



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

Βιοϊατρική Τεχνολογία
9^ο Εξάμηνο
Μάθημα 5^ο

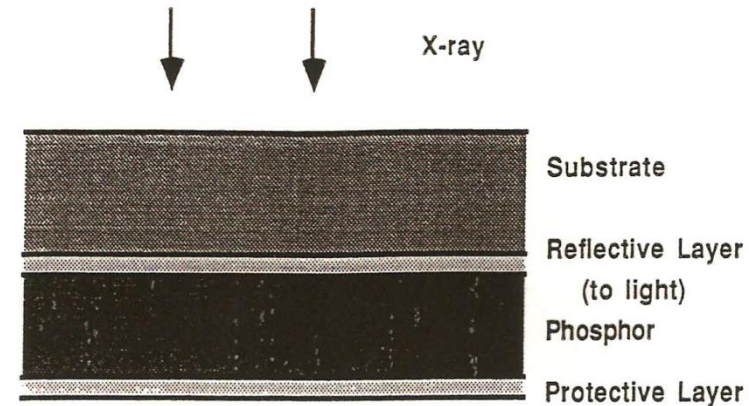
Διδάσκων: Καθηγητής Αλέξανδρος Ρήγας
Συνεπικουρία: Σπύρογλου Ιωάννης

Ενισχυτικές Οθόνες

- Η πληροφορία που μεταφέρεται από τις ακτίνες – X δεν είναι αντιληπτή απ' ευθείας από το ανθρώπινο μάτι. Για αυτό το λόγο μετατρέπουμε τις απεικονίσεις σε ορατή πληροφορία.
- Αυτό γίνεται είτε με τη χρήση φωτογραφικής ταινίας είτε με τη μετατροπή των φωτονίων ακτίνων – X σε ορατά φωτόνια (φωτόνια με μήκη κύματος από 380 – 780 nm).
- Επειδή η ευαισθησία της ταινίας στις ακτίνες – X είναι χαμηλή, κάνουμε χρήση ενισχυτικών οθονών που μετατρέπουν τις ακτίνες αυτές σε ορατό φως, στο οποίο η ταινία είναι περισσότερο ευαίσθητη.
- Έτσι έχουμε καλύτερη απεικόνιση και σημαντική μείωση της ποσότητας ακτινοβολίας που δέχεται ο ασθενής, αφού ελαττώνεται ο χρόνος εκθέσεως σ' αυτήν.
- Η ενισχυτική οθόνη είναι μία μορφή φθορίζουσας οθόνης

Ενισχυτικές Οθόνες

- Η ενισχυτική οθόνη είναι ένα στρώμα από υλικό φθορισμού πάχους 0.05 – 0.3 mm, το οποίο εκπέμπει ορατά φωτόνια όταν διεγείρεται από ακτίνες – X.
- Αποτελείται και από άλλα συστατικά όπως φαίνεται στο διπλανό σχήμα.
- Το υπόστρωμα έχει πάχος μερικών δεκάτων του mm και είναι σχετικά διαπερατό από τις ακτίνες – X, ενώ 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 – X είναι υψηλής ενέργειας, ενώ τα ορατά φωτόνια χαμηλής, ένα μικρός αριθμός φωτονίων μπορεί να παράγει μεγάλη ποσότητα ορατού φωτός



ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ ΤΗΣ ΟΘΟΝΗΣ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ

Ενισχυτικές Οθόνες

- Υπάρχουν δύο είδη φωσφοριστών και επομένως δύο είδη ενισχυτικής οθόνης:
 - Οι οθόνες ασβεστούχου βολφραμικού οξέος ($CaWO_4$)
 - Οι οθόνες σπάνιων γαιών (με ενώσεις όπως $La_2O_2S:Tb$, $Gd_2O_2S:Tb$, $Y_2O_2S:Tb$), όπου το στοιχείο Τέρβιο (Tb) χρησιμοποιείται ως καταλύτης.

