτική οθόνη είναι βασικά ένα στρώμα από υλικό φθορισμού πάχους 0.05 έως 0.3mm, το οποίο εκπέμπει ορατά φωτόνια όταν διεγείρεται από ακτίνες Χ.
- Το υπόστρωμα έχει πάχος μερικών δεκάτων του mm, είναι σχετικά διαπερατό από τις ακτίνες Χ.
- Το προστατευτικό στρώμα είναι διαπερατό από το φως.
- Το στρώμα ανάκλασης φωτός έχει πάχος 0.025mm και αποτρέπει τα ορατά φωτόνια να κινηθούν προς την αντίθετη κατεύθυνση.
- Αφού τα φωτόνια ακτίνων – Χ είναι υψηλής ενέργειας ενώ τα ορατά φωτόνια χαμηλής, ένας μικρός αριθμός φωτονίων μπορεί να παράγει μεγάλη ποσότητα ορατού φωτός.



Οθόνες Ενίσχυσης (2)

- Υπάρχουν δύο είδη φωσφοριστών και επομένως δύο είδη ενισχυτικής οθόνης:
 1. Οι οθόνες ασβεστούχου βολφραμικού οξέος (CaWO_4)
 2. Οι οθόνες σπανίων γαιών (με ενώσεις: όπως $\text{La}_2\text{O}_2\text{S:Tb}$, $\text{Gd}_2\text{O}_2\text{S:Tb}$, $\text{Y}_2\text{O}_2\text{S:Tb}$) όπου το στοιχείο τέρβιο (Tb) χρησιμοποιείται ως καταλύτης.

Οθόνες Ενίσχυσης (3)

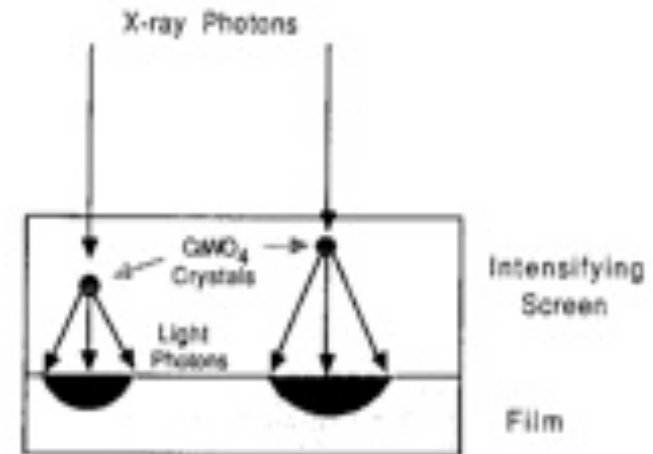
- Οι οθόνες ασβεστούχου βολφραμικού οξέος (CaWO_4) εκπέμπουν μπλε φως συνεχούς φάσματος με μέγιστο μήκος κύματος τα 430 nm.
- Ο όρος «μπλε οθόνη» αναφέρεται στην ίδια την οθόνη, αλλά επίσης και στην ευαίσθητη στο μπλε φως ταινία που χρησιμοποιείται μαζί με την οθόνη CaWO_4 .
- Οι οθόνες σπάνιων γαιών εκπέμπουν φως σε στενές γραμμές με μεγάλες κορυφές στην πράσινη περιοχή του ορατού φάσματος και μικρότερες στην μπλε και την κίτρινη περιοχή. Ο όρος «πράσινη οθόνη» επικρατεί εδώ.
- Η ταινία που χρησιμοποιείται με αυτές τις οθόνες πρέπει να είναι ευαίσθητη στο πράσινο φως ώστε να μην χάνεται χρήσιμη μεταδιδόμενη ακτιβολία.

Οθόνες Ενίσχυσης (4)

- Οι οθόνες σπάνιων γαιών έχουν εκτοπίσει τις οθόνες CaWO_4 για δύο κυρίως λόγους:
 1. έχουν υψηλότερη απόδοση στη μετατροπή των ακτίνων X σε ορατό φως (12-20% έναντι 5% στις οθόνες CaWO_4).
 2. Εξαιτίας της διαφοράς ενέργειας της στοιβάδας K. Τα φωτόνια των ακτίνων X που έχουν μεγαλύτερη ενέργεια από την ενέργεια στοιβάδας K, απορροφώνται από τα άτομα του φωσφοριστή.

