

ΤΕΙ ΣΕΡΡΩΝ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΑΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΘΕΜΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ:

ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΡΑΔΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΜΑΡΚΟΥ ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ

ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ

ΤΖΗΜΗΤΡΑΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

## **ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΡΑΔΙΟΓΡΑΦΙΑ**

<b>1. ΡΑΔΙΟΓΡΑΦΙΑ ΑΚΤΙΝΩΝ Χ ΚΑΙ ΓΑΜΜΑ (γ).</b>	
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	σελ.3
ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΑΚΤΙΝΩΝ Χ ΚΑΙ γ	σελ.7
ΗΛΕΚΤΡΟ- ΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ	σελ.9
ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ ΚΑΙ ΣΚΕΔΑΣΗ (Scatter)	σελ.11
<b>2. ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΑΚΤΙΝΩΝ Χ ΚΑΙ ΓΑΜΜΑ (γ)</b>	
ΤΟ ΑΤΟΜΟ	σελ.15
ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΑΚΤΙΝΩΝ Χ	σελ.15
ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ ΓΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΑΚΤΙΝΩΝ Χ	σελ.18
ΑΚΤΙΝΕΣ Χ ΥΨΗΛΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	σελ.20
ΑΚΤΙΝΕΣ γ	σελ.22
ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΑΚΤΙΝΩΝ	σελ.24
ΠΗΓΕΣ ΑΚΤΙΝΩΝ	σελ.25
<b>3. ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ</b>	
ΤΟ ΦΙΛΜ ΑΚΤΙΝΩΝ Χ ΚΑΙ γ	σελ.29
ΕΠΙΛΟΓΗ ΦΙΛΜ	σελ.30
ΧΕΙΡΙΣΜΟΣ ΤΑΙΝΙΑΣ	σελ.31
<b>4. ΕΠΞΕΡΓΑΣΙΑ (ΦΙΛΜ)</b>	
ΕΜΦΑΝΙΣΗ – ΣΤΕΡΕΩΣΗ	σελ.32
ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΕΠΞΕΡΓΑΣΕΙΑ ΤΑΙΝΙΩΝ	σελ.32
ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ	σελ.34
<b>5. ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑ – ΑΝΤΙΘΕΣΗ – ΕΥΚΡΙΝΕΙΑ</b>	
ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ	σελ.49
ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗΣ ΑΜΒΛΥΣΗ (Ug)	σελ.54
ΠΑΡΑΓΩΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΙΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΕΚΘΕΣΗ	σελ.58
Ο ΝΟΜΟΣ ΤΩΝ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΩΝ ΤΕΤΡΑΓΩΝΩΝ	σελ.60
ΔΙΑΣΠΑΡΜΕΝΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ	σελ.65
ΑΚΤΙΝΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΟΘΟΝΕΣ	σελ.78
ΑΝΤΙΘΕΣΗ	σελ.79
<b>6. ΜΕΤΡΗΣΗ ΕΚΘΕΣΗ ΚΑΙ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑ</b>	
ΒΑΘΜΙΔΩΤΟΙ ΙQI	σελ.84
ΣΥΡΜΑΤΙΝΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΕΙΚΟΝΑΣ (IQI)	σελ.86
ΜΕΓΕΘΗ ΣΥΡΜΑΤΩΝ ΚΑΤΑ BS ΚΑΙ DIN	σελ.87
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΕΚΘΕΣΗΣ ΓΙΑ ΧΑΛΥΒΑ	σελ.89
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΕΚΘΕΣΗΣ ΓΙΑ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ	σελ.90
<b>7. ΕΠΙΛΟΓΟΣ</b>	σελ.93

# 1. ΡΑΔΙΟΓΡΑΦΙΑ ΑΚΤΙΝΩΝ X ΚΑΙ ΓΑΜΜΑ(γ)

## Εισαγωγή

Οι ακτίνες X ανακαλύφθηκαν το 1895 από το Wilhelm Conrad Roentgen (1845-1923) οποίος ήταν καθηγητής στο πανεπιστήμιο Wuerzburg στη Γερμανία. Λειτουργώντας με



έναν σωλήνα καθοδικών ακτίνων στο εργαστήριό του, ο Roentgen παρατήρησε μια φθορισμού πυράκτωση των κρυστάλλων σε έναν πίνακα κοντά στο σωλήνα του. Ο αέρας στο σωλήνα εκκενώθηκε, και όταν εφαρμόστηκε μια υψηλή τάση, ο σωλήνας παρήγαγε μια φθορισμού πυράκτωση. Ο Roentgen προστάτευσε το σωλήνα με το βαρύ μαύρο χαρτί, και ανακάλυψε ένα πράσινο χρωματισμένο φθορισμού φως που παρήχθη από ένα υλικό που βρέθηκε μερικά πόδια μακριά από το σωλήνα.

Κατέληξε στο συμπέρασμα ότι ένας νέος τύπος ακτίνας εκπεμπόταν από το σωλήνα. Αυτή η ακτίνα ήταν σε θέση μέσω του βαριού χαρτιού που καλύπτει και που διεγείρει τα φωσφορίζοντα υλικά στο δωμάτιο. Βρήκε ότι η νέα ακτίνα θα μπορούσε να περάσει μέσω των περισσότερων ουσιών που πετούν τις σκιές των στερεών αντικειμένων. Ο Roentgen επίσης ανακάλυψε ότι η ακτίνα θα μπορούσε να περάσει μέσω του ιστού των ανθρώπων, αλλά όχι από τα κόκκαλα και το μέταλλο. Ένα από τα πρώτα πειράματα στα τέλη του 1895 ήταν μια ταινία του χεριού της συζύγου του, Bertha. Είναι ενδιαφέρον ότι η πρώτη χρήση των ακτίνων X ήταν για μια βιομηχανική (μη ιατρική) εφαρμογή που ο Roentgen παραχθέν μια ακτινογραφία ενός συνόλου από βάρη που ήταν σε ένα κιβώτιο για να το δείξει σε συναδέλφους του.

Η ανακάλυψη του Roentgen ήταν μια επιστημονική βόμβα, και παραλήφθηκε με το εξαιρετικό ενδιαφέρον και από τον επιστημονικό χώρο και από τον απλό λαό. Οι επιστήμονες θα μπορούσαν παντού να αναπαραγάγουν το πείραμά του επειδή ο σωλήνας καθόδων κάλλιστα ήταν γνωστός κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου. Πολλοί επιστήμονες ακολούθησαν άλλες πορείες έρευνας για να παρακολουθήσουν τις 'μυστήριες ακτίνες'. Οι εφημερίδες και τα περιοδικά της ημέρας παρείχαν στο κοινό τις πολυάριθμες ιστορίες, κάποιες αληθινές, άλλες φαντασιόπληκτες, για τις ιδιότητες των πρόσφατα ανακαλυμμένων ακτίνων.

Το ενδιαφέρον του κοινού 'πιάστηκε' από αυτήν την άορατη ακτίνα με τη δυνατότητα να περάσει μέσω του στερεού θέματος, και με την βοήθεια μιας φωτογραφικής λαμαρίνας, να παρασχεθεί μια εικόνα των κοκάλων και των εσωτερικών μερών σωμάτων. Αυτό παρήγαγε τις νέες δυνατότητες της φυσικής, και για την έρευνα της δομής του θέματος. Πολύς ενθουσιασμός παρήχθη για τις πιθανές εφαρμογές των ακτίνων ως ενίσχυση στην ιατρική και τη χειρουργική επέμβαση. Μέσα σε έναν μήνα μετά από την ανακοίνωση της ανακάλυψης, διάφορες ιατρικές ακτινογραφίες είχαν γίνει στην Ευρώπη και τις Ηνωμένες Πολιτείες που χρησιμοποιήθηκαν από τους χειρουργούς που τους καθοδήγησαν στην εργασία τους. Τον Ιούνιο του 1896, μόνο 6 μήνες αφότου ανήγγειλε Roentgen την ανακάλυψή του, οι ακτίνες X χρησιμοποιούνταν από τους παθολόγους πεδίων μαχών για να εντοπίσουν τις σφαίρες στους πληγωμένους στρατιώτες.

Πριν από το 1912, οι ακτίνες X χρησιμοποιήθηκαν ελάχιστα έξω από τον χώρο της ιατρικής, και της οδοντιατρικής, αν και μερικές εικόνες των ακτίνων X των μετάλλων παρήχθησαν. Ο λόγος ότι οι ακτίνες X δεν χρησιμοποιήθηκαν στη βιομηχανική εφαρμογή ήταν πριν από αυτή την ημερομηνία επειδή οι σωλήνες των ακτίνων X (η πηγή των ακτίνων X) έπαθαν βλάβη κάτω από τις τάσεις που απαιτήθηκαν για να παραγάγουν τις ακτίνες της ικανοποιητικής ισχύος διείδυσης για το βιομηχανικό σκοπό. Εντούτοις, αυτός άλλαξε το 1913 όταν οι υψηλοί κενοί σωλήνες των ακτίνων X

που σχεδιάστηκαν από Coolidge διατέθηκαν. Οι υψηλοί κενοί σωλήνες ήταν έντονες και αξιόπιστες των ακτίνων X πηγές, που λειτουργούν στις ενέργειες μέχρι 100.000 βολτ.

Το 1922, η βιομηχανική ακτινογραφία πήρε ένα άλλο βήμα προς τα εμπρός με την εμφάνιση του σωλήνα των ακτίνων X 200.000-βολτ που επέτρεψε στις ακτινογραφίες των παχιών μερών χάλυβα για να παραχθεί σε ένα λογικό χρονικό διάστημα. Το 1931, η γενική ηλεκτρική επιχείρηση ανέπτυξε τις γεννήτριες των ακτίνων X 1.000.000 βολτ, που παρέχουν ένα αποτελεσματικό εργαλείο για τη βιομηχανική ακτινογραφία. Ότι το ίδιο έτος, η αμερικανική κοινωνία των μηχανικών (ASME) επέτρεψε την χρήση των ακτίνων X στα σημεία τήξης(συγκόλλησης) που ένωσε τα εξαρτήματα ενός δοχείο πίεσης ανοίγοντας περαιτέρω την πόρτα στις ακτίνες στη βιομηχανική αποδοχή και τη χρήση.



### **Μια δεύτερη πηγή ακτινοβολίας**

Αμέσως μετά από την ανακάλυψη των ακτίνων X, μια άλλη μορφή της διείδυσης των ακτίνων ανακαλύφθηκε. Το 1896, ο γαλλικός επιστήμονας Henri Becquerel ανακάλυψε τη φυσική ραδιενέργεια. Πολλοί επιστήμονες της περιόδου εργάζονταν με τις ακτίνες καθόδων, και άλλοι επιστήμονες συγκέντρωναν τα στοιχεία στη θεωρία ότι το άτομο θα μπορούσε να υποδιαιρεθεί. Μερικές από τις νέες έρευνες έδειξαν ότι ορισμένοι τύποι ατόμων αποσυνθέτουν μόνοι τους. Ήταν ο Henri Becquerel που ανακάλυψε αυτό το φαινόμενο ερευνώντας τις ιδιότητες των φθορισμού μεταλλευμάτων. Ο Becquerel ερευνούσε τις αρχές του φθορισμού, που δημιουργεί ορισμένη πυράκτωση μεταλλευμάτων όταν εκτίθεται στο φως του ήλιου. Χρησιμοποίησε τις φωτογραφικές πλάκες για να καταγράψει αυτόν τον φθορισμό.

Ένα από τα μεταλλεύματα που ο Becquerel εργάστηκε ήταν μια ένωση ουράνιου. μια ημέρα όταν ήταν πάρα πολύ νεφελώδης για να εκθέσει τα δείγματά του στο άμεσο φως του ήλιου, ο Becquerel καταχώρησε μερικές από την ένωση σε ένα συρτάρι με τις φωτογραφικές πλάκες του. Αργότερα όταν άνοιξε αυτές τις πλάκες, ανακάλυψε ότι θολώθηκαν (εκτεθειμένη έκθεση στο φως.) Ο Becquerel δεν γνώριζε τι είχε προκαλέσει την θόλωση αυτή. Ήξερε ότι είχε τυλίξει τις πλάκες στενά πριν τις χρησιμοποιεί, έτσι η θόλωση δεν οφειλόταν στο περιπλανώμενο φως. Επιπλέον, παρατήρησε ότι μόνο οι πλάκες που ήταν στο συρτάρι με την ένωση ουράνιου θολώθηκαν. Ο Becquerel κατέληξε στο συμπέρασμα ότι η ένωση ουράνιου εξέπεμπε έναν τύπο ακτινοβολίας που θα μπορούσε να διαπεράσει το βαρύ χαρτί και να εκθέσει τη φωτογραφική ταινία. Ο Becquerel συνέχισε να εξετάζει τα δείγματα των ενώσεων ουράνιου και καθόρισε ότι η πηγή ακτινοβολίας ήταν το ουράνιο στοιχείο. Η ανακάλυψη του Becquerel πέρασε, αντίθετα από αυτήν των ακτίνων X, ουσιαστικά απαρατήρητη από τον λαό και τους συναδέλφους επιστήμονες. Μόνο σχετικά λίγοι επιστήμονες ενδιαφέρθηκαν για τα συμπεράσματα του Becquerel. Το ενδιαφέρον για τη ραδιενέργεια έγινε ευρέως γνωστό ύστερα από την ανακάλυψη του ραδίου από τους Curies δύο έτη αργότερα.

Λειτουργώντας στη Γαλλία κατά την διάρκεια της ανακάλυψης Becquerel, η Πολωνή επιστήμονας Marie Curie έγινε γνωστή από την εργασία της. Υποψιάστηκε ότι ένα μέταλλευμα ουράνιου γνωστό ως pitchblende περιέχει άλλα ραδιενεργά στοιχεία. Η Marie και ο σύζυγός της, ένας γαλλικός επιστήμονας, Pierre Curie άρχισαν να

αναζητούν αυτά τα άλλα στοιχεία. Το 1898, οι Curies ανακάλυψαν ένα άλλο ραδιενεργό στοιχείο στο pitchblende, το ονόμασαν "polonium" στην τιμή της πατρίδας της Marie Curie. Αργότερα εκείνο το έτος, οι Curies ανακαλύπτουν ένα άλλο ραδιενεργό στοιχείο που ονόμασαν "το ράδιο", ή το λάμποντας στοιχείο. Και το polonium και το ράδιο ήταν πιο ραδιενεργά από το ουράνιο. Από αυτές τις ανακαλύψεις, πολλά άλλα ραδιενεργά στοιχεία έχουν ανακαλυφθεί ή έχουν παραχθεί.

Το ράδιο έγινε η αρχική βιομηχανική πηγή ακτίνων γάμμα. Το υλικό επέτρεψε τις ρίψεις μέχρι 10 έως 12 ίντσες παχύ. Κατά τη διάρκεια του δευτέρου παγκόσμιου πολέμου, η βιομηχανική ακτινογραφία αυξήθηκε παρά πολύ ως τμήμα του προγράμματος ναυπηγικής του ναυτικού. Το 1946, οι προκαλούμενες από τον άνθρωπο πηγές ακτίνων γάμμα όπως το κοβάλτιο και το ιρίδιο διατέθηκαν. Αυτές οι νέες πηγές ήταν πολύ ισχυρότερες από το ράδιο και ήταν πολύ λιγότερο δαπανηρές. Οι προκαλούμενες από τον άνθρωπο πηγές αντικατέστησαν γρήγορα το ράδιο, και η χρήση των ακτίνων γάμμα αυξήθηκε γρήγορα στη βιομηχανική ακτινογραφία.

### **Ανησυχίες υγείας**

Η επιστήμη της προστασίας από τη ραδιενέργεια, ή η "φυσική υγεία" καθώς καλείται πιο κατάλληλα, αυξήθηκε από τις παράλληλες ανακαλύψεις των ακτίνων X και της ραδιενέργειας στα τέλη του 19ου αιώνα. Οι πειραματιστές, οι παθολόγοι, ο λαός και οι φυσικοί ασχολιόντουσαν οι ίδιοι με την παράγωγη των ακτίνων X που παράγονταν από αυτοσχέδιες συσκευές και συνέχισαν να εργάζονται αγνοώντας τους σχετικούς κινδύνους. Μια τέτοια άγνοια είναι αρκετά κατανοητή, γιατί δεν υπήρξε τίποτα από προηγούμενη εμπειρία για ότι οι ακτίνες X θα ήταν από μια άποψη επικίνδυνες. Πράγματι, το αντίθετο συνέβη, για ποιους θα υποψιαζόταν ότι μια ακτίνα παρόμοια με το φως αλλά απαρατήρητη, ή ειδάλως μη ανιχνεύσιμη από τις αισθήσεις θα ήταν καταστρεπτική σε ένα πρόσωπο. Πιθανότερα, ή έτσι φάνηκε σε μερικούς, οι ακτίνες X θα μπορούσαν να είναι ευεργετικές για το σώμα.