Ενισχυτικές Οθόνες

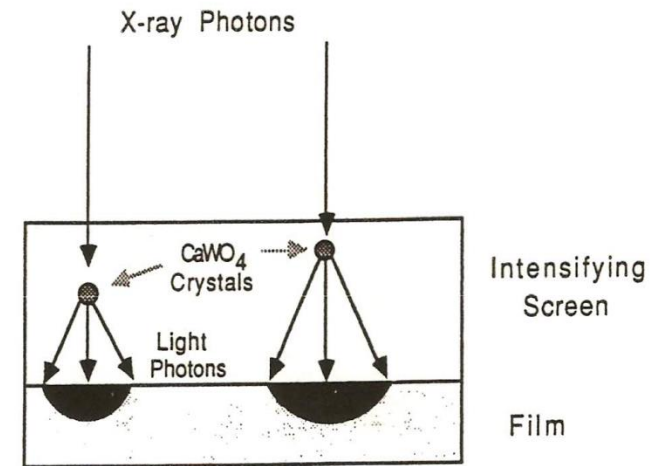
- **Οθόνες $CaWO_4$** : Εκπέμπουν μπλέ φως συνεχούς φάσματος με μέγιστο μήκος κύματος 430nm. Ο όρος «μπλε οθόνη» αναφέρεται στην ίδια την οθόνη, αλλά και στην ευαίσθητη στο μπλε φως ταινία που χρησιμοποιείται μαζί με την οθόνη $CaWO_4$.
- **Οθόνες σπάνιων γαιών**: Εκπέμπουν φως σε στενές γραμμές με μεγάλες κορυφές στην πράσινη περιοχή του ορατού φωτός και μικρότερες στην μπλε και την κίτρινη. Ο όρος «πράσινη οθόνη» αναφέρεται στο γεγονός ότι η ταινία που χρησιμοποιείται με αυτές τις οθόνες πρέπει να είναι ευαίσθητη στο πράσινο φως ώστε να μην χάνεται χρήσιμη μεταδιδόμενη ακτινοβολία.

Ενισχυτικές Οθόνες

- Οι οθόνες σπάνιων γαιών έχουν εκτοπίσει τις οθόνες ($CaWO_4$) για δύο κυρίως λόγους:
 - Ο πρώτος είναι ότι έχουν υψηλότερη απόδοση στη μετατροπή των ακτίνων – X σε ορατό φως (12-20% έναντι 5% των $CaWO_4$).
 - Ο δεύτερος λόγος είναι η διαφορά ενέργειας της στοιβάδας K. Τα φωτόνια των ακτίνων – X που έχουν μεγαλύτερη ενέργεια από την ενέργεια της στοιβάδας K, απορροφώνται από τα άτομα του φωσφοριστή. Το λανθάνιο (La) και το γαδολίνιο (Gd) έχουν ενέργεια στοιβάδας K 38.9 και 50.2 keV αντίστοιχα. Το βολφράμιο έχει 69.5 keV. Τα περισσότερα φάσματα ακτίνων – X στην ακτινογραφία έχουν μία μέση ενέργεια 40-50 keV. Επομένως οι οθόνες σπάνιων γαιών είναι πιο αποδοτικές στην απορρόφηση αυτών των ενεργειών σε σχέση με τις οθόνες $CaWO_4$.