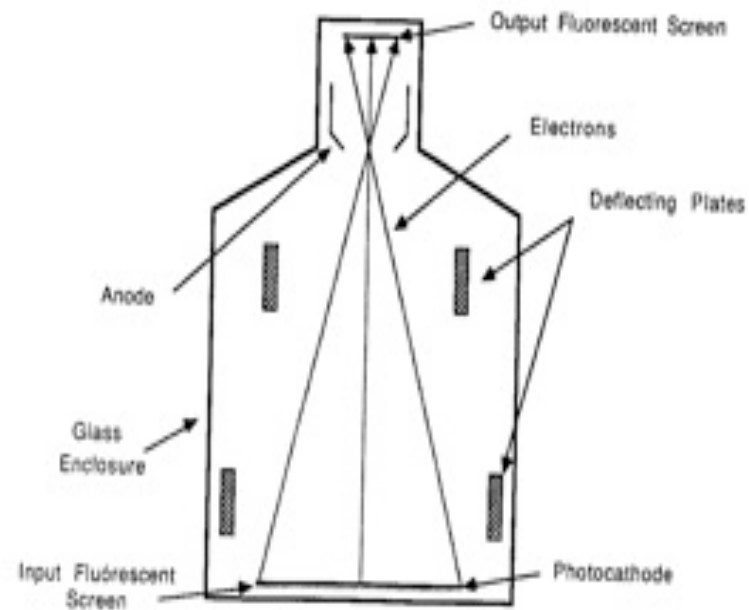
Οθόνες Ενίσχυσης (5)

- Η ταχύτητα μιας ενισχυτικής οθόνης καθορίζεται κυρίως από το πάχος της, την ικανότητα των ορατών φωτονίων να εξέρχονται από την οθόνη και από την απόδοση στην απορρόφηση της ακτινοβολίας X και στη μετατροπή της σε φως.
- Όσο πιο παχύ το υλικό φθορισμού τόσο μεγαλύτερη η ταχύτητα, αφού ένα παχύτερο στρώμα απορροφά περισσότερα φωτόνια ακτινοβολίας X και συνεπώς εκπέμπει περισσότερα ορατά φωτόνια. Επομένως, η φωτογραφική ταινία να μαυρίσει σε μικρότερο χρόνο.
- Η αύξηση του πάχους οδηγεί επίσης στην υποβάθμιση της ποιότητας της εικόνας, λόγω σκεδασμού και διάχυσης των ορατών φωτονίων
- Μπορεί να προστεθεί φωτοαπορροφητική βαφή στο φωσφοριστή για να βελτιώσει την ανάλυση, απορροφώντας τα ορατά φωτόνια που εκπέμπονται πλευρικά



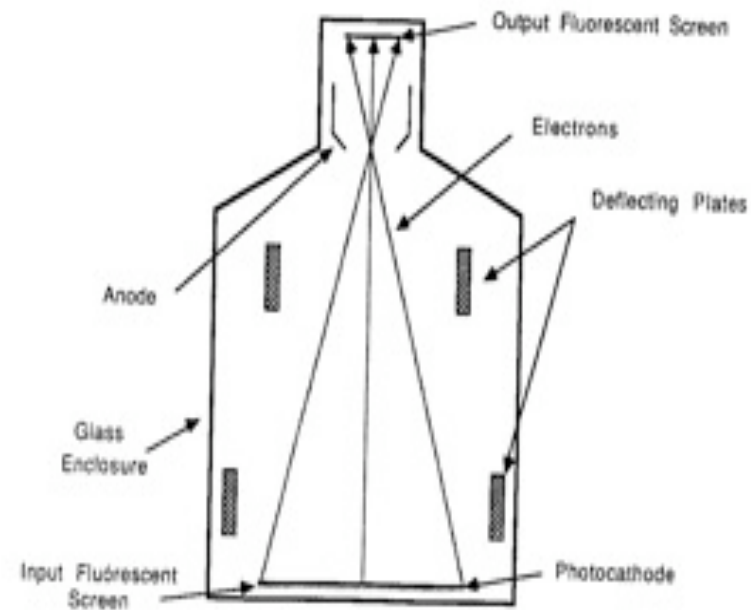
Ενισχυτές εικόνας (1)

- Είναι ένας σωλήνας κενού με τα ακόλουθα στοιχεία:
 1. φθορίζουσα οθόνη εισόδου και φωτοκάθοδο
 2. πλάκες εστίασης
 3. άνοδο
 4. φθορίζουσα οθόνη εξόδου.
- Τα φωτόνια ακτίνων - X που έχουν διαπεράσει το σώμα του ασθενούς απορροφώνται από την φθορίζουσα οθόνη διαμέτρου 15 έως 35 cm, η οποία σχεδόν ταυτόχρονα εκπέμπει ορατά φωτόνια.
- Τα φωτόνια αυτά προσπίπτουν στη γειωμένη φωτοκάθοδο αναγκάζοντας την να εκπέμψει ηλεκτρόνια