Αναπόφευκτα, η διαδεδομένη και ασυγκράτητη χρήση των ακτίνων X προκάλεσε σοβαρές ζημιές. Συχνά οι τραυματισμοί δεν αποδόθηκαν στην των ακτίνων X έκθεση, εν μέρει λόγω της αργής αρχής των συμπτωμάτων, και επειδή δεν υπήρξε απλά κανένας λόγος να υποψιαστούν οι ακτίνες X ως αιτία. Μερικοί από τους πρώτους πειραματιστές σύνδεσαν τα εγκαύματα του δέρματος με την έκθεση στις ακτίνες X. Η πρώτη προειδοποίηση των πιθανών δυσμενών αποτελεσμάτων των ακτίνων X προήλθε από τον Thomas Edison, William J. Morton, και Nikola Tesla που κάθε μια εξέθεσε τις ενοχλήσεις ματιών από τον πειραματισμό με τις ακτίνες X και τις φθορισμού ουσίες.

Οι ακτίνες X και οι ακτίνες γάμμα είναι ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία ακριβώς της ίδιας φύσης με το φως, αλλά του πολύ πιο σύντομου μήκους κύματος. Το μήκος κύματος του ορατού φωτός είναι της κατάταξης 6000 angstroms ενώ το μήκος κύματος των ακτίνων X είναι στη σειρά ενός angstrom και αυτό των ακτίνων γάμμα είναι 0.0001 angstrom. Αυτό το πολύ σύντομο μήκος κύματος είναι τι δίνει στις ακτίνες X και στις ακτίνες γάμμα τη δύναμή τους να διαπεράσουν τα υλικά που το φως δεν μπορεί. Αυτά τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα είναι ενός υψηλού ενεργειακού επιπέδου και μπορούν να σπάσουν τους χημικούς δεσμούς στα υλικά που διαπερνούν. Εάν στο ακτινοβολημένο αντικείμενο είναι ζωντανός ιστός τότε στο ιστό αυτό θα δημιουργηθεί σπάσιμο του χημικού δεσμού που μπορεί να οδηγήσει στην αλλαγμένη δομή ή μια αλλαγή στη λειτουργία των κυττάρων. Οι ερευνητές ανδρών και γυναικών συνέλεξαν και τεκμηρίωσαν τις πληροφορίες για την αλληλεπίδραση της ακτινοβολίας και του ανθρώπινου σώματος. Αυτές οι πρόωρες πληροφορίες βοήθησαν την επιστήμη να καταλάβει πώς η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία αλληλεπιδρά με τον ιστό διαβίωσης. Δυστυχώς, ένα μεγάλο μέρος αυτών των πληροφοριών συλλέχθηκε με μεγάλα προσωπικά έξοδα.

## **Παρούσα κατάσταση της ακτινογραφίας**

Από πολλές απόψεις η ακτινογραφία έχει αλλάξει λίγο από τις αρχές των ημερών της χρήσης της. Συλλαμβάνουμε ακόμα μια εικόνα σκιών στην ταινία χρησιμοποιώντας τις παρόμοιες διαδικασίες και τεχνικές που χρησιμοποιούσαν προς το τέλος 1800's. Σήμερα, εντούτοις, είμαστε σε θέση να παραγάγουμε τις εικόνες με υψηλότερη ποιότητα και με τη μεγαλύτερη ευαισθησία μέσω της χρήσης των υψηλότερων ποιοτικών ταινιών με μια μεγαλύτερη ποικιλία των μεγεθών κόκκου ταινιών. Η επεξεργασία ταινιών έχει εξελιχθεί σε ένα αυτοματοποιημένο τρόπο παράγοντας τη συνεπέστερη ποιότητα ταινιών με την αφαίρεση των χειρωνακτικών μεταβλητών επεξεργασίας. Οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές επιτρέπουν στους τεχνικούς για να συλλάβουν τώρα εικόνες ψηφιακά. Η χρήση της "filmless radiography" παρέχει μέσα μια εικόνα, ενισχύοντας ψηφιακά, στέλνοντας την εικόνα οπουδήποτε στον κόσμο, και αρχειοθετώντας μια εικόνα που δεν θα λειωθεί με το χρόνο. Η τεχνολογική πρόοδος έχει παράσχει στη βιομηχανία το μικρότερο, ελαφρύτερο, και πολύ φορητό εξοπλισμό που παράγουν τις υψηλής ποιότητας ακτίνες X. Η χρήση της γραμμικής συντομογραφίας παρέχει μέσα το εξαιρετικά σύντομο μήκος κύματος, ακτινοβολία αυξημένης διείσδυσης, μια έννοια που ονειρεύεται μόνο μερικά έτη πριν. Ενώ η διαδικασία έχει αλλάξει λίγο, η τεχνολογία έχει εξελιχθεί επιτρέποντας στην ακτινογραφία να χρησιμοποιηθεί ευρέως στους πολυάριθμους τομείς της ανθρώπινης δραστηριότητας.



Η ακτινογραφία έχει δει την αποκτηθείσα χρήση στη βιομηχανία για να επιθεωρήσει όχι μόνο τις συγκολλήσεις και τις χυτεύσεις, αλλά για να επιθεωρήσει ραδιογραφικά τα αντικείμενα όπως οι αερόσακοι και τα τρόφιμα. Η ακτινογραφία έχει βρει τη χρήση στα μεταλλουργικά υλικά συστήματα προσδιορισμού και ασφάλειας στους αερολιμένες και άλλες εγκαταστάσεις.

Η επιθεώρηση ακτίνων γάμμα έχει αλλάξει επίσης αρκετά από την ανακάλυψη του ραδίου από τους Curies. Τα προκαλούμενα από τον άνθρωπο ισότοπα σήμερα είναι πολύ ισχυρότερα και προσφέρουν στον τεχνικό ένα ευρύ φάσμα των ενεργειακών επιπέδων και των ημι-ζωών. Ο τεχνικός μπορεί να επιλέξει Co- 60 που θα διαπεράσουν αποτελεσματικά τα πολύ παχιά υλικά, ή να επιλέξει ένα χαμηλότερο ενεργειακό ισότοπο, όπως Tm- 170, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να επιθεωρήσουν τα πλαστικά και πολύ λεπτά ή χαμηλής πυκνότητας υλικά. Σήμερα οι ακτίνες γάμμα (G-Ray) βρίσκουν ευρεία εφαρμογή στις βιομηχανίες όπως το πετροχημικό, η χύτευση, η συγκόλληση, και στη αεροδιαστημική.

## ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΑΚΤΙΝΩΝ X ΚΑΙ $\gamma$

1. Οι ακτίνες X είναι μια μορφή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας (EMR), όπως είναι το φως. Το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό γνώρισμά τους είναι το εξαιρετικά σύντομο μήκος κύματός τους -- μόνο περίπου  $1/10.000$  αυτό του φωτός, ή ακόμα και λιγότερο. Αυτό το χαρακτηριστικό είναι αρμόδιο για τη δυνατότητα των ακτίνων X να διαπεραστούν τα υλικά που απορροφούν ή απεικονίζουν το συνηθισμένο φως.

Οι ακτίνες X εκθέτουν όλες τις ιδιότητες του φωτός, αλλά σε έναν τέτοιο διαφορετικό βαθμό ώστε να τροποποιηθεί πολύ η πρακτική συμπεριφορά τους. Παραδείγματος χάριν, το φως διαθλείται από το γυαλί και, συνεπώς, είναι σε θέση της εστίασης από έναν φακό σε τέτοια όργανα όπως τις φωτογραφικές μηχανές, τα μικροσκόπια, τα τηλεσκόπια, κτλ. οι ακτίνες-X διαθλούνται επίσης, αλλά σε έναν τέτοιο πολύ μικρό βαθμό ότι τα καθαρισμένα πειράματα απαιτούνται για να ανιχνεύσουν αυτό το φαινόμενο. Ως εκ τούτου, είναι μη πρακτικό να εστιαστούν οι ακτίνες X. Θα ήταν δυνατό να διευκρινιστούν οι άλλες ομοιότητες μεταξύ των ακτίνων X και του φωτός αλλά, ως επί το πλείστον, τα αποτελέσματα παραχθέντα είναι τόσο διαφορετικά — ιδιαίτερα η διείδυσή τους -- που είναι προτιμητέο να εξεταστούν οι X - ακτίνες και ακτίνες γάμμα χωριστά από άλλες ακτινοβολίες.

Οι ακτίνες γάμμα είναι παρόμοιες στα χαρακτηριστικά τους με τις ακτίνες X και παρουσιάζουν τις ίδιες ομοιότητες, και διαφορές από, ορατό φως όπως οι ακτίνες X. Διακρίνονται από τις ακτίνες X μόνο από την πηγή τους. Οι ακτίνες γάμμα εκπέμπονται από τους αποσυνθέτοντας πυρήνες των ραδιενεργών ουσιών, και η ποιότητα (μήκος κύματος ή διείδυση) και η ένταση της ακτινοβολίας δεν μπορεί να ελεγχθεί από το χρήστη. Μερικά ραδιενεργά ισότοπα που παράγουν ακτίνες  $\gamma$ , όπως το ράδιο, εμφανίζονται φυσικά. Άλλες, όπως το κοβάλτιο 60, παράγονται τεχνητά. Στη βιομηχανική ακτινογραφία, τα τεχνητά ραδιενεργά ισότοπα χρησιμοποιούνται σχεδόν αποκλειστικά ως πηγές ακτινοβολίας γάμμα.

2. Είναι βλαβερές στο σώμα και έχουν την ικανότητα να καταστρέφουν τους ιστούς του ανθρώπινου σώματος κατά 3 τρόπους :

- α ) Διασπών τη δομή του κύτταρου έτσι ώστε το κύτταρο μπορεί να θανατωθεί.
- β ) Μηδενίζουν την αναπαραγωγική ικανότητα των κυττάρων.
- γ ) προκαλούν ανωμαλίες στην αναπαραγωγή των κυττάρων.

Οι ιστοί του σώματος αποτελούνται από κύτταρα που περιέχουν ορυκτά, πρωτεΐνες, ζάχαρη, άνθρακα και υδρογόνο. Η καταστροφή των κυττάρων γίνεται με ιονισμό όταν μια ακτίνα X ή  $\gamma$  ( πακέτα ενέργειας ) απωθήσει ηλεκτρόνια από την εξωτερική τροχιά ενός ατόμου σ' ένα κύτταρο ( Ιονισμός ) .

3 . Όπως αναφέρθηκε, οι ηλεκτρομαγνητικές ακτινοβολίες δεν ανιχνεύονται από τις πέντε αισθήσεις, κατά συνέπεια η ιδιότητα του ιονισμού, που χρησιμοποιείται στους ανιχνευτές Geiger είναι ένα ουσιώδες εργαλείο για τον ραδιογράφο. Το όργανο αυτό είναι τα μάτια , μύτη, και το στόμα του.

Οι τρεις παράμετροι που αναφέρθηκαν αποτελούν τη βάση των νομικών απαιτήσεων για ιονίζουσες ακτινοβολίες.

Άλλες ιδιότητες των ακτίνων X και  $\gamma$  σχετίζονται άμεσα με τη Ραδιογραφία των υλικών :

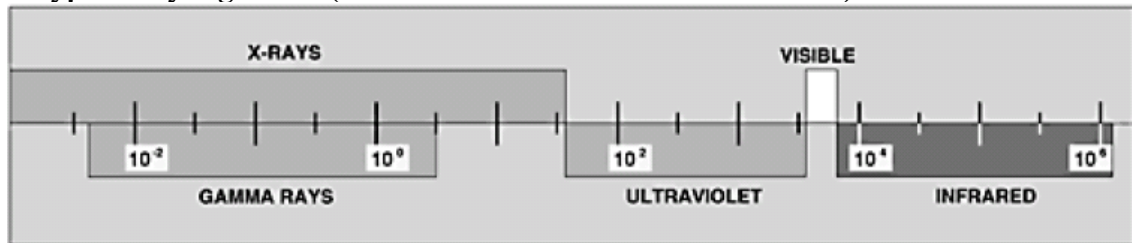
- i) Διαδίδονται ( ταξιδεύουν ) σε ευθύγραμμες τροχιές και υπακούουν στο νόμο των αντίστροφων τετράγωνων.
- ii) Κινούνται με τη ταχύτητα του φωτός, με σταθερό πλάτος.
- iii) Επιδρούν στα φωτογραφικά γαλακτώματα.
- iv) Παράγουν ορατό φθορισμό όταν προσπίπτουν επί ορισμένων ουσιών όπως βλοφραμιούχο Ασβέστιο και Φθοριούχο Ψευδάργυρο ( φθορίζουσες οθόνες )
- v) Προκαλούν την εκπομπή φωτο – ηλεκτρονίων από ορισμένα μέταλλα. Η ιδιότητα αυτή χρησιμοποιείται αποτελεσματικά όταν πλάκες μολύβδου τοποθετούνται στη μια ή στην άλλη πλευρά του φωτογραφικού φιλμ για να ενισχύσουν την εικόνα.
- vi) Διέρχονται μέσα από πυκνά υλικά πράγμα που συνοδεύεται από απορρόφηση και σκέδαση (scatter).

Η απορρόφηση και η σκέδαση εξαρτώνται από τη πυκνότητα και το πάχος του υλικού, που ραδιογραφείται.

Η απορρόφηση εξαρτάται άμεσα από το συντελεστή απορρόφησης του υλικού.

vii) Οι ακτίνες X και γ ευρίσκονται στη ζώνη μικρών μηκών κύματος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος.

**Σχήμα 1: Μέρη του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Μήκη κύματος στις μονάδες angstrom ( $1 \text{ \AA} = 10^8 \text{ εκατ.} = 3.937 \times 10^9 \text{ ίντσα}$ )**





## ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία είναι κύματα ενέργειας είναι ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία, που πάλλονται σχηματίζοντας ορθή γωνία μεταξύ τους και με τη διεύθυνση της κίνησης. Τα κύματα δεν χρειάζονται μέσω διάδοσης, αλλά κινούνται με τη ταχύτητα του Φωτός  $30 \times 10^8 \text{ m / sec}$  (στο κενό) με σταθερό πλάτος.

Τα χαρακτηριστικά της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας εξαρτώνται από τη συχνότητα της κίνησης των κυμάτων. Η συχνότητα, ταχύτητα και το μήκος κύματος σχετίζονται με τη σχέση :

$$c = f \lambda$$

Οι χαμηλότερες συχνότητες σχετίζονται με τα ραδιοκύματα, ενώ οι υψηλότερες με τις υπέρυθρες (infrared), υπεριώδεις (ultraviolet) X και γ ακτίνες (Σχ.1).

Ορισμένα φυσικά χαρακτηριστικά μπορούν εύκολα να εξηγηθούν με τη θεωρία της κίνησης των φαινομένων π. χ ανάκλαση, διάθλαση.

Το φως – ηλεκτρικό φαινόμενο ( πλάκες μολύβδου, φθορίζουσες οθόνες ) και ο ιονισμός απαιτούν ερμηνεία με βάση τα πακέτα ενέργειας. Η θεωρητική αυτή προσέγγιση βασίζεται στη θεωρία των "κβάντα" ( quantum theory ), όπου η ακτινοβολία θεωρείται σαν ένα πακέτο ( κβαντο ) ενέργειας, που μεταδίδεται ( ταξιδεύει ) με την ταχύτητα του Φωτός, αλλά έχει μηδενική μάζα.

Η ενέργεια του πακέτου ( κβάντου – φωτονίου ) είναι ανάλογη της συχνότητας της ακτινοβολίας.

$E \propto f$  ( Η ενέργεια ανάλογη της συχνότητας )

συνεπώς  $E = h \cdot f$ ,

$f$  = συχνότητα,  $h$  = Σταθερά του **Plank**

Ένα κύμα ( ηλεκτρομαγνητική θεωρία ) και ένα σωματίδιο ενέργειας ( θεωρία **Plank** ) υπό ορισμένες συνθήκες αλληλοσχετίζονται, όπως εξηγείται με τα κύματα de Broglie και το πείραμα **Davission – Germer**, όπου ένας κρύσταλλος Νικελίου χρησιμοποιείται για τη διάθλαση ( θεωρία κυμάτων ) μιας δέσμης ηλεκτρονίων (θεωρία σωματιδίων )

Η εξίσωση de Broglie δείχνει ότι ένα σωματίδιο μάζας  $-m$ , που κινείται με ταχύτητα  $-c$ , θα έχει, υπό ορισμένες συνθήκες, ένα χαρακτηριστικό μήκος κύματος.

$$\lambda = \frac{h}{mc} \quad \text{όπου } h = \text{σταθερά Plank}$$

Αυτές οι ηλεκτρομαγνητικές δονήσεις παράγονται και από τις λυχνίες ακτινών – X και από τις πηγές ακτινών  $\gamma$  ( ισότοπα ) και έχουν πολλές ιδιότητες, που σχετίζονται άμεσα με τη χρήση της Ραδιογραφικής Τεχνικής.