Ενισχυτικές Οθόνες

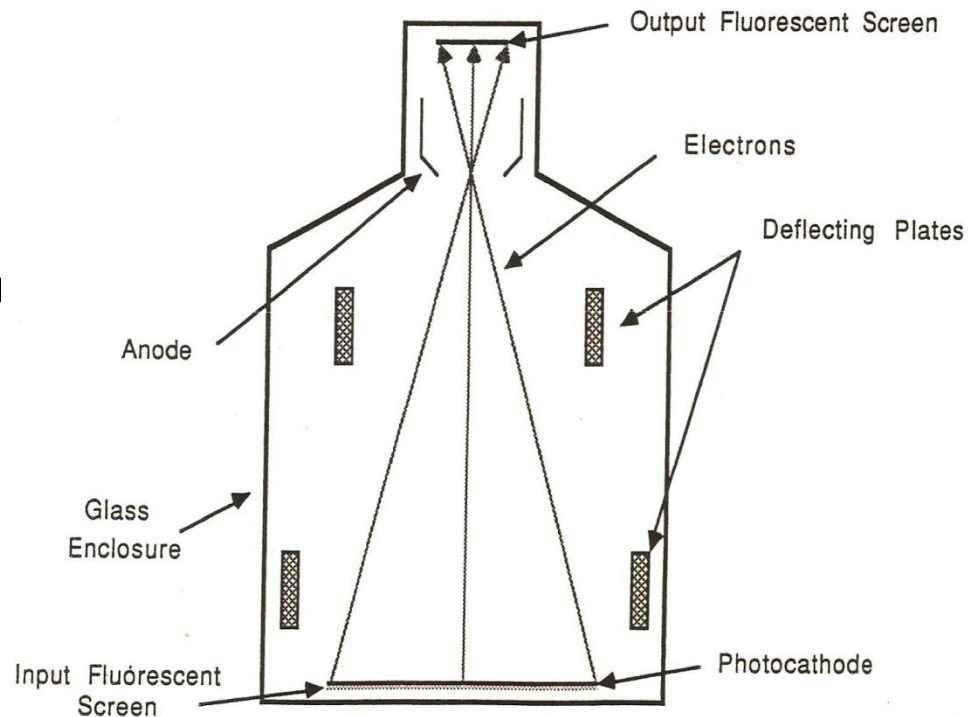
- Η ταχύτητα μιας ενισχυτικής οθόνης καθορίζεται κυρίως:
 - από το πάχος της,
 - την ικανότητα των ορατών φωτονίων να εξέρχονται από την οθόνη,
 - την απόδοση στην απορρόφηση της ακτινοβολίας X και στη μετατροπή της σε φως.
- Όσο πιο παχύ το υλικό του φθορισμού τόσο μεγαλύτερη είναι η ταχύτητα. Αυτό συμβαίνει επειδή ένα ταχύτερο στρώμα απορροφά περισσότερα φωτόνια ακτινοβολίας X και συνεπώς εκπέμπει περισσότερα ορατά φωτόνια.
- Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η φωτογραφική ταινία να μαυρίσει σε μικρότερο χρόνο.
- Παρόλα αυτά, η αύξηση του πάχους οδηγεί επίσης στην υποβάθμιση της ποιότητας της εικόνας, λόγω σκέδασης και διάχυσης των ορατών φωτονίων.
- Η επίδραση του πάχους στην ανάλυση φαίνεται στο διπλανό σχήμα.



Αύξηση στο πάχος της οθόνης

Ενισχυτές Εικόνας

- Η απεικόνιση που παράγεται από την ενισχυτική οθόνη είναι πολύ ασθενής και μπορεί να παρατηρηθεί μόνο σε ένα σκοτεινό δωμάτιο.
- Για την ενίσχυση της απεικόνισης κάνουμε χρήση του ενισχυτή εικόνας. Ένας τυπικός καθοδικός σωλήνας ενισχυτή εικόνας περιγράφεται στο σχήμα.
- Είναι ένας σωλήνας κενού με τα ακόλουθα συστατικά:
 - Φθορίζουσα οθόνη εισόδου και φωτοκάθοδο
 - Πλάκες εστίασης
 - Άνοδο
 - Φθορίζουσα οθόνη εξόδου



Φυσική κατασκευή ενός ενισχυτή εικόνας

Ενισχυτές Εικόνας

- Τα φωτόνια ακτίνων – Χ που έχουν διαπεράσει το σώμα του ασθενούς απορροφώνται από τη φθορίζουσα οθόνη διαμέτρου 15 έως 35cm, η οποία σχεδόν ταυτόχρονα εκπέμπει ορατά φωτόνια.
- Τα φωτόνια αυτά προσπίπτουν στη γειωμένη φωτοκάθοδο αναγκάζοντας την να εκπέμπει ηλεκτρόνια.
- Η φωτοκάθοδος συνήθως αποτελείται από μέταλλο φωτοεκπομπής όπως ενώσεις αντιμονίου και κεσίου ($SbCs_3$). Η απόδοση της φωτοκαθόδου (ο αριθμός των ηλεκτρονίων που παράγονται από ένα φωτόνιο) κυμαίνεται από 10-20%.
- Αυτό σημαίνει ότι μετά την απορρόφηση ενός φωτονίου 60keV, εκπέμπονται περίπου 400 ηλεκτρόνια από τη φωτοκάθοδο. Στη συνέχεια η ακτίνα των ηλεκτρονίων θα εστιαστεί και θα επιταχυνθεί από τις πλάκες εστίασης και την άνοδο.
- Η άνοδος έχει θετικό δυναμικό περίπου 25kV. Όταν τα υψηλής ενέργειας ηλεκτρόνια προσπέσουν στη φθορίζουσα οθόνη εξόδου διαμέτρου 1,5-2,5 cm, τότε αυτή θα παράγει μια εικόνα πολύ πιο φωτεινή από αυτήν ενός τυπικού φθοροσκοπίου.
- Αυτό συμβαίνει για 2 λόγους:
 - Πρώτον διότι τα ηλεκτρόνια κερδίζουν ενέργεια κατά την επιτάχυνση τους στην άνοδο
 - Δεύτερον διότι η οθόνη εξόδου είναι πολύ μικρότερη από την οθόνη εισόδου.