Ενισχυτές εικόνας (2)

- Η φωτοκάθοδος συνήθως αποτελείται από μέταλλο φωτοεκπομπής όπως ενώσεις αντιμονίου και κεσίου ($SbCs_3$).
- Η απόδοση της φωτοκαθόδου (δηλαδή ο αριθμός των ηλεκτρονίων που παράγονται από ένα φωτόνιο) κυμαίνεται από 10-20%.
- Στη συνέχεια, η ακτίνα των ηλεκτρονίων θα εστιαστεί και θα επιταχυνθεί από τις πλάκες εστίασης και την άνοδο.
- Όταν τα υψηλής ενέργειας ηλεκτρόνια προσπέσουν στη φθορίζουσα οθόνη εξόδου διαμέτρου 1.5 έως 2.5 cm, τότε αυτή θα παράγει μία εικόνα πολύ πιο φωτεινή από αυτήν ενός τυπικού φθοροσκοπίου.
- Αυτό συμβαίνει για δύο λόγους:
 1. τα ηλεκτρόνια κερδίζουν ενέργεια κατά την επιτάχυνσή τους στην άνοδο
 2. η οθόνη εξόδου είναι πολύ μικρότερη από την οθόνη εισόδου.
- Χρησιμοποιείται σαν φωσφοριστής εισόδου το ιωδιούχο κέσιο ($CsI:Na$) που είναι πιο αποδοτικό και λεπτό από το σουλφίδιο ψευδαργύρου — καδμίου ($ZnCdS:Ag$), το οποίο χρησιμοποιείται ως υλικό φθορισμού στην έξοδο.



Ταινία ακτίνων – Χ

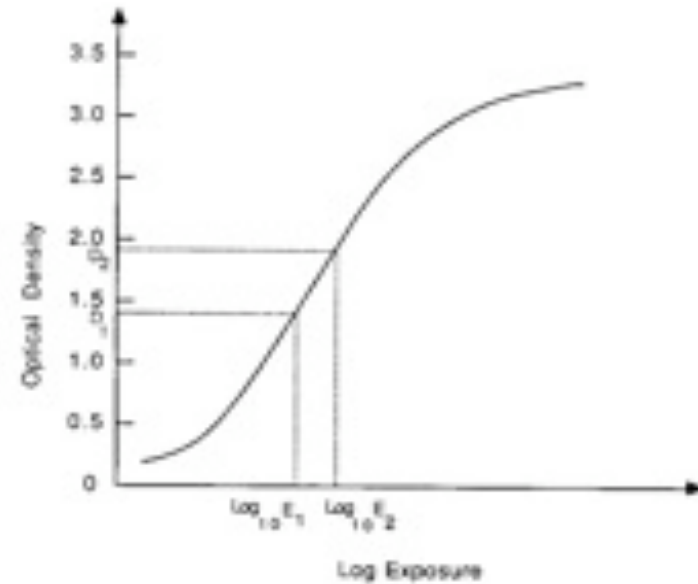
- Η ταινία ακτίνων Χ είναι μία φωτογραφική ταινία αποτελούμενη από διαπερατό πλαστικό υπόστρωμα φτιαγμένο από οξικό εστέρα ή πολυεστέρα.
- Συνήθως το υπόστρωμα είναι επικαλυμμένο και στις δύο πλευρές του με φωτοευαίσθητο γαλάκτωμα.
- Τα σημαντικότερα συστατικά του γαλακτώματος είναι κρύσταλλοι αλογονούχου αργύρου και ζελατίνη.
- Όταν στην επιφάνεια του γαλακτώματος προσπίπτει ένα φωτόνιο (από ακτίνες Χ ή φως), τότε ένα ιόν βρωμίου το απορροφά και απελευθερώνει ένα ηλεκτρόνιο. Αυτό στη συνέχεια μπορεί να ενωθεί με κάποιο ιόν αργύρου και να σχηματίσει ένα άτομο.
- Επομένως η έκθεση της ταινίας στο φως έχει ως αποτέλεσμα το μαύρισμά της καθώς δημιουργούνται ολοένα και περισσότερα άτομα αργύρου.
- Η διεργασία μαυρίσματος επηρεάζεται από την ένταση του προσπίπτοντος φωτός και από το χρόνο έκθεσης της ταινίας