**ΟΙ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΑΚΤΙΝΩΝ X ΚΑΙ  $\gamma$  ΜΕ ΤΗΝ ΙΔΙΑ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΕΙΝΑΙ ΤΑΥΤΟΣΗΜΕΣ**

Σύμφωνα μετά προηγούμενα οι ηλεκτρομαγνητικές ακτινοβολίες ( φως, ακτίνες – X, και ραδιοκύματα ) :

- 1 . Μεταδίδονται με σταθερή ταχύτητα του ( Φώτος )
- 2 . Είναι εγκάρσια κύματα, όπου η κίνηση των σωματιδίων γίνεται σε ορθή γωνία με τη διεύθυνση μετάδοσης.
- 3 . Μπορούν να θεωρηθούν είτε σαν κίνηση κυμάτων, είτε σαν κίνηση σωματιδίων ( φωτόνια – κβάντα ) που εξαρτάται από την επιθυμητή θεωρητική εξήγηση.
- 4 . Μεταδίδονται στο κενό.
- 5 . Είναι ενέργεια εν κινήσει.
- 6 . Ακολουθούν τη σχέση :  $c = f \times \lambda$   
όπου  $c =$  ταχύτητα του Φώτος  
 $f =$  συχνότητα  
 $\lambda =$  μήκος κύματος
- 7 . Καθώς  $c =$  Σταθερά  $f = c / \lambda$ , αρα  $f$  είναι πάντα ανάλογη του  $1 / \lambda$ .

**ΕΝΑ ΜΙΚΡΟ ΜΗΚΟΣ ΚΥΜΑΤΟΣ ΔΕΙΧΝΕΙ ΥΨΗΛΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ,  
ΜΕΓΑΛΟ ΜΗΚΟΣ ΚΥΜΑΤΟΣ ΔΕΙΧΝΕΙ ΧΑΜΗΛΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ**

- 8 . Η ενέργεια είναι ανάλογη της συχνότητας  
 $E = h \times f$ , όπου  $E =$  ενέργεια,  $h =$  Σταθερά **Plank**
- 9 . το πλάτος των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων είναι σταθερό, πράγμα που είναι σημαντικό χαρακτηριστικό του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος

## ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ ΚΑΙ ΣΚΕΛΑΣΗ ΤΩΝ ΑΚΤΙΝΩΝ X ΚΑΙ γ

### Απορρόφηση

Τα πυκνά μέταλλα απορροφούν τις ακτίνες -X ( φωτόνια, πακέτα ενέργειας ) περισσότερο από τα ελαφρά μέταλλα.

Αυτές οι ακτίνες - X μετασχηματίζονται κατά τη διέλευση μέσω του υλικού με ιονισμό. Ο τύπος που συσχετίζει τη διέλευση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας μέσω ενός υλικού είναι :

$$I = I_0 \times e^{-at}$$

I = ένταση εξερχόμενης ακτίνας

I<sub>0</sub> = ένταση προσπίπτουσας ακτίνας

t = πάχος του υλικού

a = συντελεστής γραμμικής απορρόφησης

Είναι περισσότερο χρήσιμο, όταν πρόκειται για απορρόφηση ακτίνων - X, να χρησιμοποιούμε τον συντελεστή απορρόφησης μάζας μ ,

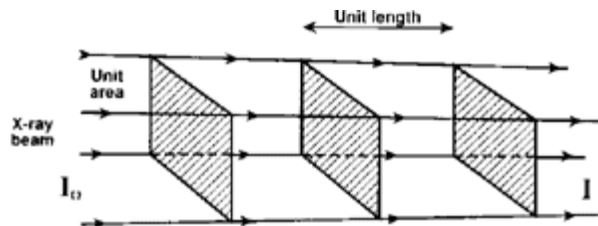
Όπου :

$$\mu = \frac{a}{\rho} = \frac{\text{Γραμμικός συντελεστής απορρόφησης}}{\text{πυκνότητα}}$$

Η εισαγωγή της πυκνότητας δείχνει ότι :

1 . Όσο η πυκνότητα του υλικού αυξάνει π. χ από το Αλουμίνιο στο Χάλυβα, η απορρόφηση των ακτίνων - X αυξάνει επίσης και

2 . Όσο το πάχος του συγκεκριμένου υλικού αυξάνει, αυξάνει και η απορρόφηση



Τα χαρακτηριστικά απορρόφησης των υλικών είναι σημαντικά στην ανάπτυξη της αντίθεσης σε μια ακτινογραφία. Τα χαρακτηριστικά απορρόφησης θα αυξηθούν ή θα μειωθούν καθώς η ενέργεια της ακτίνας X αυξάνεται ή μειώνεται. Μια ακτινογραφία με την υψηλότερη αντίθεση θα παράσχει τη μεγαλύτερη πιθανότητα της ανίχνευσης μιας δεδομένης ασυνέχειας. Μια κατανόηση της σχέσης μεταξύ του υλικού πάχους, των ιδιοτήτων απορρόφησης, και της ενέργειας φωτονίων είναι θεμελιώδης στην παραγωγή μιας ποιοτικής ακτινογραφίας. Μια κατανόηση της απορρόφησης είναι επίσης απαραίτητη κατά το σχεδιασμό του X - και ακτίνων γάμμα προστατευτικό κάλυμμα, γραφεία, ή υπόγειοι θάλαμοι έκθεσης.

Η μείωση των ακτίνων X στα στερεά πραγματοποιείται από ποικίλους διαφορετικούς μηχανισμούς, μερικοί λόγω της απορρόφησης, άλλοι λόγω της διασποράς της ακτίνας. Η διασπορά Thompson (επίσης γνωστή ως συνεπής, ή κλασική διασπορά Rayleigh) και Compton που διασκορπίζει (επίσης γνωστός όπως την ασυνάρτητη διασπορά) εισήχθησαν στην υλική με τον τίτλο "αλληλεπίδραση μεταξύ της διείσδυσης της ακτινοβολίας και του θέματος" και της "Compton διασποράς." Αυτό χρειάζεται την ιδιαίτερη προσοχή επειδή μια καλή ακτινογραφία μπορεί μόνο να επιτευχθεί εάν υπάρχει ελάχιστη των ακτίνων X διασπορά.

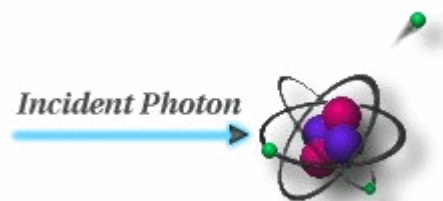
### ΣΚΕΔΑΣΗ(Scatter)

Οι ακτίνες – X κατά τη διέλευσή τους μέσω ενός υλικού απορροφούνται, αλλά μερικές από τις ακτίνες αυτές ( φωτόνια ) μεταβάλλονται με ιονισμό ( παραγωγή ιόντων ).

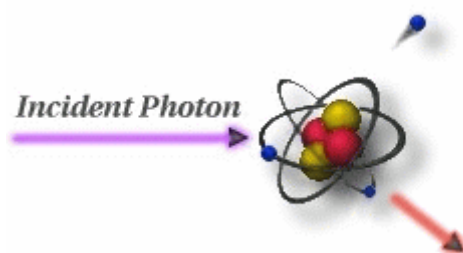
Η διαδικασία αυτή είναι πολύπλοκη και προκαλεί σκέδαση της δέσμης. Οι κύριοι τύποι σκέδασης στη Βιομηχανική Ραδιογραφία είναι :

1. Φώτο – ηλεκτρική απορρόφηση(PE)
2. Σκέδαση **Compton(C)**
3. Παραγωγή ζευγών (Pair production)(PP)
4. Η διασπορά **Thomson (R)**
5. Η φωτοδιάσπαση (PD)

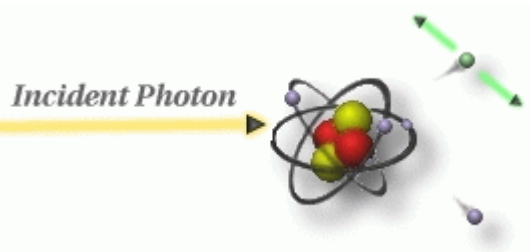
**Η φωτοηλεκτρική απορρόφηση (PE)** των ακτίνων X εμφανίζεται όταν απορροφάται το φωτόνιο των ακτίνων X με συνέπεια την εκτίναξη των ηλεκτρονίων από το εξωτερική τροχιά του ατόμου, με συνέπεια τον ιονισμό του ατόμου. Στη συνέχεια, το ιονισμένο άτομο επιστρέφει στο ουδέτερο κατάσταση με την εκπομπή ενός χαρακτηριστικού του ατόμου των ακτίνων X. Αυτή η επόμενη εκπομπή των χαμηλότερων ενεργειακών φωτονίων απορροφάται γενικά και δεν συμβάλλει (ή να εμποδίσει) στην διαδικασία δημιουργίας εικόνας. Η απορρόφηση φωτοηλεκτρονίων είναι η βασική διαδικασία για την απορρόφηση των ακτίνων X μέχρι τις ενέργειες περίπου 500 KeV. Η απορρόφηση φωτοηλεκτρονίων είναι επίσης κυρίαρχη για τα άτομα των υψηλών ατομικών αριθμών.



**Η διασπορά Compton (C)**, γνωστή επίσης ως **ασυνάρτητη διασπορά(incoherent scattering)**, εμφανίζεται όταν εκτινάσσει το συναφές των ακτίνων X φωτόνιο ένα ηλεκτρόνιο από ένα άτομο και ένα των ακτίνων X φωτόνιο της χαμηλότερης ενέργειας διασκορπίζεται από το άτομο. Σχετιστική ενέργεια και η ορμή συντηρείται σε αυτήν την διαδικασία και το διεσπαρμένο των ακτίνων X φωτόνιο έχει τη λιγότερη ενέργεια και επομένως μεγαλύτερο μήκος κύματος από το συναφές φωτόνιο. Η διασπορά Compton είναι σημαντική για τα χαμηλά ατομικά δείγματα αριθμού. Στις ενέργειες 100 keV -- 10 MeV η απορρόφηση της ακτινοβολίας οφείλεται κυρίως στη Compton επίδραση.

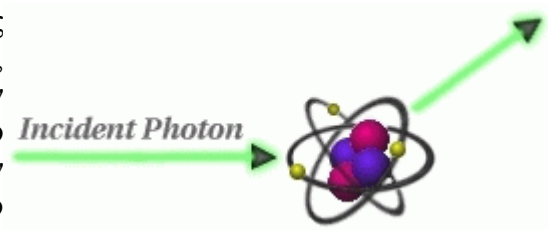


**Η παραγωγή (PP) ζευγαριού** μπορεί να εμφανιστεί όταν η ενέργεια φωτονίων των ακτίνων X είναι μεγαλύτερη από 1,02 MeV, όταν ένα ηλεκτρόνιο και το ποζιτρόνιο δημιουργείται με εκμηδένιση του φωτονίου των ακτίνων X. Τα ποζιτρόνια πολύ απότομα βιώνονται και εξαφανίζονται (εκμηδένιση ποζιτρονίων) με το σχηματισμό δύο φωτονίων 0,51 ενέργειας MeV. Η παραγωγή ζευγαριού είναι ιδιαίτερα σημαντική όταν περνούν τα υψηλής ενέργειας φωτόνια μέσω των υλικών ενός υψηλού ατομικού αριθμού. Ενέργεια: > 1,02 MeV

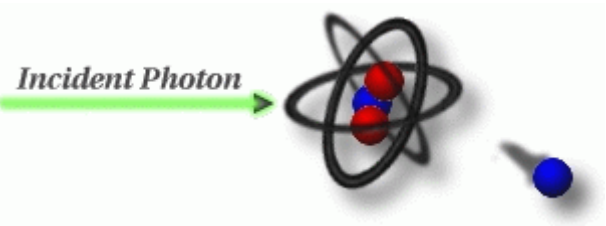


*Τα παρακάτω είναι κάποια άλλα φαινόμενα αλληλεπίδρασης που μπορούν να εμφανιστούν. Κάτω από τις ειδικές περιστάσεις αυτά μπορούν να εξεταστούν, αλλά είναι γενικά αμελητέα η επίδραση τους.*

**Η διασπορά Thomson (R)**, επίσης γνωστή ως Rayleigh, **συνεπής** ή κλασσική διασπορά, εμφανίζεται όταν αλληλεπιδρά το φωτόνιο των ακτίνων X σε ολόκληρο το άτομο έτσι ώστε το φωτόνιο είναι διεσπαρμένο χωρίς αλλαγή στην εσωτερική ενέργεια του ατόμου, ούτε στο φωτόνιο των ακτίνων X. Η διασπορά Thomson δεν είναι ποτέ περισσότερο από έναν δευτερεύοντα συνεισφέροντα στο συντελεστή απορρόφησης. Η διασπορά εμφανίζεται χωρίς την απώλεια ενέργειας. Η διασπορά είναι κυρίως στην μπροστινή κατεύθυνση.



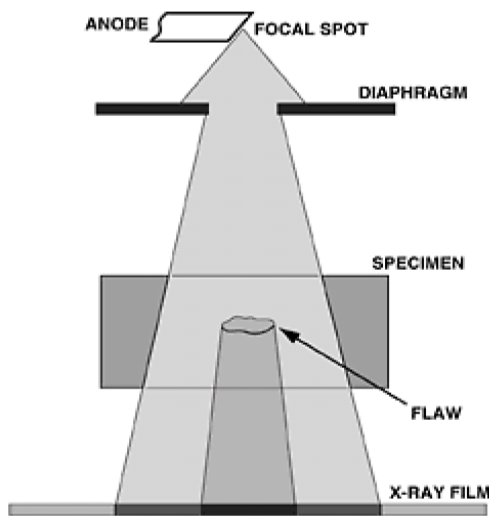
**Η φωτοδιάσπαση (PD)** είναι η διαδικασία από την οποία το φωτόνιο των ακτίνων X συλλαμβάνεται από τον πυρήνα του ατόμου με την εκτίναξη ενός μορίου από τον πυρήνα όταν δίνεται όλη η ενέργεια της ακτίνας X στον πυρήνα. Λόγω των πάρα πολύ υψηλών ενεργειών σχετικών, αυτή η διαδικασία μπορεί να παραμεληθεί για τις ενέργειες των ακτίνων X που χρησιμοποιούνται στην ακτινογραφία.



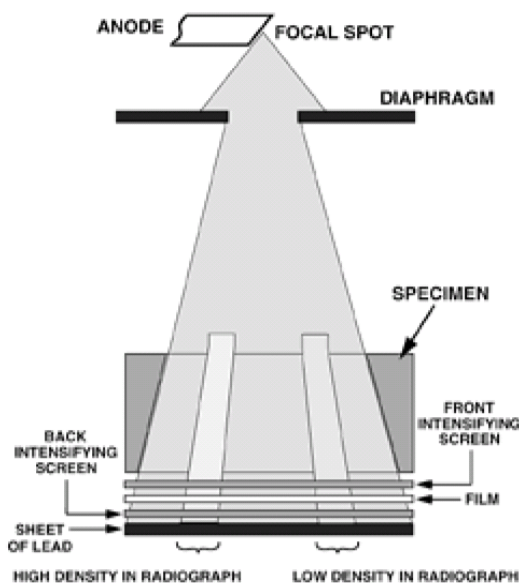
τις ενέργειες των ακτίνων X που

Στην ακτινογραφία, η ταινία λαμβάνει τη διασπαρμένη ακτινοβολία από το αντικείμενο, τον κάτοχο ταινιών, και οποιοδήποτε άλλο υλικό στην πορεία της αρχικής ακτίνας των ακτίνων X. Η επίδραση είναι να χαθεί η αντίθεση, η λεπτομέρεια, και η σαφήνεια της ακτινογραφικής εικόνας. Οι οθόνες μολύβδου, σε επαφή με την ταινία, ελαττώνουν τη σχετική επίδραση αυτής της πολύ διασπαρμένης ακτινοβολίας. Κάτω από μερικές περιστάσεις, ένα φίλτρο του χαλκού ή του μολύβδου, που τοποθετείται μεταξύ του σωλήνα των ακτίνων X και του αντικειμένου, ή μεταξύ του αντικειμένου και της ταινίας, μικραίνει την επίδραση της διασπαρμένης ακτινοβολίας στην ταινία. Μια πλάκα μολύβδου που περιορίζει την ποσότητα της ύλης που εκτίθεται στην αρχική ακτινοβολία είναι μερικές φορές χρήσιμη στην ελαττώνοντας διασπορά.

**Σχήμα 2:** Σχηματικό διάγραμμα που παρουσιάζει τις βασικές αρχές μιας ακτινογραφικής έκθεσης. Η σκοτεινή περιοχή της ταινίας αντιπροσωπεύει το πιο διαπερατό μέρος του αντικειμένου, ενώ οι φωτεινές περιοχές, την πιο αδιαφανής.



**Σχήμα 3:** Διάγραμμα της οργάνωσης για την παραγωγή μιας βιομηχανικής ακτινογραφίας με τις ακτίνες X.



## 2. ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΑΚΤΙΝΩΝ X ΚΑΙ ΓΑΜΜΑ(γ)

### ΤΟ ΑΤΟΜΟ

Το άτομο αποτελείται από ένα πυρήνα, στον οποίο συγκεντρώνεται η μάζα του ατόμου. Ο πυρήνας περιέχει πρωτόνια ( θετικό φορτίο ) και νετρόνια ( ουδέτερα ηλεκτρικά ) και περικλείεται από περιοχές ηλεκτρονίων ( αρνητικό φορτίο ). Για να διατηρηθεί το ουδέτερο ( ηλεκτρικά ) σύστημα, ο αριθμός των πρωτονίων στον πυρήνα πρέπει να είναι ίσος προς τον αριθμό ηλεκτρονίων.

### ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΑΚΤΙΝΩΝ X

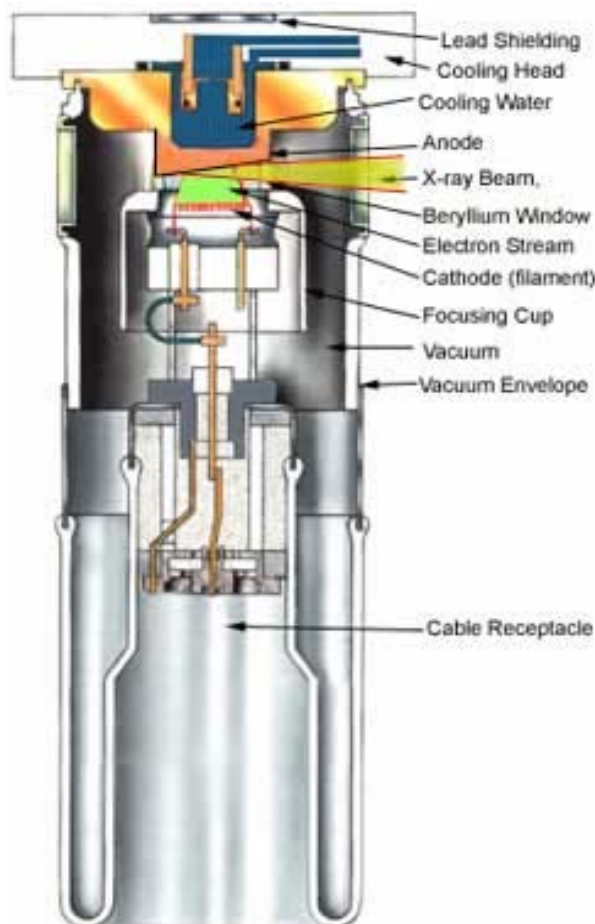
Οι ακτίνες X παράγονται όταν συγκρούονται τα ηλεκτρόνια, που ταξιδεύουν με την υψηλή ταχύτητα, με την κατεύθυνση θέματος ή αλλαγής. Στο συνηθισμένο τύπο σωλήνα των ακτίνων X, μια πυρακτωμένη ίνα παρέχει τα ηλεκτρόνια και διαμορφώνει έτσι την κάθοδο, ή το αρνητικό ηλεκτρόδιο, του σωλήνα. Μια υψηλή τάση που εφαρμόζεται στο σωλήνα οδηγεί τα ηλεκτρόνια στην άνοδο, ή το στόχο. Η ξαφνική παύση αυτών των γρήγορα κινούμενων ηλεκτρονίων στην επιφάνεια του στόχου οδηγεί στην παραγωγή της X-ακτινοβολίας.

Ο σχεδιασμός και το διάστημα των ηλεκτροδίων και ο βαθμός κενού είναι τέτοιος που η απουσία ροής της ηλεκτρικής δαπάνης μεταξύ της καθόδου και της ανόδου είναι δυνατή έως ότου θερμαίνεται η ίνα.

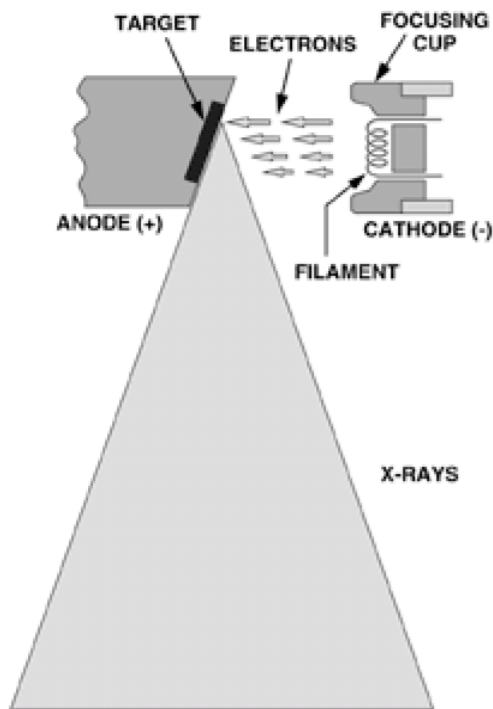
Ο σωλήνας των ακτίνων X

Το σχήμα 4 είναι ένα σχηματικό

διάγραμμα των ουσιαστικών μερών ενός σωλήνα των ακτίνων X. Η **ίνα**(filament) θερμαίνεται από ένα ρεύμα διάφορων αμπερ από μια χαμηλής τάσης πηγή, γενικά ένας μικρός μετασχηματιστής. Το **‘κώνος εστίασης’**(focusing cup) χρησιμεύει να συγκεντρώσει το ρεύμα των ηλεκτρονίων σε έναν μικρό τομέα του στόχου(Target), αποκαλούμενο **εστιακό σημείο** όπου βρίσκετε η άνοδος. Αυτό το ρεύμα των ηλεκτρονίων αποτελεί το ρεύμα σωλήνων και μετριέται σε milliamperes.



Σχήμα 4: Σχηματικό διάγραμμα ενός σωλήνα των ακτίνων X.



Όσο υψηλότερη η θερμοκρασία της ίνας, ο μεγαλύτερη είναι η εκπομπή του ηλεκτρονίων και όσο μεγαλύτερο είναι το προκύπτον ρεύμα σωλήνων. Το ρεύμα σωλήνων ελέγχεται, επομένως, από κάποια συσκευή που ρυθμίζει το ρεύμα θέρμανσης που παρέχεται στην ίνα. Αυτό ολοκληρώνεται συνήθως από έναν μετασχηματιστή μεταβλητής τάσης, ο οποίος ενεργοποιεί τον αρχικό του μετασχηματιστή ινών. Άλλοι όροι που παραμένουν οι ίδιοι, η παραγωγή των ακτίνων X είναι ανάλογοι προς το ρεύμα σωλήνων.

Το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας που εφαρμόζεται στο σωλήνα μετασχηματίζεται σε θερμότητα στο εστιακό σημείο. Μόνο μια μικρή μερίδα του μετασχηματίζεται σε ακτίνες X. Η υψηλή συγκέντρωση της θερμότητας σε μια μικρή περιοχή επιβάλλει ένα αυστηρό φορτίο στα υλικά και το σχέδιο της ανόδου. Το υψηλό σημείο τήξης του βολφραμίου το κάνει ένα πολύ κατάλληλο υλικό για το στόχο ενός σωλήνα των ακτίνων X. Επιπλέον, η αποδοτικότητα του υλικού στόχων στην παραγωγή των ακτίνων X είναι ανάλογη προς τον ατομικό αριθμό της. Δεδομένου ότι το βολφράμιο έχει έναν υψηλό ατομικό αριθμό, έχει ένα διπλό πλεονέκτημα. Οι στόχοι σχεδόν όλων των κατασκευαστών των μηχανών ακτίνων X αποτελούνται από το βολφράμιο.

### Ψύξη

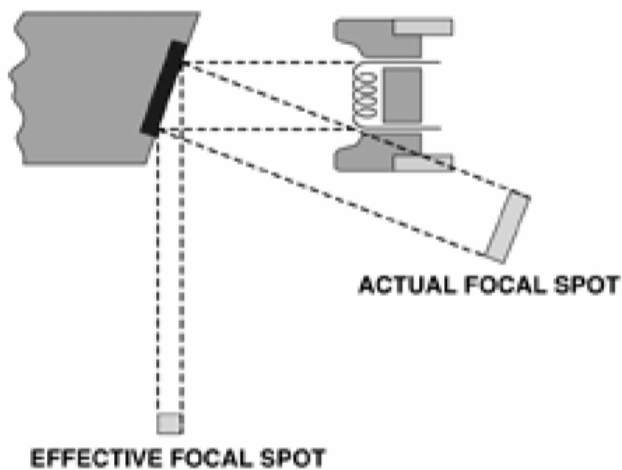
Η κυκλοφορία του λαδιού στο εσωτερικό της ανόδου είναι μια αποτελεσματική μέθοδος απαγωγής της θερμότητας. Όπου αυτή η μέθοδος δεν υιοθετείται, η χρήση του χαλκού για το κύριο σώμα της ανόδου παρέχει την υψηλή αγωγιμότητα θερμότητας, και ακτινοβολώντας τα πτερύγια στο τέλος της ανόδου έξω από το σωλήνα μεταφέρετε τη θερμότητα στο περιβάλλον μέσο. Το εστιακό σημείο πρέπει να είναι τόσο μικρό όσο τα όρια επιτρέπουν, προκειμένου να εξασφαλιστεί ο αιχμηρότερος πιθανός καθορισμός στην ακτινογραφική εικόνα. Εντούτοις, όσο μικρότερο το εστιακό σημείο, η λιγότερη ενέργεια αυτό θα αντισταθεί χωρίς ζημία. Οι κατασκευαστές των σωλήνων ακτίνων X εφοδιάζουν τα στοιχεία υπό μορφή διαγραμμάτων που δείχνουν τα kilovoltages και τα milliamperages που μπορούν να εφαρμοστούν ακίνδυνα στους διάφορους χρόνους έκθεσης. Τη ζωή οποιουδήποτε σωλήνα θα μειώνονταν αρκετά εάν χρησιμοποιείται εκτός της εκτιμημένης ικανότητας.



## Εστιακό-σημείο μέγεθος

Η αρχή της εστίασης γραμμών χρησιμοποιείται για να παρέχει ένα εστιακό σημείο του μικρού αποτελεσματικού μεγέθους, αν και η πραγματική εστιακή περιοχή στο πρόσωπο ανόδων μπορεί να είναι αρκετά μεγάλη, ως σχήμα 5. Με την παραγωγή της γωνίας μεταξύ του προσώπου ανόδων και της κεντρικής ακτίνας μικρών, συνήθως 20 βαθμοί, η αποτελεσματική περιοχή του σημείου είναι μόνο ένα μέρος της πραγματικής περιοχής του. Με την εστιακή περιοχή υπό μορφή μακριού ορθογωνίου, η προβαλλόμενη περιοχή στην κατεύθυνση της κεντρικής ακτίνας είναι τετραγωνική.

**Σχήμα 5: Διάγραμμα ενός σωλήνα γραμμή-εστίασης που απεικονίζει τη σχέση μεταξύ της πραγματικής περιοχής εστιακός-σημείων (τομέας του βομβαρδισμού)(ACTUAL FOCAL SPOT) και του αποτελεσματικού εστιακού σημείου(EFFECTIVE FOCAL SPOT), όπως προβάλλεται από μια άνοδο 20°.**



## Αποτελέσματα Kilovoltage

Όπως ειπώθηκε παραπάνω, διαφορετικές τάσεις εφαρμόζονται στον σωλήνα των ακτίνων X για να ικανοποιήσουν τις απαιτήσεις των διάφορων κατηγοριών ακτινογραφικής εργασίας. Όσο υψηλότερη η τάση, τόσο μεγαλύτερη η ταχύτητα των ηλεκτρονίων που χτυπούν το εστιακό σημείο. Το αποτέλεσμα είναι μια μείωση στο μήκος κύματος των ακτίνων X που εκπέμπονται και μια αύξηση στη δύναμη και την ένταση διείσδυσής τους. Πρέπει να σημειωθεί ότι οι ακτίνες X που παράγονται, παραδείγματος χάριν, σε 200 kilovolts περιέχουν όλα τα μήκη κύματος που θα παράγονταν σε 100 kilovolts, και με τη μεγαλύτερη ένταση. Επιπλέον, οι ακτίνες X 200-kilovolt περιλαμβάνουν μερικά πιο σύντομα μήκη κύματος που δεν υπάρχουν στο φάσμα 100-kilovolt. Οι ακτίνες X υψηλότερης τάσης χρησιμοποιούνται για τη διείσδυση των παχύτερων και βαρύτερων υλικών.

Ένας μετασχηματιστής μεταβλητής τάσης ή μια σπείρα έμφραξης μπορεί να εξυπηρετήσει για τη ρύθμιση του ρεύματος που παρέχεται στην ίνα.

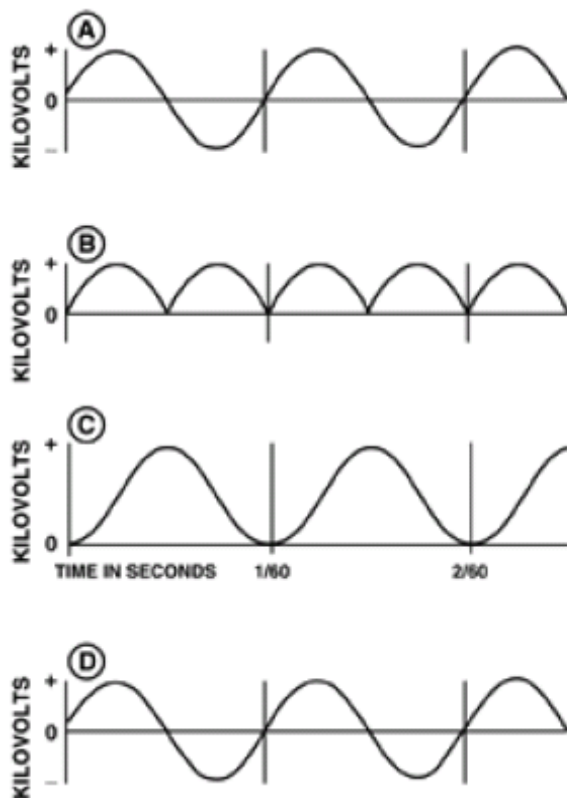
Ο υψηλής τάσεως ανεφοδιασμός αποτελείται από έναν μετασχηματιστή, έναν αυτομετασχηματιστή, και, αρκετά συχνά, έναν διορθωτή.

Ένας μετασχηματιστής το καθιστά πιθανό να αλλάξει την τάση ενός εναλλασσόμενου ρεύματος. Στην απλούστερη μορφή, αποτελείται από δύο σπείρες του μονωμένου καλωδίου που τυλίγεται σε έναν πυρήνα σιδήρου. Η σπείρα που συνδέεται με την πηγή εναλλασσόμενου ρεύματος καλείται το *αρχικό* τύλιγμα, άλλο το *δευτεροβάθμιο* τύλιγμα. Οι τάσεις στις δύο σπείρες είναι άμεσα ανάλογες προς τον αριθμό στροφών, υποθέτοντας 100 τοις εκατό αποδοτικότητας. Εάν, παραδείγματος χάριν, ο αρχικός έχει 100 στροφές, και ο δευτεροβάθμιος έχει 100.000, η τάση στο δευτεροβάθμιο είναι 1.000 φορές υψηλότερες από αυτήν στον αρχικό. Συγχρόνως, το ρεύμα στις σπείρες μειώνεται στην ίδια αναλογία όπως η τάση αυξάνεται. Στο παράδειγμα που δίνεται, επομένως, το ρεύμα στο δευτεροβάθμιο είναι μόνο 1/1.000 που στον αρχικό. Ένας μετασχηματιστής *αύξησης* χρησιμοποιείται για να παρέχει την υψηλή τάση στον σωλήνα των ακτίνων X.

Ένας αυτομετασχηματιστής είναι ένας πρόσθετος τύπος μετασχηματιστή στον οποίο η τάση παραγωγής ποικίλει μέσα σε μια περιορισμένο εύρος. Σε μια γεννήτρια των ακτίνων X, ο αυτομετασχηματιστής επιτρέπει τη ρύθμιση της αρχικής τάσης που εφαρμόζεται στο μετασχηματιστή αύξησης και, ως εκ τούτου, της υψηλής τάσης που εφαρμόζεται στον σωλήνα των ακτίνων X.

Ο τύπος *κυματοειδούς* τάσης που παρέχεται από έναν υψηλής τάσεως μετασχηματιστή παρουσιάζεται στο μέρος A του σχήματος 6 και συνίσταται των εναλλασσόμενων παλμών, πρώτα σε μια κατεύθυνση και έπειτα σε άλλη. Μερικοί κατασκευαστές σωλήνων ακτίνων X σχεδιάζουν την άμεση εφαρμογή του υψηλής τάσεως κυματοειδούς του μέρους A του κατωτέρω σχήματος, που ο σωλήνας των ακτίνων X ενεργεί έπειτα ως ο διορθωτής του. Συνήθως, εντούτοις, η υψηλή τάση παρέχεται σε μια μονάδα αποκαλούμενη *διορθωτή*, ο οποίος μετατρέπει τους παλμούς στην ομοιοκατευθυνόμενη μορφή που διευκρινίζεται στο μέρος B του παρακάτω σχήματος. Ένας άλλος τύπος διορθωτή μπορεί να μετατρέψει το κυματοειδές σε αυτό που παρουσιάζεται στο μέρος C του παρακάτω σχήματος, αλλά η γενική ιδέα είναι η ίδια και στις δύο περιπτώσεις -- δηλαδή η ομοιοκατευθυνόμενη τάση παρέχεται στον σωλήνα των ακτίνων X. Μερικές φορές ένα κύκλωμα φίλτρων παρέχεται επίσης που "λειαινεί έξω" τα κύματα τάσης που παρουσιάζονται στη ζώνη C μερών του αριθμού κατωτέρω, έτσι ώστε ουσιαστικά η σταθερή δυνατότητα εφαρμόζεται στον των ακτίνων X σωλήνα, μέρος D του παρακάτω σχήματος. Πολλά διαφορετικά υψηλής τάσεως κυματοειδή είναι δυνατά, ανάλογα με το σχέδιο της μηχανής των ακτίνων X και της εγκατάστασής του. Το σχήμα 6 παρουσιάζει εξιδανικευμένα κυματοειδή δύσκολα να επιτύχουν στον πρακτικό υψηλής τάσεως εξοπλισμό. Οι αναχωρήσεις από αυτούς τους όρους μπορούν να ποικίλουν στις διαφορετικές εγκαταστάσεις των ακτίνων X. Δεδομένου ότι η παραγωγή των ακτίνων X εξαρτάται από το ολόκληρο κυματοειδές, αυτό αποτελεί την παραλλαγή στα ακτινογραφικά αποτελέσματα παραγόμενα από δύο διαφορετικές των ακτίνων X μηχανές που λειτουργούν στην ίδια αξία του μέγιστου kilovoltage.