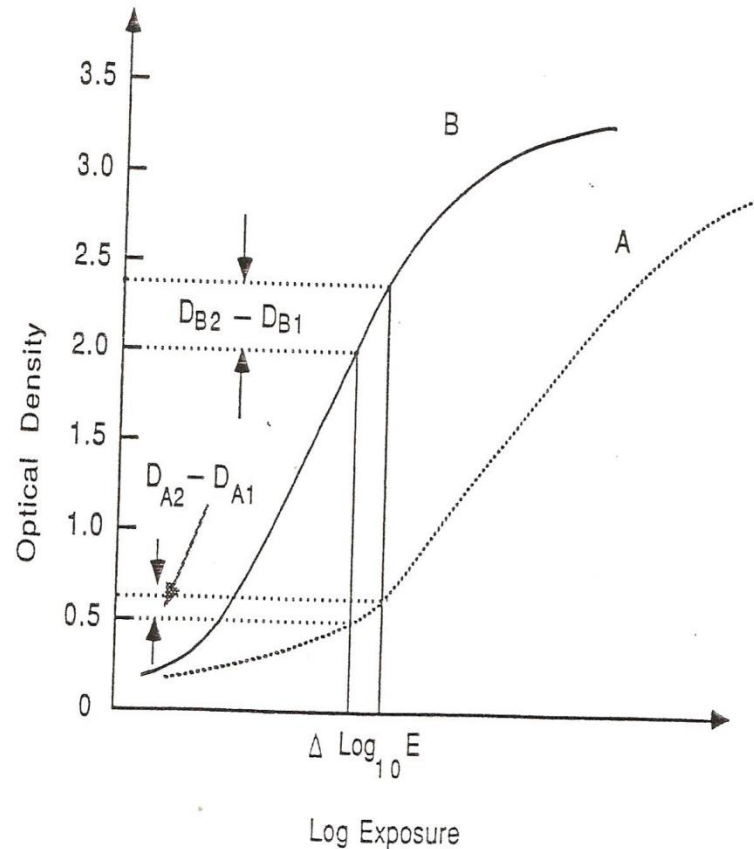
Ταινία ακτίνων – Χ

- Είναι μία φωτογραφική ταινία αποτελούμενη από διαπερατό πλαστικό υπόστρωμα φτιαγμένο από οξικό αστέρα ή πολυεστέρα.
- Συνήθως το υπόστρωμα είναι επικαλυμμένο και στις δύο πλευρές του με φωτοευαίσθητο γαλάκτωμα. Οι λόγοι είναι δύο:
 - Αποτρέπεται η κάμψη της ταινίας
 - Η ταινία θα λυγίσει αν είναι επικαλυμμένη μόνο από τη μία μεριά όταν το γαλάκτωμα στεγνώσει και συρρικνωθεί.
- Τα σημαντικότερα συστατικά του γαλακτώματος είναι κρύσταλλοι αλογονούχου αργύρου (Βρωμιούχος άργυρος κυρίως και λιγότερο Ιωδιούχος) και ζελατίνη.
- Όταν στην επιφάνεια του γαλακτώματος προσπίπτει ένα φωτόνιο (από ακτίνες – Χ ή φως), τότε το ιόν βρωμίου (Br^-) το απορροφά και απελευθερώνει ένα ηλεκτρόνιο. Αυτό στη συνέχεια μπορεί να ενωθεί με κάποιο ιόν αργύρου και να σχηματίσει ένα άτομο αργύρου.
- Ο ιωδιούχος άργυρος περιέχεται σε ποσοστό 1-10% και χρησιμοποιείται ως ευαισθητοποιητής.
- Το άτομο αργύρου είναι χρώματος μαύρου. Επομένως η έκθεση της ταινίας στο φως έχει ως αποτέλεσμα το μαύρισμα της καθώς δημιουργούνται ολοένα και περισσότερα άτομα αργύρου.
- Η διεργασία του μαυρίσματος επηρεάζεται από την ένταση του προσπίπτοντος φωτός και από το χρόνο έκθεσης της ταινίας.