Οπτική πυκνότητα

- Η φωτογραφική ή οπτική πυκνότητα που χρησιμοποιείται για να μετρήσουμε το μαύρισμα της ταινίας ορίζεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$D = \log_{10}(I_i/I_t)$$

- D υποδηλώνει την οπτική πυκνότητα, τα I_i και I_t είναι οι εντάσεις του προσπίπτοντος και του εξερχόμενου φωτός αντίστοιχα.
- Υψηλότερη πυκνότητα σημαίνει μια πιο μαυρισμένη ταινία ή λιγότερο εξερχόμενο φως.



- Στον πίνακα φαίνεται η σχέση μεταξύ της πυκνότητας, της αδιαφάνειας και της εκπομπής φωτός σε μια ταινία ακτίνων Χ.

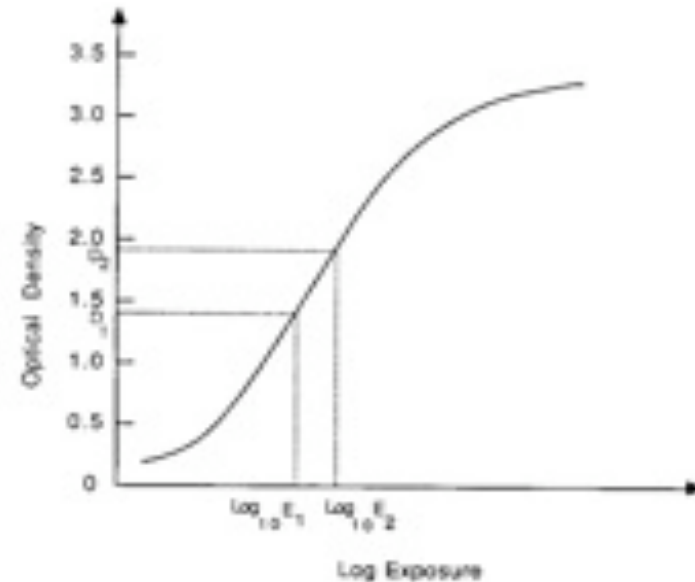
Αδιαφάνεια I_0/I_1	Πυκνότητα $\log(I_0/I_1)$	Εκπομπή φωτός (%)
1	0	100.0
2	0.3	50.0
4	0.6	25.0
8	0.9	12.5
10	1.0	10.0
30	1.5	3.2
100	2.0	1.0
300	2.5	0.3
1000	3.0	0.1

Πυκνότητα βάσης και ομίχλης

- Μία μη εκτεθιμένη ταινία παρουσιάζει συνήθως πυκνότητα μικρότερη από 0.22. Αυτή ονομάζεται πυκνότητα βάσης και ομίχλης και οφείλεται:
 1. στο υλικό της βάσης όπου επικάθεται το γαλάκτωμα
 2. στα αλογονίδια του αργύρου, τα οποία εμφανίζονται στην ταινία χωρίς αυτή να εκτεθεί και ονομάζονται ομίχλη ταινίας.
- Η ομίχλη εμφανίζεται σε όλες τις απεικονίσεις με ακτίνες X και ορισμένοι λόγοι που την προκαλούν είναι η αποθήκευση της ταινίας σε θερμούς χώρους με αυξημένη υγρασία και σε χώρους με υψηλά επίπεδα ακτινοβολίας.
- Ένας από τους λόγους που εκφράζουμε την πυκνότητα σε λογαριθμική κλίμακα είναι γιατί η φυσιολογική απόκριση του ματιού στην ένταση του φωτός είναι λογαριθμική.

Χαρακτηριστική καμπύλη

- Η σχέση μεταξύ της πυκνότητας και της έκθεσης της ταινίας ονομάζεται χαρακτηριστική καμπύλη ή καμπύλη H και D της ταινίας.
- Ακόμα και με μηδενική έκθεση η πυκνότητα δεν είναι μηδέν λόγω του υλικού βάσης και της ομίχλης ταινίας.
- Στο μεσαίο τμήμα της καμπύλης, που είναι το σημαντικότερο κομμάτι της, η πυκνότητα είναι σχεδόν γραμμικά ανάλογη της λογαριθμικής έκθεσης.