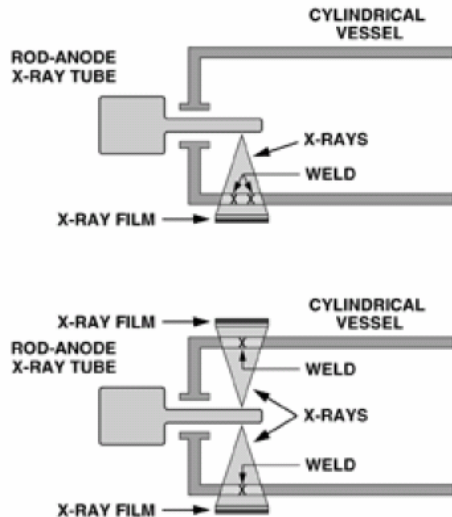
Σχήμα 6: Χαρακτηριστικά κυματοειδή τάσης των μηχανών ακτίνων X.



Οι σωλήνες με τις ανόδους στο τέλος ενός μακριού κυλίνδρου επέκτασης είναι γνωστοί ως σωλήνες "ράβδος-ανόδων". Οι άνοδοι αυτών των σωλήνων μπορούν να είναι ώθηση μέσω των μικρών ενάρξεων (σχήμα 7, επάνω) για να διευκολύνουν ορισμένους τύπους επιθεωρήσεων. Εάν ο στόχος είναι κάθετος στο ρεύμα ηλεκτρονίων στο σωλήνα, η X - ακτινοβολία μέσω 360 βαθμών μπορεί να χρησιμοποιηθεί (σχήμα 7, κάτω), και μια ολόκληρη περιφερειακή συγκόλληση μπορεί να ακτινογραφηθεί σε μια ενιαία έκθεση.

Με τους σωλήνες αυτού του τύπου, μια ειδική προφύλαξη είναι απαραίτητη. Η μακριά πορεία του ρεύματος ηλεκτρονίων κάτω από τον κύλινδρο ανόδων καθιστά την εστίαση των ηλεκτρονίων στο στόχο πολύ ευαίσθητη στις μαγνητικές επιρροές. Εάν το αντικείμενο που επιθεωρείται είναι μαγνητισμένο -- παραδείγματος χάριν, εάν έχει υποβληθεί σε μια μαγνητική επιθεώρηση και δεν έχει απομαγνητιστεί κατάλληλα -- ένα μεγάλο μέρος του ρεύματος ηλεκτρονίων μπορεί να σπαταληθεί επάνω εκτός από την περιοχή εστιακός-σημείων, και οι προκύπτουσες εκθέσεις θα είναι ακανόνιστες.

**Σχήμα 7:** Επάνω: Σωλήνας ράβδος-ανόδων που χρησιμοποιείται στην εξέταση μιας συγκόλλησης βουλωμάτων. Κάτω: Ράβδος - σωλήνας ανόδων με μια ακτίνα 360° που χρησιμοποιείται για να εξετάσει μια περιφερειακή συγκόλληση σε μια ενιαία έκθεση.



### Μηχανές των ακτίνων X λάμψης(Flash)

Οι μηχανές των ακτίνων X λάμψης(Flash) σχεδιάζονται για να δώσουν εξαιρετικά απότομα (μικροδευτερόλεπτο), εξαιρετικά έντονες εκρήξεις της X-ακτινοβολίας. Προορίζονται για την ακτινογραφία των αντικειμένων στη σύντομη κίνηση ή τη μελέτη των παροδικών γεγονότων. Οι υψηλής τάσεως γεννήτριες αυτών των μονάδων δίνουν έναν πολύ σύντομο σφυγμό της υψηλής τάσης, που λαμβάνεται συνήθως με την απαλλαγή ενός συμπυκνωτή πέρα από τον αρχικό του υψηλής τάσεως μετασχηματιστή. Οι σωλήνες των ακτίνων X οι ίδιοι συνήθως δεν έχουν μια ίνα. Πιθανόν, η κάθοδος έτσι σχεδιάζεται ώστε ένας υψηλός ηλεκτρικός τομέας "τραβά" τα ηλεκτρόνια από το μέταλλο της καθόδου με μια διαδικασία γνωστή ως εκπομπή τομέων, ή την κρύα εκπομπή. Τα στιγμιαία ρεύματα ηλεκτρονίων των εκατοντάδων ή ακόμα και χιλιάδες αμπερ -- αρκετά πέρα από την ικανότητα μιας θερμαμένης ίνας -- μπορούν να ληφθούν με αυτήν την διαδικασία.

### Υψηλής τάσεως εξοπλισμός

Το *betatron* μπορεί να θεωρηθεί ως υψηλής τάσεως μετασχηματιστής, στον οποίο ο δευτερεύον μετασχηματιστής αποτελείται από ηλεκτρόνια που κυκλοφορούν σε έναν διαμορφωμένο κενό σωλήνα που τοποθετείται μεταξύ των πόλων ενός ηλεκτρομαγνήτη εναλλασσόμενων ρευμάτων που διαμορφώνει τον αρχικό. Τα κυκλοφορώντας ηλεκτρόνια, που επιταχύνονται στην υψηλή ταχύτητα από το μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο του αρχικού, προκαλούνται για να προσκρούσουν σε έναν στόχο μέσα στον επιταχύνοντας σωλήνα.

Στο γραμμικό επιταχυντή, τα ηλεκτρόνια επιταχύνονται στις υψηλές ταχύτητες με τη βοήθεια ενός υψηλής συχνότητας ηλεκτρικό κύμα που ταξιδεύει κατά μήκος του σωλήνα μέσω του οποίου τα ηλεκτρόνια ταξιδεύουν.

Και το betatron και ο γραμμικός επιταχυντής χρησιμοποιούνται για την παραγωγή της X-ακτινοβολίας στη σειρά πολλαπλών εκατομμυρίων βολτ.

**Πίνακας I - χαρακτηριστικές των ακτίνων X μηχανές και οι αιτήσεις τους**

Μέγιστη τάση (kV)	Οθόνες	Εφαρμογές και κατά προσέγγιση όρια πάχους
50	Καμιά	Λεπτά τμήματα των περισσότερων μετάλλων μέτριο πάχος του γραφίτη και του βηρυλλίου μικρά ηλεκτρονικά συστατικά ξύλο, πλαστικά, κ.λπ....
150	Κανένας ή φύλλο μολύβδου	5-ίντσας αλουμίνιο ή αντίτιμο. (Βλ. τον πίνακα IV) χάλυβας ή αντίτιμο <b>1-ίντσας</b> .
	Φθορίου	11 /2- ίντσα χάλυβας
300	Φύλλο μολύβδου	3- ίντσες χάλυβας
	Φθορίου	4- ίντσες χάλυβας
400	Φύλλο μολύβδου	3 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> - ίντσες χάλυβας
	Φθορίου	4 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> - ίντσες χάλυβας
1000	Φύλλο μολύβδου	5- ίντσες χάλυβας
	Φθορίου	8- ίντσες χάλυβας
2000	Φύλλο μολύβδου	8 ίντσες χάλυβας
8 to 25 MeV	Φύλλο μολύβδου	16- ίντσες χάλυβας
	Φθορίου	20- ίντσες χάλυβας

Στην υψηλής τάσεως ηλεκτροστατική γεννήτρια, η υψηλή τάση παρέχεται από τις στατικές αρνητικές δαπάνες που μεταβιβάζονται μηχανικά σε ένα μονώνοντας ηλεκτρόδιο από μια κινούμενη ζώνη. Οι ηλεκτροστατικές γεννήτριες χρησιμοποιούνται για τις μηχανές στο 1 και τη σειρά 2-εκατομμύριο-βολτ.

Στην ανάπτυξη των κατάλληλων τεχνικών έκθεσης, είναι σημαντικό να είναι γνωστή η τάση που εφαρμόζεται στον των ακτίνων X σωλήνα. Είναι κοινή πρακτική για τους κατασκευαστές του εξοπλισμού των ακτίνων X να βαθμολογήσουν τις μηχανές τους στο εργοστάσιο. Κατά συνέπεια, ο χειριστής μπορεί να ξέρει την τάση πέρα από τον σωλήνα των ακτίνων X από τις αναγνώσεις του βολτόμετρου που συνδέεται με το αρχικό τύλιγμα του υψηλής τάσεως μετασχηματιστή.

## Εφαρμογή των διάφορων τύπων των ακτίνων X συσκευών

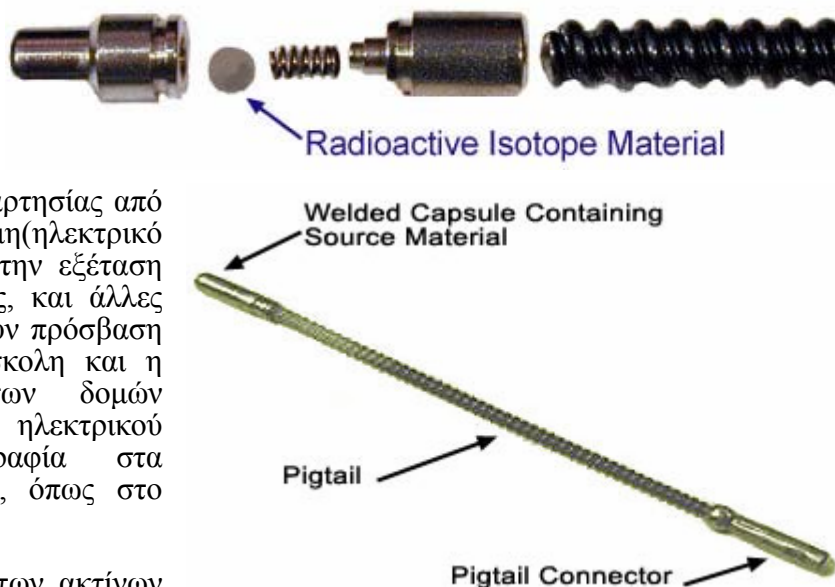
Οι διάφορες μηχανές των ακτίνων X εμπορικά διαθέσιμες μπορούν να ταξινομηθούν κατά προσέγγιση σύμφωνα με τη μέγιστη τάση τους. Η επιλογή μεταξύ των διάφορων κατηγοριών θα εξαρτηθεί από τον τύπο εργασίας που γίνεται. Ο πίνακας I απαριθμεί τις σειρές τάσης και τις εφαρμογές των χαρακτηριστικών των ακτίνων X μηχανών. Οι σειρές τάσης είναι κατά προσέγγιση δεδομένου ότι τα ακριβή όρια τάσης των μηχανών ποικίλλουν από έναν κατασκευαστή σε κατασκευαστή. Πρέπει να υπογραμμιστεί ότι ένας πίνακας όπως τον πίνακα I μπορεί να χρησιμεύσει μόνο ως το τραχύτερο είδος του οδηγού, δεδομένου ότι οι μηχανές των ακτίνων X διαφέρουν στις προδιαγραφές τους, και οι ακτινογραφικοί στόχοι διαφέρουν στις απαιτήσεις τους.

Οι μηχανές των ακτίνων X μπορούν να είναι είτε σταθερές είτε φορητές, ανάλογα με τις συγκεκριμένες χρήσεις για τις οποίες προορίζονται. Όταν το υλικό που ακτινογραφείται είναι φορητό, η μηχανή των ακτίνων X συνήθως βρίσκεται μόνιμα σε ένα δωμάτιο που προστατεύεται από τη διαφυγή της X-ακτινοβολίας. Ο ίδιος ο σωλήνας των ακτίνων X τοποθετείται συχνά σε μια στάση επιτρέποντας την ιδιαίτερη ελεύθερη κυκλοφορία. Για την εξέταση από τα αντικείμενα που είναι σταθερά ή που είναι κινητά μόνο με μεγάλη δυσκολία, οι κινητές μηχανές των ακτίνων X μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Αυτές μπορούν να τοποθετηθούν με κάποιο μέσο για τη μετακίνηση στα διάφορα μέρη εγκαταστάσεων, ή μπορούν να είναι μικροί και αρκετά ελαφριοί να φερθούν επάνω στα υλικά σκαλωσιάς, μέσω των καταπακτών, ή ακόμα και αυτοπροωθούμενος για να περάσουν μέσω των σωληνώσεων. Οι ημιαυτόματες μηχανές έχουν σχεδιαστεί για την ακτινογραφία των μεγάλων αριθμών σχετικά μικρών μερών σε μια βάση "γραμμών παραγωγής".

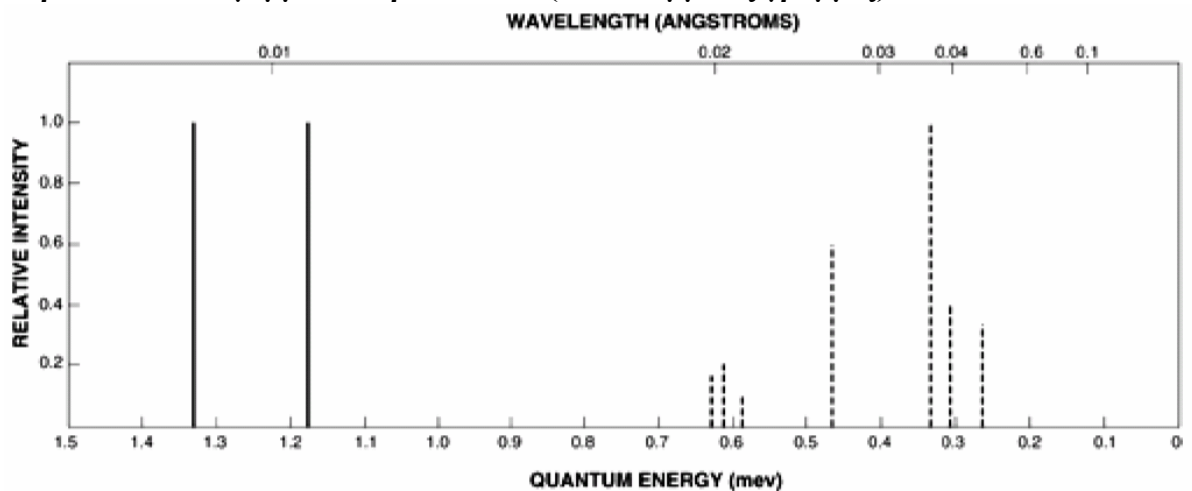
## Ακτίνων γάμμα πηγές

Η ακτινογραφία με τις ακτίνες γάμμα έχει τα πλεονεκτήματα της απλότητας των συσκευών χρησιμοποιούμενων, της πυκνότητας της πηγής ακτινοβολίας, και της ανεξαρτησίας από την εξωτερική δύναμη(ηλεκτρικό ρεύμα). Αυτό διευκολύνει την εξέταση του σωλήνα, δοχεία πίεσης, και άλλες συνελύξεις στα οποία έχουν πρόσβαση στο εσωτερικό είναι δύσκολη και η ακτινογραφία τομέων των δομών μακρινών από τις παροχές ηλεκτρικού ρεύματος και ακτινογραφία στα περιορισμένα διαστήματα, όπως στο κατάστρωμα.