Ταινία ακτίνων – Χ

- Πλάτος ταινίας: Ορίζεται ως το εύρος της λογαριθμικής έκθεσης που παράγει οπτική πυκνότητα κατάλληλη για διαγνωστικούς σκοπούς. Κυμαίνεται συνήθως 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. Αυτό φαίνεται στο διπλανό σχήμα, όπου η ταινία A έχει μεγαλύτερο πλάτος απ' την B, αλλά η αντίθεση της A ($D_{A2} - D_{A1}$) είναι μικρότερη από αυτήν της B ($D_{B2} - D_{B1}$), για το ίδιο $\Delta \log E$.



(b) Ταινία με μεγαλύτερο πάχος έχει χαμηλότερη αντίθεση

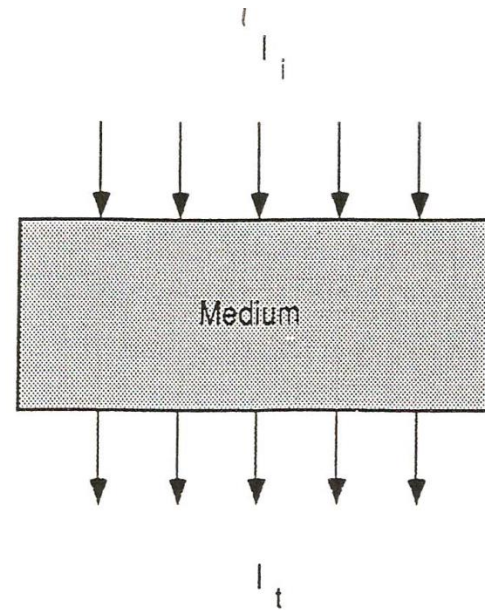
Οπτική πυκνότητα

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

$$D = \log_{10} \left(\frac{I_i}{I_t} \right),$$

όπου το D δηλώνει την οπτική πυκνότητα και τα I_i, I_t είναι οι εντάσεις του προσπίπτοντος και το εξερχόμενου φωτός αντίστοιχα, όπως φαίνεται στο διπλανό σχήμα.

- Αυτό το μέτρο στην πραγματικότητα αντικατοπτρίζει την αδιαπερατότητα του μέσου ή το μαύρισμα της ταινίας.
- Υψηλότερη πυκνότητα σημαίνει μία πιο μαυρισμένη ταινία ή λιγότερο εξερχόμενο φως.



Η παρουσία του μέσου προκαλεί εξασθένιση της έντασης I_i του προσπίπτοντος φωτός

Οπτική πυκνότητα

- Στις ακτίνες – Χ, μία ταινία με πυκνότητα 2 εμφανίζεται μαύρη υπό κανονικό φωτισμό, ενώ μία πυκνότητα μεταξύ 0.25 και 0.3 εμφανίζεται άσπρη ή διάφανη. Στον πίνακα δείχνεται η σχέση μεταξύ της αδιαπερατότητας, της πυκνότητας και της εκπομπής φωτός σε μία ταινία ακτίνων – Χ.