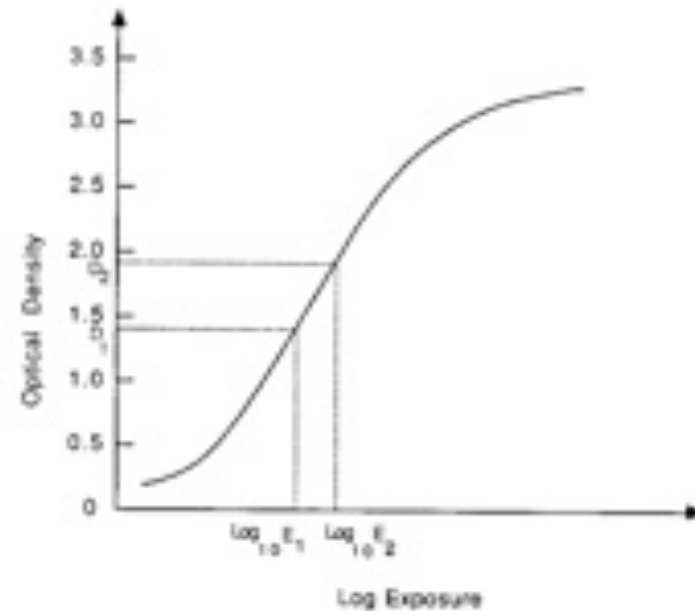


Ταινία γάμμα

- Η μέγιστη κλίση στην χαρακτηριστική καμπύλη ονομάζεται ταινία γάμμα και δίνεται από τη σχέση:

$$\gamma = \frac{D_2 - D_1}{\log_{10} E_2 - \log_{10} E_1}$$

- Η μέση κλίση στην περιοχή της ωφέλιμης ακτινογραφικής πυκνότητας (από 0.5 έως 2.5) είναι πιο χρήσιμη.
- Αν η κλίση είναι μεγαλύτερη από τη μονάδα τότε η ταινία ενισχύει τη πληροφορία που μεταφέρεται από τα προσπίπτοντα φωτόνια.



Ταχύτητα ή ευαισθησία ταινίας ακτίνων Χ

- Η ταχύτητα ή ευαισθησία μιας ταινίας ακτίνων Χ ορίζεται ως το αντίστροφο κλάσμα της έκθεσης που απαιτείται για να παραχθεί πυκνότητα κατά μία μονάδα μεγαλύτερη από την πυκνότητα βάσης και ομίχλης της ταινίας. Δηλαδή:

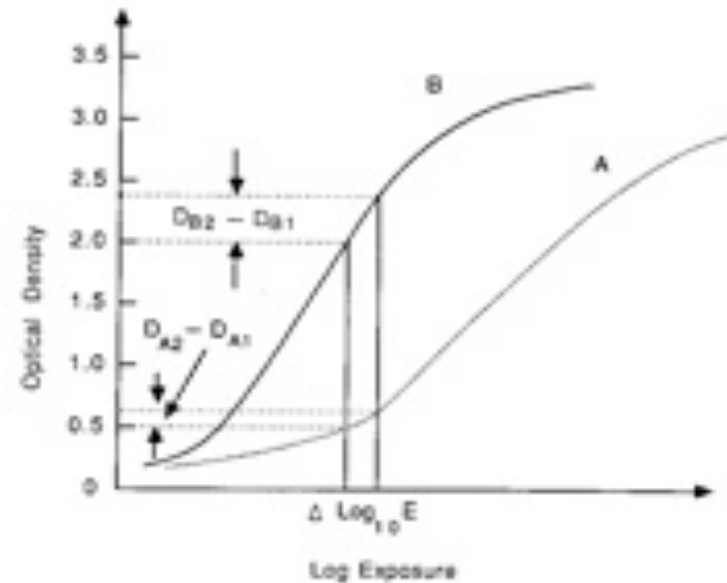
$$S = \frac{1}{E}$$

όπου S η ταχύτητα και E η έκθεση (μετράται σε roentgens).

- Αν θεωρήσουμε την ένταση της έκθεσης σταθερή, τότε όσο μικρότερος είναι ο χρόνος έκθεσης τόσο ταχύτερη είναι η ταινία.
- Η ταχύτητα της ταινίας εξαρτάται επίσης από τον χρόνο εμφάνισης της ταινίας, τη θερμοκρασία κατά την εμφάνιση, καθώς και το μέγεθος κόκκου (grain size) του αργύρου.
- Η αύξηση της θερμοκρασίας εμφάνισης αυξάνει, εκτός από την ταχύτητα, και την πυκνότητα ομίχλης.