Σε αντίθεση στις μηχανές των ακτίνων X, που εκπέμπουν μια ευρεία ζώνη των μηκών κύματος (βλ. "τις ακτίνες X"), οι πηγές ακτίνων γάμμα εκπέμπουν ένα ή μερικά ιδιαίτερα μήκη κύματος. Το σχήμα 8 παρουσιάζει φάσμα ακτίνων γάμμα του κοβαλτίου 60 και των κύριων ακτίνων γάμμα του ιριδίου 192, (στην εντονότερη γραμμή σε κάθε φάσμα έχει οριστεί μια ένταση 1,0)



**Σχήμα 8: φάσμα ακτίνων γάμμα του κοβαλτίου 60 (συνεχής γραμμές) και των κύριων ακτίνων γάμμα του ιριδίου 192 (διακεκομμένες γραμμές).**



Σημειώστε ότι οι ακτίνες γάμμα συχνότερα διευκρινίζονται από την άποψη της ενέργειας του μεμονωμένου φωτονίου, παρά στο μήκος κύματος. Η μονάδα της ενέργειας χρησιμοποιούμενη είναι το βολτ ηλεκτρονίων (eV) -- ένα ποσό ενέργειας ίσο με την κινητική ενέργεια που χρειάζεται ένα ηλεκτρόνιο να επιτυγχάνει ώστε να αλλάξει δυναμική τροχιά . Για τις ακτίνες γάμμα, τα πολλαπλάσια -- kiloelectron βολτ (keV 1 keV = 1.000 eV) ή εκατομμύριο βολτ ηλεκτρονίων (MeV 1 MeV = 1.000.000 eV) -- χρησιμοποιούνται συνήθως. Μια ακτίνα γάμμα με μια ενέργεια 0,5 MeV (500 keV) είναι ισοδύναμη στο μήκος κύματος και στη διεύθυνση της δύναμης με την ακτινοβολία διεύθυνσης που εκπέμπεται από έναν σωλήνα των ακτίνων X που λειτουργεί σε 500 kV. Ο όγκος της ακτινοβολίας που εκπέμπεται από έναν τέτοιο σωλήνα των ακτίνων X θα είναι πολύ λιγότερο διαπερνώντας (πολύ μαλακότερος) από αυτό. Κατά συνέπεια οι ακτινοβολίες από το κοβάλτιο 60, παραδείγματος χάριν, με τις ενέργειες 1,17 και 1,33 MeV, θα έχουν μια δύναμη διεύθυνσης (σκληρότητα) για τον ίσο σε αυτή της ακτινοβολίας από μια μηχανή των ακτίνων X 2-MVolt.



Για τη σύγκριση, μια ακτίνα γάμμα που έχει μια ενέργεια 1,2 MeV έχει ένα μήκος κύματος περίπου 0,01 angstrom (A) μια ακτίνα γάμμα 120 keV έχει ένα μήκος κύματος περίπου 0,1 angstrom.

Τα μήκη κύματος (ή ενέργειες της ακτινοβολίας) που εκπέμπονται από μια gamma-ray πηγή, και οι σχετικές εντάσεις τους, εξαρτώνται μόνο από τη φύση του εκπομπού. Κατά συνέπεια, η ποιότητα ακτινοβολίας μιας πηγής ακτίνων γάμμα δεν είναι μεταβλητή στη θέληση του χειριστή.

## ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΑΚΤΙΝΩΝ $\gamma$

Οι ακτίνες γάμμα από το κοβάλτιο 60 έχουν τη σχετικά μεγάλη δύναμη διείσδυσης και μπορούν να χρησιμοποιηθούν, υπό μερικούς όρους, για να ακτινογραφήσουν τα τμήματα του χάλυβα 9 ίντσες πάχους, ή κάποιου αντίστοιχου πάχους. Οι ακτινοβολίες από άλλα ραδιενεργά υλικά έχουν τις χαμηλότερες ενέργειες παραδείγματος χάριν, το ιρίδιο 192 εκπέμπει τις ακτινοβολίες κατά προσέγγιση ισοδύναμες με τις ακτίνες X που εκπέμπονται από έναν συμβατικό των ακτίνων X σωλήνα που λειτουργεί σε περίπου 600 kV.

Η ένταση της ακτινοβολίας γάμμα εξαρτάται με βάση την ιδιαίτερη πηγή χρησιμοποιούμενη - συγκεκριμένα, από τον αριθμό ραδιενεργών ατόμων στην πηγή που αποσυνθέτουν σε ένα δευτερόλεπτο. Αυτό, στη συνέχεια, δίνεται συνήθως από την άποψη των κιουριών Ci ( $1 \text{ Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{ s}^{-1}$ ). Για μικρό ή μέτριο μεγέθους πηγές που εκπέμπουν ακτίνες γάμμα, η ένταση της ακτινοβολίας που εκπέμπεται από την πηγή είναι ανάλογες προς τη δραστηριότητα πηγής στα κιουριά Ci. Η αναλογικότητα μεταξύ της εξωτερικής gamma-ray έντασης και του αριθμού κιουριών Ci αποτυγχάνει, εντούτοις, για τις μεγάλες πηγές ή για εκείνους που εκπέμπουν τις σχετικά χαμηλής ενέργειας ακτίνες γάμμα. Σε αυτές τις τελευταίες περιπτώσεις, η ακτινοβολία γάμμα που εκπέμπεται από τα άτομα στη μέση της πηγής θα απορροφηθεί αρκετά (αυτο-απορρόφηση) από το ίδιο το ραδιενεργό υλικό. Κατά συνέπεια, η ένταση της χρήσιμης ακτινοβολίας θα μειωθεί σε κάποια αξία κάτω από αυτήν που θα υπολογιζόταν από τον αριθμό κιουριών Ci και την παραγωγή ακτινοβολίας μιας φυσικά μικρής gamma-ray πηγής.

Ένας όρος που χρησιμοποιείται συχνά στην ομιλία για τις ραδιενεργές πηγές είναι *συγκεκριμένη δραστηριότητα* (Specific activity), ένα μέτρο του βαθμού συγκέντρωσης μιας ραδιενεργού πηγής. Η συγκεκριμένη δραστηριότητα εκφράζεται συνήθως από την άποψη των κιουριών ανά γραμμάριο (Curies / gram). Από δύο gamma-ray πηγές του ίδιου υλικού και δραστηριότητας, αυτή που αναπτύσσει τη μεγαλύτερη συγκεκριμένη δραστηριότητα θα είναι η μικρότερη στο πραγματικό φυσικό μέγεθος. Κατά συνέπεια, η πηγή υψηλότερης συγκεκριμένης δραστηριότητας πάσχει λιγότερο από την αυτο-απορρόφηση της ακτινοβολίας γάμμα της. Επιπλέον, θα δώσει το λιγότερη ευκρίνεια στην ακτινογραφία ή, εναλλακτικά, θα επιτρέψει τις πιο σύντομες αποστάσεις πηγή-ταινιών και τις πιο σύντομες εκθέσεις.

Οι πηγές Gamma-ray χάνουν βαθμιαία τη δραστηριότητα με το χρόνο, το ποσοστό μείωσης της δραστηριότητας ανάλογα με το είδος ραδιενεργού υλικού (βλ. τον πίνακα II). Παραδείγματος χάριν, η ένταση της ακτινοβολίας από ένα κοβάλτιο 60 πηγή μειώνεται σε μισή της αρχική αξία σε περίπου 5 έτη και αυτό ενός ιριδίου 192 πηγή, σε περίπου 70 ημέρες. Εκτός από την περίπτωση του ραδίου, αυτή η μείωση στην εκπομπή απαιτεί τη συχνή αναθεώρηση των εκθέσεων και την αντικατάσταση των πηγών.



## Πίνακας Π - ραδιενεργά υλικά που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανική ακτινογραφία

Ραδιενεργό στοιχείο	Ημιζωή	Ενέργεια των ακτίνων γάμμα (MeV)	Gamma-Ray ποσοστό δόσης (roentgens <sup>1</sup> ανά ώρα ανά κιουρί σε 1 μέτρο)
Θούλιο 170	127 ημέρες	0,084 και 0,542 <sup>2</sup>	~
Ιρίδιο 192	70 ημέρες	<b>0,137 έως 0,651</b> <sup>3</sup>	<b>0.55</b>
Καίσιο 137	33 έτη	<b>0.66</b>	<b>0.39</b>
<b>Κοβάλτιο 60</b>	5,3 έτη	1.17 και 1.33	1.35

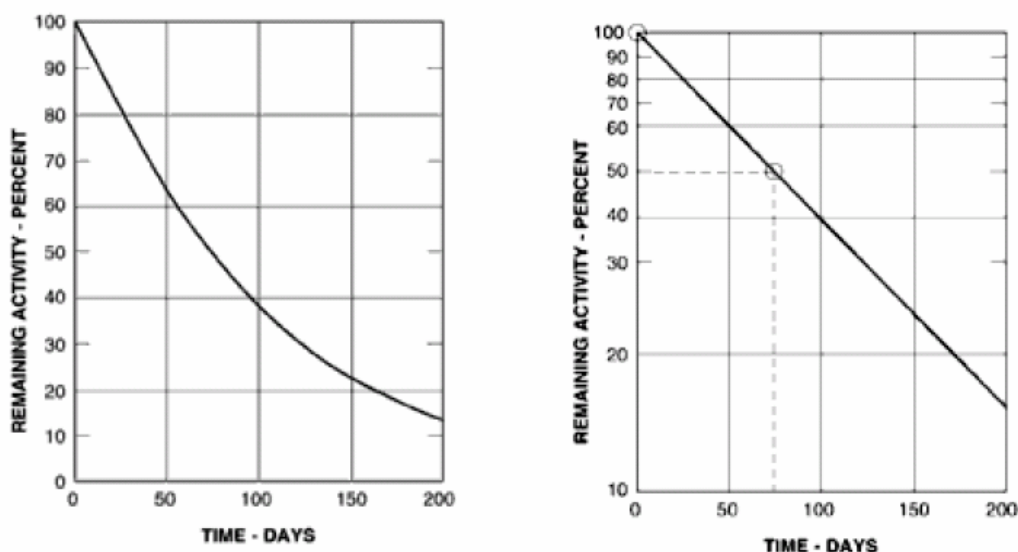
<sup>1</sup>Roentgen (R) είναι μια ειδική μονάδα για το X - και gamma-ray έκθεση (ιονισμός του αέρα): 1 roentgen = 2,58 X. 10<sup>-4</sup> Coulomb ανά χιλιόγραμμα (Ckg<sup>-1</sup>). (Η διεθνής Επιτροπή στις μονάδες και τις μετρήσεις ακτινοβολίας [ ICRU ] συστήνει ότι roentgen αντικαθίσταται βαθμιαία από τη μονάδα Si [ Ckg<sup>-1</sup> ] από περίπου 1985.)

<sup>2</sup> Αυτές οι ακτίνες γάμμα συνοδεύονται από ένα άλλοτε έντονο και άλλοτε ασθενές 'υπόβαθρο' πολύ σκληρότερης ακτινοβολία. Το ποσοστό της σκληρής ακτινοβολίας εξαρτάται από τη χημική φύση και το φυσικό μέγεθος της πηγή.

<sup>3</sup> Δώδεκα ακτίνες γάμμα.

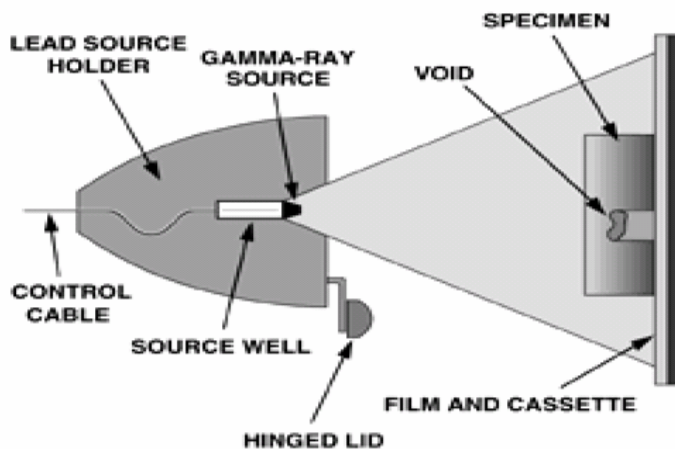
Οι υπολογισμοί έκθεσης που απαιτούνται από τη βαθμιαία μείωση στην παραγωγή ακτινοβολίας μιας gamma-ray πηγής μπορούν να διευκολυνθούν με την χρήση των καμπυλών αποσύνθεσης παρόμοιων με εκείνους για το Ιρίδιο 192 που παρουσιάζεται στο σχήμα 9. Οι καμπύλες περιέχουν τις ίδιες πληροφορίες, η μόνη διαφορά που είναι ότι η καμπύλη στο αριστερό παρουσιάζει τη δραστηριότητα σε μια λογαριθμική κλίμακα, και την καμπύλη στο δεξιό, σε μια γραμμική κλίμακα. Ο τύπος που παρουσιάζεται στο δεξιά είναι ευκολότερος να σχεδιαστεί. Εντοπίστε το σημείο X, στη διατομή της ημιζωής του ισοτόπου (οριζόντια κλίμακα) και της "50 τοις εκατό που παραμένουν γραμμής δραστηριότητα" (κάθετη κλίμακα). Κατόπιν σύρετε μια ευθεία γραμμή από το "μηδέν χρόνος, 100 τοις εκατό σημείο Y δραστηριότητας" μέσω του σημείου X.

**Σχήμα 9: Καμπύλες αποσύνθεσης για το ιρίδιο 192. Δεξιά: Γραμμική κλίμακα. Αριστερά: Λογαριθμική κλίμακα.**



Είναι δύσκολο να δοθούν οι συγκεκριμένες συστάσεις σχετικά με τις επιλογές gamma-ray του εκπομπού και της δύναμης πηγής (σχήμα 10). Αυτές οι επιλογές θα εξαρτηθούν από διάφορους παράγοντες, μεταξύ των οποίων είναι ο τύπος δείγματος που ακτινογραφούνται, επιτρεπόμενου χρόνου έκθεσης, προστατευτικών μέτρων εγκαταστάσεων αποθήκευσης που απαιτούνται, και ευκολίας της αντικατάστασης πηγής. Οι τιμές που δίνονται στον πίνακα III για την πρακτική εφαρμογή προορίζονται επομένως μόνο ως πρόχειρος οδηγός και ειδικότερα η περίπτωση θα εξαρτηθεί από το μέγεθος της χρησιμοποιούσας πηγής και τις απαιτήσεις της λειτουργίας.

**Σχήμα 10: Χαρακτηριστική βιομηχανική gamma-ray ρύθμιση. Gamma-ray πηγή σε συνδυασμό "φωτογραφική μηχανή" και "δοχείο αποθήκευσης".**



### Πίνακας III - βιομηχανικές gamma-Ray πηγές και οι αιτήσεις τους

Πηγή	Εφαρμογές και κατά προσέγγιση πρακτικά όρια πάχους
Θούλιο 170	Πλαστικά, ξύλινα, ελαφριά κράματα. 0,5 ίντσα - χάλυβας ή αντιστοιχο.
Ιρίδιο 192	0,5 σε 2,5 ίντσες - χάλυβας ή αντιστοιχο .
Καίσιο 137	1 σε 3,5 ίντσες - χάλυβας ή αντιστοιχο .
Κοβάλτιο 60	2,5 σε 9 ίντσες - χάλυβας ή αντιστοιχο .

Ο ατομικός αριθμός ενός στοιχείου είναι ο αριθμός πρωτονίων στον πυρήνα του ατόμου, και είναι ίσος με τον αριθμό ηλεκτρονίων έξω από τον πυρήνα. Στον περιοδικό πίνακα τα στοιχεία τακτοποιούνται κατά σειρά με τον αυξανόμενο ατομικό αριθμό. Το υδρογόνο έχει έναν ατομικό αριθμό 1 σίδηρος, 26 χαλκός, 29 βολφράμιο, 74 και μόλυβδος 82.

Τα πλεονεκτήματα των πηγών ακτίνων γάμμα περιλαμβάνουν τη φορητότητα και τη δυνατότητα να διαπεραστούν τα παχιά υλικά σε σύντομο χρονικό διάστημα σχετικότητας. Όπως μπορεί να σημειωθεί ανωτέρω το κοβάλτιο θα παραγάγει τις ενέργειες συγκρίσιμες με ένα σύστημα των ακτίνων X 1,25 MeV. Το ιρίδιο θα παραγάγει τις ενέργειες συγκρίσιμες με ένα σύστημα των ακτίνων X 460 kV. Μην απαιτώντας τις ηλεκτρικές πηγές η ακτινογραφία γάμμα προσαρμόζεται καλά για τη χρήση στις απομακρυσμένες θέσεις.

Τα μειονεκτήματα περιλαμβάνουν τις απαιτήσεις προστατευτικών καλυμμάτων και τις εκτιμήσεις ασφάλειας. Το μειωμένο ουράνιο χρησιμοποιείται ως υλικό προστατευτικών καλυμμάτων για τις πηγές. Το “δοχείο αποθήκευσης” (φωτογραφική μηχανή) για τις πηγές ιριδίου περιέχει 45 λίβρες των υλικών προστατευτικών καλυμμάτων. Το κοβάλτιο θα απαιτήσει 500 λίβρες του προστατευτικού καλύμματος. Οι φωτογραφικές μηχανές κοβαλτίου καθορίζονται συχνά σε ένα ρυμουλκό και μεταφέρονται σε και από τις περιοχές επιθεώρησης. Το ιρίδιο χρησιμοποιείται όποτε είναι δυνατόν, και μερικές βιομηχανίες οπού μπορούν χρησιμοποιούν το υλικό πηγής μια πηγή κοβαλτίου. Τα υλικά πηγής παράγουν συνεχώς την ακτινοβολία αυξημένης διεξόδου και σε σύντομο χρονικό διάστημα η ιδιαίτερη ζημία μπορεί να γίνει στον ανθρώπινο ιστό . Οι τεχνικοί πρέπει να εκπαιδευθούν στους πιθανούς κινδύνους που συνδέεται με τη χρήση της ακτινογραφίας γάμμα.