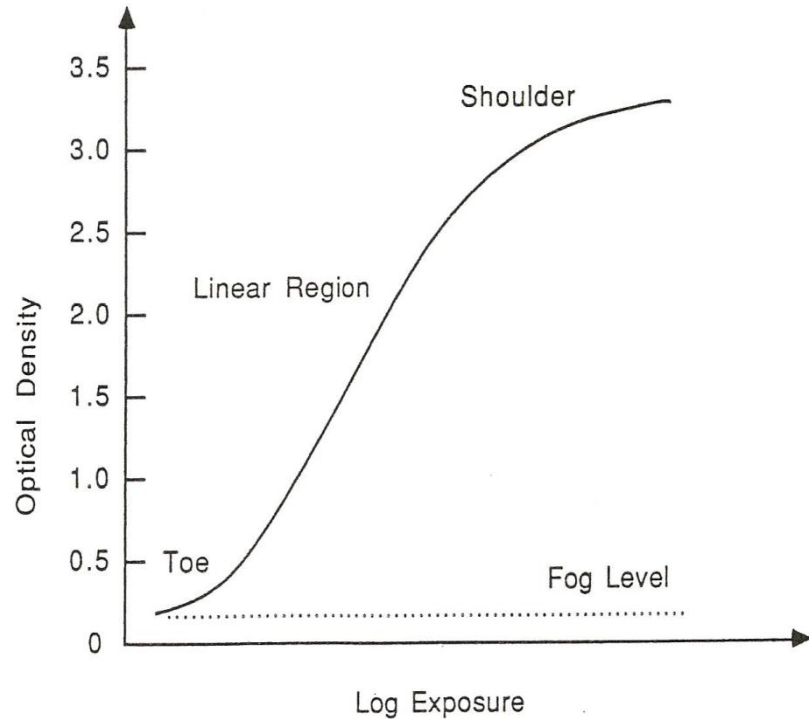
Αδιαφάνεια I_0/I_1	Πυκνότητα $\log I_0/I_1$	Εκπομπή φωτός (%)
1	0	100
2	0.3	50
4	0.6	25
8	0.9	12.5
10	1	10
30	1.5	3.2
100	2	1
300	2.5	0.3
1000	3	0.1

Οπτική πυκνότητα

- Μία μη εκτεθιμένη ταινία παρουσιάζει συνήθως πυκνότητα μικρότερη από 0.22. Αυτή ονομάζεται πυκνότητα βάσης και ομίχλης και οφείλεται:
 - Στο υλικό της βάσης όπου επικάθεται το γαλάκτωμα και
 - Στα αλογονίδια του αργύρου, τα οποία εμφανίζονται στην ταινία χωρίς την έκθεση της και ονομάζεται ομίχλη ταινίας.
- Η ομίχλη εμφανίζεται σε όλες τις απεικονίσεις με ακτίνες – Χ 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.
- Μία τέτοια καμπύλη ταινίας ακτίνων – Χ με ενισχυτική οθόνη περιγράφεται στο διπλανό σχήμα.
- Όπως φαίνεται 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 γραμμικά ανάλογη της λογαριθμικής έκθεσης.



Χαρακτηριστική καμπύλη ενός φωτογραφικού φιλμ

Ταινία Γάμμα

- Ταινία γάμμα ονομάζεται η μέγιστη κλίση στην χαρακτηριστική καμπύλη 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 (0.5-2.5) είναι η πιο χρήσιμη.
- Αξιοσημείωτο είναι ότι αν η κλίση είναι μεγαλύτερη από τη μονάδα τότε η ταινία ενισχύει την πληροφορία που μεταφέρεται από τα προσπίπτοντα φωτόνια.

Ταχύτητα

- Η ευαισθησία (ή ταχύτητα) μιας ταινίας ακτίνων – X 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. Δηλ.

$$S = 1/E,$$

όπου S η ευαισθησία και E η έκθεση (μετριέται σε roentgens).

- Αν θεωρήσουμε την ένταση της έκθεσης, τότε όσο μικρότερος είναι ο χρόνος έκθεσης, τόσο πιο ευαίσθητη είναι η ταινία.
- Η ευαισθησία της ταινίας εξαρτάται επίσης από το χρόνο εμφάνισης της ταινίας, τη θερμοκρασία κατά την εμφάνιση, καθώς και το μέσο μέγεθος κόκκου του αργύρου.
- Η αύξηση της θερμοκρασίας εμφάνισης αυξάνει, εκτός από την ευαισθησία και την πυκνότητα ομίχλης.