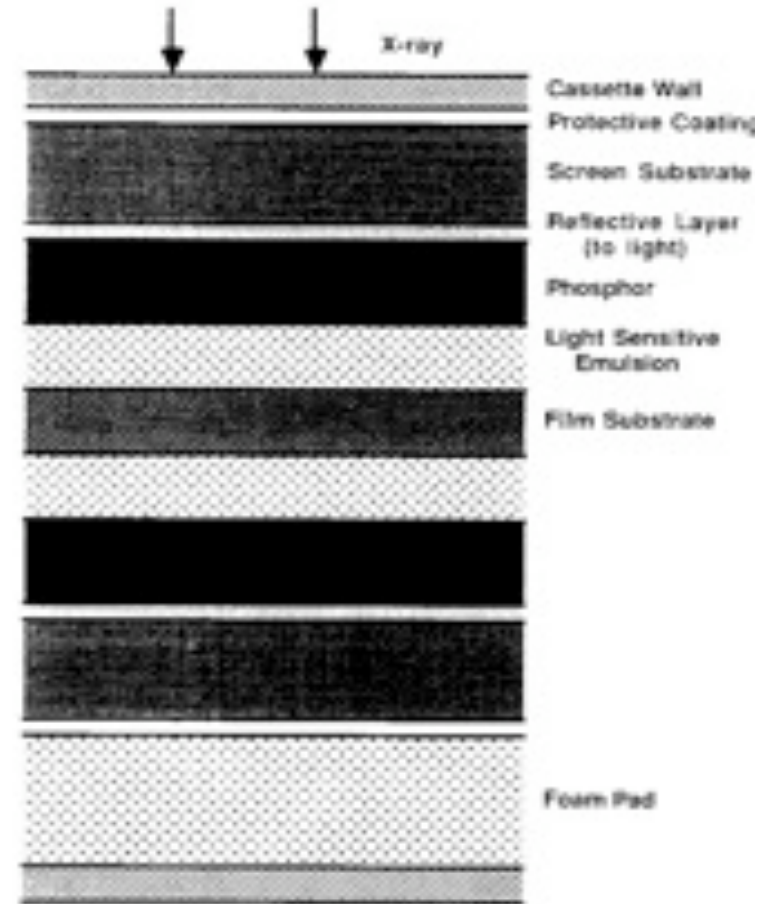
Πλάτος ταινίας

- Ως πλάτος ταινίας ορίζεται το εύρος της λογαριθμικής έκθεσης που παράγει οπτική πυκνότητα κατάλληλη για διαγνωστικούς σκοπούς.
- Κυμαίνεται μεταξύ 0.5 και 2.5.
- Μεγάλο πλάτος αποφέρει χαμηλή αντίθεση (contrast) στην ταινία.
- Η αντίθεση ορίζεται ως η διαφορά στην οπτική πυκνότητα δύο γειτονικών περιοχών.



Ταινία διπλού γαλακτώματος

- Οι ταινίες που χρησιμοποιούνται καθημερινά στην ακτινολογία επικαλύπτονται με φωτοευαίσθητο γαλάκτωμα και από τις δύο πλευρές του υποστρώματος.
- Οι λόγοι είναι δύο:
 1. αποτρέπεται η κάμψη της ταινίας. Η ταινία θα λυγίσει αν είναι επικαλυμμένη μόνο από τη μια μεριά, όταν το γαλάκτωμα στεγνώσει και συρρικνωθεί.
 2. διπλασιάζει την αντίθεση της ταινίας.
- Το πάχος του γαλακτώματος και της βάσης είναι 0.01mm και 0.15mm αντίστοιχα.