#### Ραδιο ισότοπο - μισή ζωή Th232: 1.40Λ10 Έτη

Th220	Th221	Th222	Th223	Th224	Th225	Th226	Th227	Th228	Th229	Th230	Th231	Th232	Th233	Th234	Th235	Th236
Ac219	Ac220	Ac221	Ac222	Ac223	Ac224	Ac225	Ac226	Ac227	Ac228	Ac229	Ac230	Ac231	Ac232			
Ra218	Ra219	Ra220	Ra221	Ra222	Ra223	Ra224	Ra225	Ra226	Ra227	Ra228	Ra229	Ra230				
Fr217	Fr218	Fr219	Fr220	Fr221	Fr222	Fr223	Fr224	Fr225	Fr226	Fr227	Fr228	Fr229				
Rn216	Rn217	Rn218	Rn219	Rn220	Rn221	Rn222	Rn223	Rn224	Rn225	Rn226						
130	132	134	136	138	140											

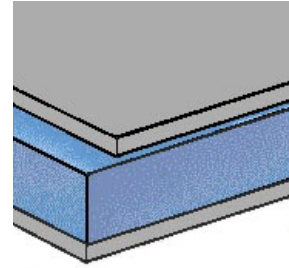
#### Ραδιο ισότοπο - μισή ζωή Ir192: 73.830 Ημέρες

Hg187	Hg188	Hg189	Hg190	Hg191	Hg192	Hg193	Hg194	Hg195	Hg196	Hg197	Hg198	Hg199	Hg200	Hg201	Hg202	Hg203	Hg204	Hg205
Au186	Au187	Au188	Au189	Au190	Au191	Au192	Au193	Au194	Au195	Au196	Au197	Au198	Au199	Au200	Au201	Au202	Au203	Au204
Pt185	Pt186	Pt187	Pt188	Pt189	Pt190	Pt191	Pt192	Pt193	Pt194	Pt195	Pt196	Pt197	Pt198	Pt199	Pt200	Pt201		
Ir184	Ir185	Ir186	Ir187	Ir188	Ir189	Ir190	Ir191	Ir192	Ir193	Ir194	Ir195	Ir196	Ir197	Ir198				
Os183	Os184	Os185	Os186	Os187	Os188	Os189	Os190	Os191	Os192	Os193	Os194	Os195	Os196					
Re182	Re183	Re184	Re185	Re186	Re187	Re188	Re189	Re190	Re191	Re192								
108	110	112	114	116														

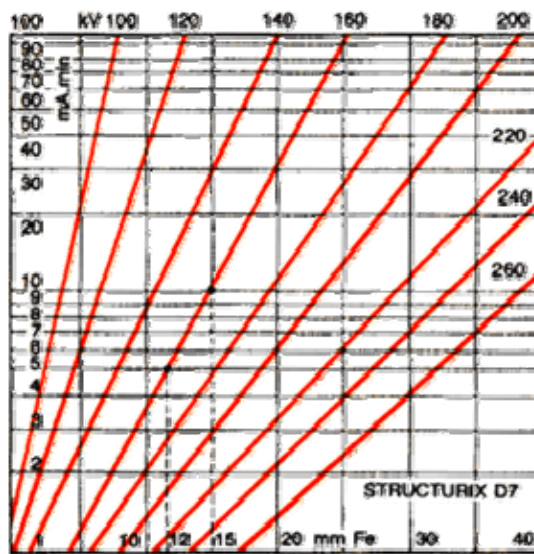


### 3. ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

#### **Ακτινογραφική ταινία (ΦΙΛΜ)**



Οι ταινίες των ακτίνων X για τη γενική ακτινογραφία αποτελούνται από γαλάκτωμα-ζελατίνη που περιέχει ένα ευαίσθητο ασημί ακτινοβολίας αλογονίδιο και μια εύκαμπτη, διαφανή, μπλε-βαμμένη βάση. Το γαλάκτωμα είναι διαφορετικό από εκείνο που χρησιμοποιούνται σε άλλους τύπους ταινιών φωτογραφίας για να αποτελέσουν τα ευδιάκριτα χαρακτηριστικά των ακτίνων γάμμα και των ακτίνων X, αλλά οι των ακτίνων X ταινίες είναι ευαίσθητες στο φως. Συνήθως, το γαλάκτωμα είναι ντυμένο και στις δύο πλευρές της βάσης στα στρώματα για 0.0005 της ίντσας. Η τοποθέτηση του γαλακτώματος και στις δύο πλευρές της βάσης διπλασιάζει το ποσό ράδιο-ευαισθησίας του ασημένιου αλογονιδίου, και αυξάνει έτσι την ταχύτητα ταινιών. Τα στρώματα γαλακτώματος είναι αρκετά λεπτά έτσι να αναπτυχθούν, καθορισμός, και η ξήρανση μπορεί να ολοκληρωθεί σε έναν λογικό χρόνο. Μερικές από τις ταινίες που χρησιμοποιούνται για την ακτινογραφία έχουν μόνο το γαλάκτωμα σε μια πλευρά που παράγει τη μέγιστη λεπτομέρεια στην εικόνα. Όταν οι ακτίνες X, οι ακτίνες γάμμα, ή το φως χτυπούν τις ίνες του ευαίσθητου ασημένιου αλογονιδίου στο γαλάκτωμα, μια αλλαγή πραγματοποιείται στη φυσική δομή των ινών. Αυτή η αλλαγή είναι μιας τέτοιας φύσης που δεν είναι ανιχνεύσιμη με τις συνηθισμένες φυσικές μεθόδους. Εντούτοις, όταν αντιμετωπίζεται η εκτεθειμένη ταινία με μια χημική λύση, μια αντίδραση πραγματοποιείται, προκαλώντας το σχηματισμό του μαύρου, μεταλλικού ασημιού. Είναι αυτό το ασημί, που αναστέλλεται στη ζελατίνη και στις δύο πλευρές της βάσης, η οποία δημιουργεί μια εικόνα.



## Επιλογή ταινιών

Η επιλογή μιας ταινίας κατά την ακτινογραφία οποιουδήποτε ιδιαίτερου συστατικού εξαρτάται από ποικίλους διαφορετικούς παράγοντες. Παρακάτω αναφέρονται μερικοί από τους παράγοντες που πρέπει να εξεταστούν όταν επιλέγεται μια ταινία και ανάπτυξη μιας ακτινογραφικής τεχνικής.

1. η σύνθεση, η μορφή, και το μέγεθος του εξεταζομένου υλικού και, σε μερικές περιπτώσεις, του βάρους και της θέσης του.
2. ο τύπος της χρησιμοποιούμενης ακτινοβολίας, είτε ακτίνες X από γεννήτρια ακτίνων X είτε ακτίνες γάμμα από μια ραδιενεργό πηγή.
3. από τα kilovoltages που είναι διαθέσιμα από τον εξοπλισμό των ακτίνων X ή την ένταση της ακτινοβολίας γάμμα.
4. η ανάλογη σημασία της υψηλής ακτινογραφικής λεπτομέρειας ή γρήγορα και τα οικονομικά αποτελέσματα.



Photo Courtesy of AGFA-Gevaert Group

Η επιλογή της κατάλληλης ταινίας και η ανάπτυξη της βέλτιστης ακτινογραφικής τεχνικής περιλαμβάνουν συνήθως την άφιξη σε μια ισορροπία μεταξύ διάφορων αντιτιθέμενων παραγόντων. Παραδείγματος χάριν, εάν η

ευαισθησία υψηλής ανάλυσης και αντίθεσης είναι γενικής σπουδαιότητας, μια πιο αργή και ως εκ τούτου λεπτότερη κοκκιώδης ταινία πρέπει να χρησιμοποιηθεί αντί μιας γρηγορότερης ταινίας.

## Συσκευασία ταινιών

Η ακτινογραφική ταινία μπορεί να αγοραστεί σε ποικίλες διαφορετικές προαιρετικές δυνατότητες συσκευασίας. Η πιο βασική μορφή είναι ως μεμονωμένα φύλλα σε ένα κιβώτιο. Σε προετοιμασία για τη χρήση, κάθε φύλλο πρέπει να φορτωθεί σε έναν κάτοχο κασετών ή ταινιών στο σκοτεινό θάλαμο για να το προστατεύσει από την έκθεση στο φως. Το φύλλο είναι διαθέσιμο σε ποικίλα μεγέθη και μπορεί να αγοραστεί με ή χωρίς παρεμβολή λευκών σελίδων του εγγράφου. Οι συσκευασίες έχουν ένα στρώμα του εγγράφου που χωρίζει κάθε κομμάτι της ταινίας. Το έγγραφο παρεμβολής λευκών σελίδων αφαιρείται προτού να φορτωθεί η ταινία στον κάτοχο ταινιών. Πολλοί χρήστες βρίσκουν το έγγραφο παρεμβολής λευκών σελίδων χρήσιμο στο χωρισμό των φύλλων της ταινίας και προσφέρουν κάποια προστασία ενάντια στις γρατσουνιές και το ρύπο κατά τη διάρκεια του χειρισμού.

Οι βιομηχανικές ταινίες των ακτίνων X είναι επίσης διαθέσιμες σε μια μορφή στην οποία κάθε φύλλο εσωκλείεται σε έναν πολύ λεπτό (light-tight) φάκελο. Η ταινία μπορεί να εκτεθεί από καθεμία πλευρά χωρίς αφαίρεση του από την προστατευτική συσκευασία. Ένα απλό τράβηγμα λωρίδας το καθιστά εύκολο την αφαίρεση της ταινία στο σκοτεινό θάλαμο για την επεξεργασία. Αυτή η μορφή της συσκευασίας έχει το πλεονέκτημα τη διαδικασία στους χειριστές ταινιών στο σκοτεινό θάλαμο. Η ταινία προστατεύεται εντελώς από τους βαθμούς δάχτυλων και το ρύπο μέχρι το χρόνο που η ταινία αφαιρείται από το φάκελο για την επεξεργασία.

Η συσκευασμένη ταινία είναι επίσης διαθέσιμη σε ρόλο, το οποίο επιτρέπει στο ραδιογράφο για να κόψει την ταινία σε οποιοδήποτε μήκος. Οι άκρες της συσκευασίας σφραγίζονται με την ηλεκτρική ταινία στο σκοτεινό θάλαμο. Στις εφαρμογές όπως η ακτινογραφία των περιφερειακών συγκολλήσεων και η εξέταση των μακρικών συγκολλήσεων σε μια άτρακτο αεροσκαφών, τα μακροχρόνια μήκη της ταινίας προσφέρουν το μεγάλο οικονομικό πλεονέκτημα. Η ταινία είναι τυλιγμένη από έξω από ελεγχόμενο αντικείμενο και η πηγή ακτινοβολίας τοποθετείται στον άξονα επιτρέποντας την εξέταση μιας μεγάλης περιοχής με μια ενιαία έκθεση.

Η συσκευασμένη ταινία μπορεί να αγοραστεί με “συνοδεία” δύο οθονών οξειδίων μολύβδου που καλύπτουν την κάθε πλευρά της ταινίας . Οι οθόνες λειτουργούν για να μειώσουν την ακτινοβολία διασποράς ενεργειακά σε επίπεδα κάτω από 150kV και ως οθόνες ενδυνάμωσης επάνω από 150 kV.

### **Χειρισμός ταινιών**

Η ταινία των ακτίνων X πρέπει πάντα να αντιμετωπιστεί προσεκτικά για να αποφύγει τις φυσικές πιέσεις, όπως η πίεση, να ζαρώσει, το κούμπωμα, η τριβή, κ.λπ. Όποτε οι ταινίες συσκευάζονται σε ευέλικτες θήκες και οι εξωτερικές συσκευές στερέωσης χρησιμοποιούνται, προσοχή πρέπει να ληφθεί για να είναι σίγουρη ότι η πίεση είναι ομοιόμορφη. Εάν ένας κάτοχος ταινιών στοιβάξει μεγάλη ποσότητα ταινιών τότε η πίεση μπορεί να είναι αρκετά μεγάλη να παραγάγει τις απευαισθητοποιημένες περιοχές στην ακτινογραφία. Αυτή η προφύλαξη είναι ιδιαίτερα σημαντική κατά χρησιμοποίηση των συσκευασιών ταινιών.

Σημάδια ως αποτέλεσμα της επαφής με τα δάχτυλα που είναι υγρά ή μολυσμένα με τις χημικές ουσίες επεξεργασίας, αποφεύγονται εάν οι μεγάλες ταινίες πιάνονται πάντα από τις άκρες και επιτρέπονται για να κρεμάσουν ελεύθερο. Ένας ανεφοδιασμός των καθαρών πετσετών πρέπει να είναι κρατημένος στενός προσιτός ως κίνητρο για να ξεράνει τα χέρια συχνά και καλά. Η χρήση των συσκευασμένων ταινιών αποφεύγει πολλών από αυτά τα προβλήματα έως ότου ανοίγεται ο φάκελος για την επεξεργασία.

Μια άλλη σημαντική προφύλαξη είναι να αφαιρείτε η ταινία γρήγορα από τα χαρτοκιβώτια, τους κατόχους έκθεσης, ή τις κασέτες. Τέτοια προσοχή θα βοηθήσει να αποβάλει τα κυκλικά ή με μορφή δέντρου μαύρα σημάδια στην ακτινογραφία που οδηγούν μερικές φορές λόγω των στατικών ηλεκτρικών απαλλαγών.

## 4.ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ(ΦΙΛΜ)

Η ληφθείσα εικόνα που παράγεται από την έκθεση στις ακτίνες X ή γ γίνεται ορατή με ένα διάλυμα εμφάνισης, που προσδίδει μαύρο χρώμα στους κόκκους του εκτεθέντος αργύρου.

Η πυκνότητα της αμαύρωσης ( blackening ) του φιλμ είναι ευθέως ανάλογη προς το χρόνο, σκληρότητα και ένταση της δέσμης των ακτινών X, που προσπίπτει στο φιλμ.

Οι λιγότερο εκτεθέντες ή μη εκτεθέντες κόκκοι δεν επηρεάζονται από τον εμφανιστή και διατηρούν μια κίτρινο – πράσινη εμφάνιση.

Επειδή ο εμφανιστής είναι αλκαλικό υγρό και ο στερεωτής ( fixer ) όξινο, χρησιμοποιείται λουτρό εμβάπτισης ενδιάμεσο ( stop bath ) για να προστατευθεί η διάρκεια ζωής του στερεωτή ( διάλυμα οξικού οξέως )

Μετά την εμβάπτιση στο ενδιάμεσο διάλυμα ( stop bath ) το φιλμ στερεώνεται. Αυτό σημαίνει ότι οι εκτεθείσες σκοτεινές περιοχές του φιλμ, δεν επηρεάζονται από τον στερεωτή αλλά, οι μη εκτεθείσες ανοιχτό πράσινες περιοχές καθαρίζονται αφήνοντας λιγότερες πυκνές ή διαφανείς περιοχές του φιλμ.

Μετά τη διαδικασία εμφάνισης, απαιτείται προσεκτικό πλύσιμο ώστε να απομακρυνθούν όλα τα ίχνη των χημικών που χρησιμοποιήθηκαν στη διαδικασία εμφάνισης.

Η επίδραση του εμφανιστή στους κόκκους του Αλογόνου του αργύρου εξασθενεί τον εμφανιστή, πράγμα που κάνει αναγκαία την αναπλήρωσή του σε τακτικά διαστήματα, ανάλογα με τη συχνότητα χρήσης του εμφανιστή.

Η χρήση προεκτεθέντων λωρίδων φιλμ βοηθά να προσδιορισθεί τότε απαιτείται αλλαγή του διαλύματος.

Η πυκνότητα του φιλμ μετά την εμφάνιση δείχνει το αδυνάτισμα του διαλύματος του εμφανιστή.

Ένα διάγραμμα ποιοτικού έλεγχου πρέπει να είναι διαθέσιμο, σε όλους τους σκοτεινούς θαλάμους, ακόμη και όταν χρησιμοποιούνται αυτόματοι εμφανιστές.

Τα χημικά που χρησιμοποιούνται στη διαδικασία είναι :

1. α) εμφανιστικά  
β) επιταχυντές  
γ) συντηρητικά  
δ) αναχαιτιστές
2. α) Λουτρά ανακοπής εμφάνισης ( Stop bath )  
β) Στερεωτικά  
γ) Καθαριστικά ( λουτρό έκπλυσης )  
δ) Ξηραντικά.