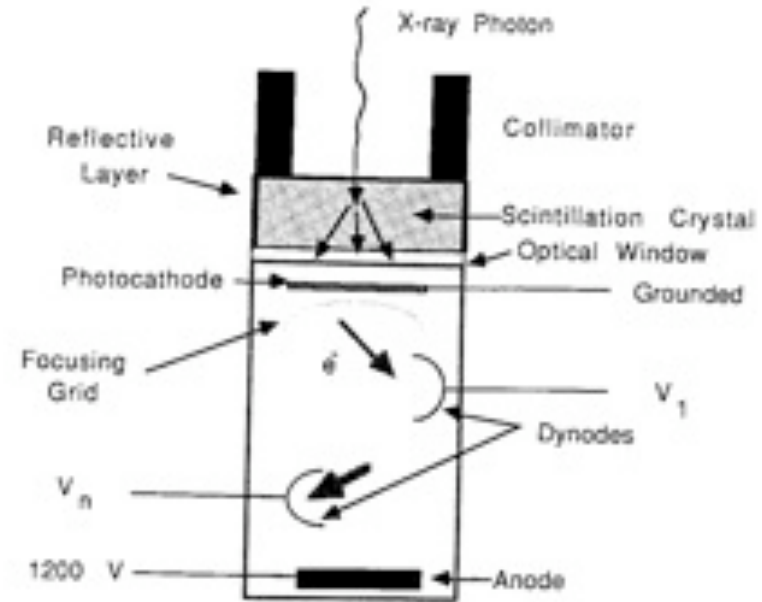


Ανιχνευτές σπινθηρισμών

- Αποτελείται από έναν κρύσταλλο σπινθηρισμού (π.χ. ιωδιούχο νάτριο) συζευγμένο μ' έναν φωτοπολλαπλασιαστή.
- Οι κρύσταλλοι σπινθηρισμού όπως το ιωδιούχο νάτριο εκπέμπουν ορατό φως κατά αναλογία της απορροφούμενης ενέργειας από τα φωτόνια ακτίνων – Χ.
- Η επιφάνεια του κρυστάλλου είναι καλυμμένη με ανακλαστικό υλικό που συλλέγει τα ορατά φωτόνια.

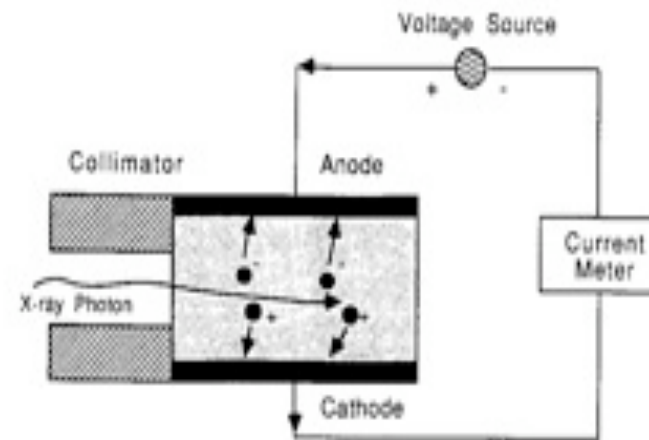
Φωτοπολλαπλασιαστής

- Αποτελείται από μία φωτοκάθοδο, μία άνοδο και μερικά ενδιάμεσα ηλεκτρόδια (dynodes).
- Η φωτοκάθοδος είναι επικαλυμμένη με υλικό φωτοεκπομπής που εκπέμπει ηλεκτρόνια όταν προσπίπτουν πάνω του ορατά φωτόνια.
- Η εκπομπή ηλεκτρονίων είναι ανάλογη της έντασης του φωτός. Μεταξύ της γειωμένης φωτοκαθόδου και του πρώτου ενδιάμεσου ηλεκτροδίου (δυναμικό V_1) υπάρχει διαφορά δυναμικού, επομένως τα ηλεκτρόνια θα επιταχυνθούν προς το ηλεκτρόδιο.
- Τα ηλεκτρόδια είναι καλυμμένα με ένα υλικό που όταν προσκρούεται από κάποιο ηλεκτρόνιο, εκπέμπει νέα ηλεκτρόνια.
- Στην πορεία τους προς την άνοδο τα ηλεκτρόνια πολλαπλασιάζονται περνώντας από κάθε ενδιάμεσο ηλεκτρόδιο.
- Το ρεύμα εξόδου είναι ανάλογο του αριθμού των ορατών φωτονίων.
- Η απόδοση αυτού του τύπου ανιχνευτή υπερβαίνει το 85%.



Θάλαμος ιονισμού

- Αποτελείται από ένα θάλαμο γεμάτο με αέριο, συνήθως ξένον (Xe).
- Τα μόρια του αερίου ιονίζονται μέσα στον θάλαμο από τα φωτόνια των ακτίνων X.
- Στη συνέχεια τα ιόντα προσελκύονται στα ηλεκτρόδια ανόδου — καθόδου μέσω μιας διαφοράς τάσης μεταξύ των ηλεκτροδίων.
- Η τάση αυτή καθορίζεται έτσι ώστε να παραχθεί ένα ρεύμα, το οποίο θα είναι αντιπροσωπευτικό της εκάστοτε ενέργειας των φωτονίων που απορροφούνται.
- Εξαιτίας της χαμηλής πυκνότητας των αερίων, κάποιες από τις ακτίνες X ίσως διαπεράσουν τον θάλαμο χωρίς να ανιχνευτούν.
- Αυτός ο τύπος ανιχνευτή υστερεί στην απόδοση, το κόστος του όμως είναι αρκετά χαμηλό.

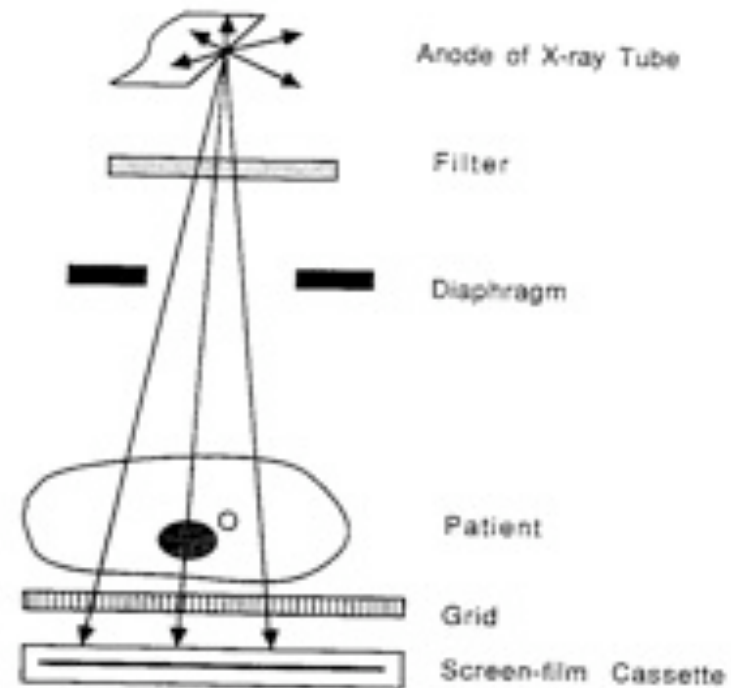


Συμβατική ακτινογραφία

- Αν και υπάρχουν τώρα νεώτερα και ισχυρότερα διαγνωστικά εργαλεία, η ακτινογραφία Χ παραμένει η πιο χρησιμοποιούμενη κλινική διαδικασία σήμερα.
- Οι λόγοι είναι ότι:
 1. οι ακτινολόγοι είναι εξοικειωμένοι με τη διαδικασία
 2. η διαδικασία είναι πλήρως αυτοματοποιημένη έτσι ώστε να απαιτείται λίγη εκπαίδευση για να λειτουργήσουν τη μηχανή
 3. η απόδοσή της είναι ανώτερη από άλλα όργανα σε κάποιες περιπτώσεις και η ανάλυση εικόνας είναι καλή.

Συμβατικό σύστημα ακτινογραφίας (1)

- Οι ακτίνες που παράγονται από τη γεννήτρια φιλτράρονται για να αφαιρεθεί η ανεπιθύμητη ενέργεια και περιορίζονται σε μια ορισμένη διατομή αρκετή για να φωτίσει το όργανο που μας ενδιαφέρει (π.χ., πνεύμονας, χέρι, κ.λπ.), με σκοπό την ελαχιστοποίηση της έκθεσης του ασθενούς.
- Ακριβώς πίσω από τον ασθενή τοποθετείται το πλέγμα για την αφαίρεση της σκεδαζόμενης ακτινοβολίας και τον συνδυασμό οθόνης- film για την καταγραφή της εικόνας, η οποία είναι ένας χαρτης της εκπεμπόμενης έντασης ακτίνων Χ.



Συμβατικό σύστημα ακτινογραφίας (2)

- Δεδομένου ότι η εξασθένηση των ακτίνων X σε έναν ιστό είναι ανάλογη προς την πυκνότητα ηλεκτρονίων ή την πυκνότητα μάζας του ιστού, η ένταση ακτίνων X που έχει διαπεράσει μια περιοχή χαμηλότερης πυκνότητας (για παράδειγμα, αντικείμενο Ο στο Σχήμα 25) θα είναι μεγαλύτερη από αυτή που έχει διαπεράσει μια περιοχή υψηλότερης πυκνότητας.
- Κατά συνέπεια, η επιφάνεια στην ταινία πίσω από την περιοχή χαμηλής πυκνότητας είναι σκοτεινότερη από την επιφάνεια πίσω από την περιοχή της υψηλότερης πυκνότητας.
- Με άλλα λόγια, το γκριζο επίπεδο της εικόνας είναι αντιστρόφως ανάλογο προς τη μείωση του ιστού στην πορεία των ακτίνων.