### ΣΦΑΛΛΑΜΑΤΑ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΦΙΛΜ ΑΚΤΙΝΩΝ – X

1. Λευκά σημάδια από πίεση. Μπορούν να προκληθούν από πίεση ή αναδίπλωση του φιλμ πριν από την έκθεση. Συναντώνται ευκολότερα στα μεγάλα φιλμ και λιγότερο στα μικρά.
2. Μαύρα σημάδια από πίεση. Πίεση ή αναδίπλωση του φιλμ μετά την έκθεση και πριν από την Επεξεργασία προκαλεί μερικές φορές σημάδια που μετά την εμφάνιση φαίνονται σαν περιοχές με μεγάλη πυκνότητα ( Μαύρα σημάδια )



3. Ρωγμές, χαραγές και κηλίδες στις Ενισχυτικές πλάκες. Κατά την εκπομπή του Φώτος φθορισμού από τις πλάκες υπάρχει κίνδυνος αποτύπωσης αυτών στο φιλμ σαν περιοχές αυξημένης πυκνότητας.
4. Τυπωμένο χαρτί μεταξύ πλάκας και φιλμ κατά την έκθεση. Κάθε ουσία ή υλικό ( π. χ. ένα φύλλο χαρτιού ) μεταξύ της πλάκας και του φιλμ απορροφά το φως που εκπέμπεται από την πλάκα. Στο ραδιογράφημα το φως της πλάκας απορροφάται από τα μαύρα γράμματα ενώ διήλθε μερικώς μέσω του χαρτιού.
5. σημάδια από λιπαρά δάχτυλα πριν από την Επεξεργασία. Εάν πιάσουμε το φιλμ με τα δάχτυλα πριν από την εμφάνιση, ο εμφανιστής θα διεισδύσει δυσκολότερα στις λιπαρές περιοχές και αυτές θα υπό – εμφανισθούν και θα φαίνονται ανοιχτές ( όχι μαύρες ) περιοχές στο ραδιογράφημα.
6. Προηγούμενη έκθεση σε ακτίνες – X. Θολές εικόνες ή και εικόνες διαφορετικές από αυτές του αντικειμένου που ραδιογραφείται μπορεί να προκύψουν εάν το φιλμ εκτεθεί κατά λάθος σε ακτίνες – X.  
Συμβαίνει μερικές φορές τα φιλμ να βρίσκονται κοντά σε πηγές ακτινών X ή γ και να υφίστανται διάφορες εκθέσεις που αλλοιώνουν την εικόνα.
7. Δικτύωμα. Πρόκειται για δικτυωτή εικόνα που προκαλείται στο φιλμ από τη θερμοκρασιακή διάφορα μεταξύ των διάφορων διαλυμάτων ( εμφάνισης, στερέωσης, έκπλυσης ). Η σοβαρή δικτύωση φανερώνει ανώμαλη επιφάνεια γαλακτώματος. Συχνά, εμφανίζεται σαν “κοκκώδεις” υπό τον μεγεθυντικό φακό.
8. Έκθεση σε μη κανονικό φως ασφάλειας προκαλεί θολότητα εικόνας. Οι λάμπες ασφάλειας πρέπει να ελέγχονται περιοδικά ώστε να διασφαλίζεται ότι δεν εκπέμπουν φως που μπορεί να προσβάλλει το φιλμ, μέρος του οποίου προστατεύεται από μαύρο χαρτί για ένα λεπτό σε απόσταση 1m από το φως. Είναι ένα απλό τεστ, θολότητα στην εκτεθείσα περιοχή του φιλμ δείχνει μη ασφαλή φωτισμό.
9. Πιτσιλίσματα εμφανιστη, πριν από την έναρξη εμφάνισης ολόκληρου του φιλμ. Πιτσιλίσματα εμφανιστή σ’ ένα εκτεθέν φιλμ προκαλούν τοπική εμφάνιση και τα σημεία αυτά θα φαίνονται σκοτεινότερα ( μεγαλύτερη πυκνότητα ) μετά την εμφάνιση ολόκληρου του φιλμ.
10. Σταγόνες νερού σε ξηρό φιλμ και λανθασμένη έκθεση σε φως πριν από την επεξεργασία. Εάν πέσει νερό σε ξηρό φιλμ μετά την έκθεση, συνίσταται η εμβάπτιση ολόκληρου του φιλμ στο νερό, για ομοιόμορφη διαβροχή, αλλιώς στα σημεία που έπεσε νερό θα έχουμε αδύνατες εικόνες. Εάν δε το φιλμ εκτεθεί σε λευκό φως ενώ έχει σταγόνες νερού τότε αυτές λειτουργούν σαν φακοί και προκαλούν την τοπική προσβολή του φιλμ.
11. Πιτσιλίσματα στερεωτή πριν από την εμφάνιση του φιλμ. Προκαλούν Λευκά σημεία στο φιλμ. Ο εκτεθείς και μη βρωμιούχος άργυρος διαλύεται από το στερεωτικό διάλυμα και στα σημεία αυτά δεν έχουμε εικόνα.
12. Ανάγωση του αργύρου από μεταλλικά ρινίσματα που κατά λάθος εισήλθαν στον εμφανιστη. Μεταλλικές σκόνες ή ρινίσματα, δεν πρέπει να εισχωρήσουν στον εμφανιστη, γιατί προκαλούν καθίζηση του αργύρου κατά την εμφάνιση.
13. Ανομοιόμορφη εμφάνιση. Εάν τα φιλμ εμφανίζονται σε δοχείο ( λουτρό ), που δεν αναδεύεται επαρκώς, έχουμε Ανομοιόμορφη εμφάνιση.

Ηλιασμός ( Solarisation ). Παρατεταμένη έκθεση σε ελαττωματικό φως ασφάλειας κατά την εμφάνιση προκαλεί μερικές φορές αντιστροφή των τόνων της εικόνας.

## Ερμηνεία ακτινογραφιών - συγκολλήσεις

Εκτός από την παραγωγή της υψηλής ποιότητας ακτινογραφίες, ο ραδιογράφος πρέπει επίσης να είναι ειδικευμένος στην ακτινογραφική ερμηνεία. Η ερμηνεία των ακτινογραφιών πραγματοποιείται σε τρία βασικά βήματα που είναι (1) **ανίχνευση**, (2) **ερμηνεία**, και (3) **αξιολόγηση**. Όλα αυτά τα βήματα χρησιμοποιούν την οπτική οξύτητα του ραδιογράφου. Η δυνατότητα ενός ατόμου να ανιχνεύσει τις ασυνέχειες στην ακτινογραφία επηρεάζεται επίσης από τον όρο φωτισμού σε ισχύ της όψης, και το επίπεδο εμπειρίας για την αναγνώριση των διάφορων χαρακτηριστικών γνωρισμάτων στην εικόνα. Το ακόλουθο υλικό αναπτύχθηκε για να βοηθήσει τους επίδοξους ραδιογράφους να αναπτύξουν μια κατανόηση των τύπων ατελειών που βρέθηκαν σε συγκολλήσεις και πώς εμφανίζονται σε μια ακτινογραφία.

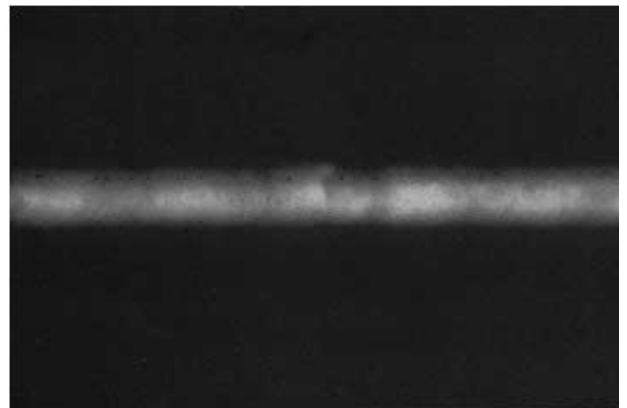
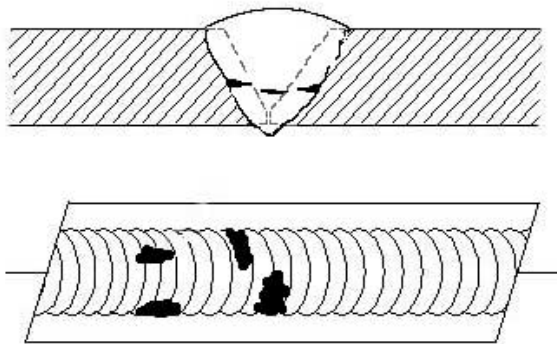
### Ασυνέχειες

Οι ασυνέχειες είναι διακοπές στη χαρακτηριστική δομή ενός υλικού. Αυτές οι διακοπές μπορούν να εμφανιστούν στο μέταλλο βάσεων, να ενώσουν στενά το υλικό ή τις "πληγείσες από τη θερμότητα" ζώνες.

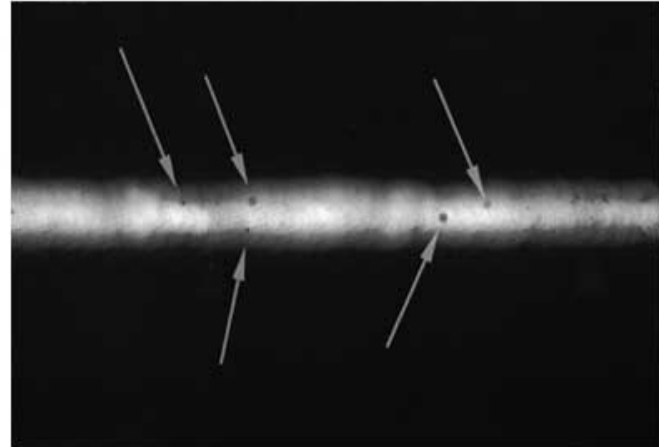
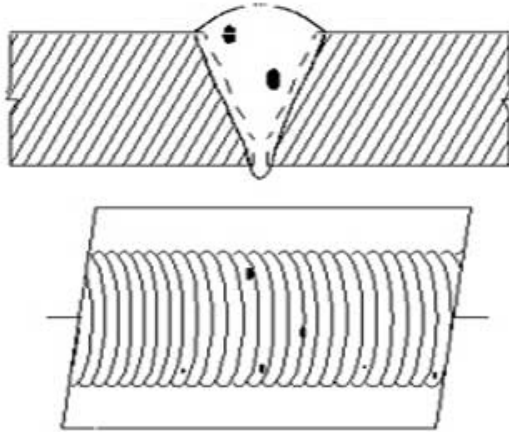
### Γενικές ασυνέχειες συγκόλλησης

Οι ακόλουθες ασυνέχειες είναι χαρακτηριστικές όλων των τύπων συγκολλήσεων.

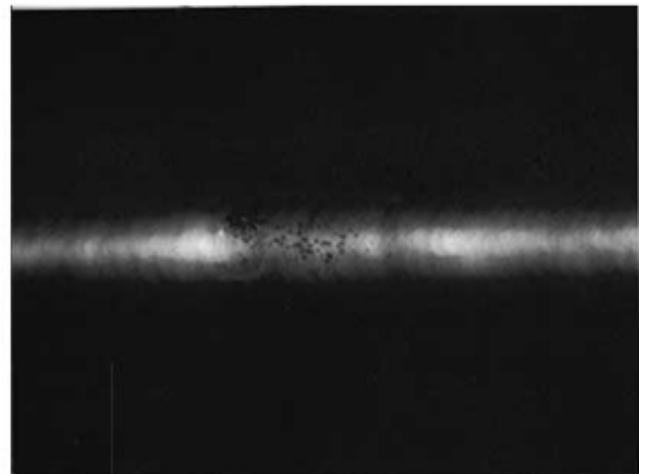
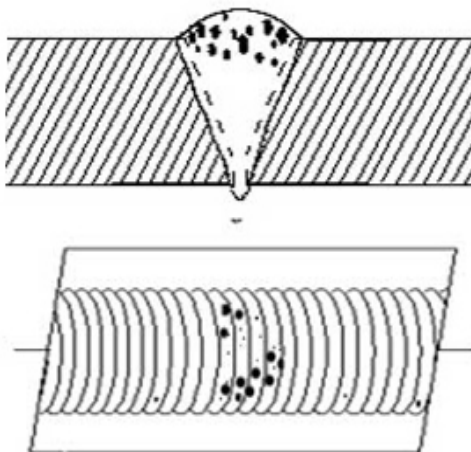
Η **κρύα περιτύλιξη** είναι ένας όρος όπου το μέταλλο υλικών πληρώσεως συγκόλλησης(συγκολλητικό υλικό) δεν λιώνει κατάλληλα με το μέταλλο βάσεων ή το προηγούμενο υλικό περασμάτων συγκόλλησης (interpass κρύα περιτύλιξη). Το τόξο δεν λειώνει το μέταλλο βάσεων αρκετά καλά και αναγκάζει την ελαφρώς λειωμένη λακκούβα για να ρεύσει στο υλικό βάσεων χωρίς σύνδεση.



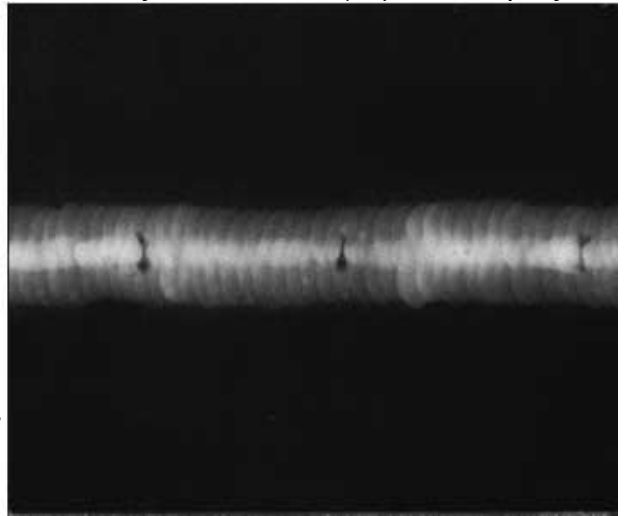
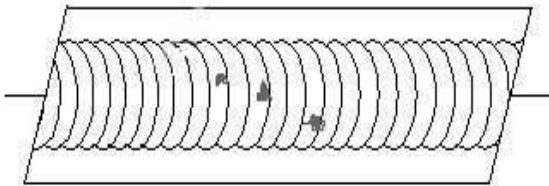
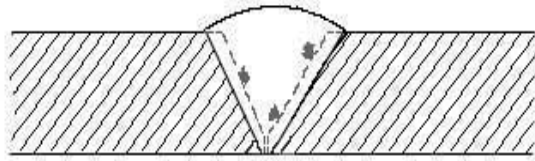
**Οι πόροι** είναι το αποτέλεσμα της παγίδευσης αερίου στο συγκολλητικό μέταλλο. Οι πόροι μπορούν να πάρουν πολλές μορφές σε μια ακτινογραφία αλλά συχνά εμφανίζεται ως σκοτεινά στρογγυλά ή ανώμαλα σημεία ή σημάδια που εμφανίζονται εξαιρετικά, στους τομείς ή τις σειρές. Μερικές φορές οι πόροι είναι επιμηκυμένοι και μπορεί να έχει την εμφάνιση της κατοχής μιας ουράς που αυτό είναι το αποτέλεσμα του αερίου που προσπαθεί να δραπετεύσει ενώ το μέταλλο είναι ακόμα σε μια υγρή κατάσταση και καλείται wormhole πορώδες. Όλο οι πόροι είναι ένα κενό στο υλικό που θα έχει μια ακτινογραφική πυκνότητα περισσότερο από την περιβάλλουσα περιοχή.



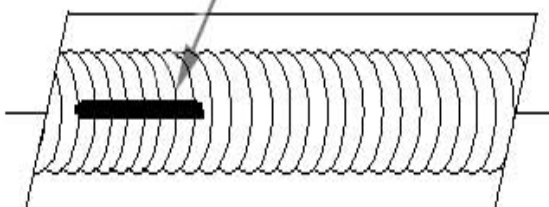
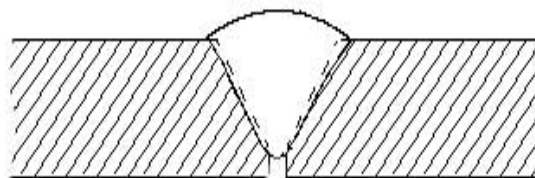
**Το πορώδες τομέων (Cluster porosity)** προκαλείται όταν “μολύνονται” τα ηλεκτρόδια με την υγρασία. Η υγρασία μετατρέπεται σε αέρια όταν θερμαίνονται και παγιδεύεται στη συγκόλληση κατά τη διάρκεια της διαδικασίας συγκόλλησης. Το πορώδες τομέων εμφανίζεται ακριβώς όπως το κανονικό πορώδες στην ακτινογραφία αλλά οι ενδείξεις θα συγκεντρωθούν κοντά.



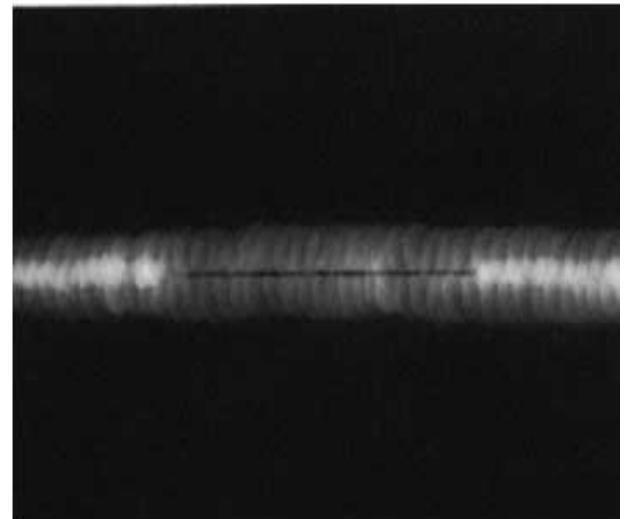
**Οι συνυπολογισμοί σκουριάς** είναι μη μεταλλικό στερεό υλικό που παγιδεύεται στο μέταλλο συγκόλλησης ή μεταξύ της συγκόλλησης και του μετάλλου βάσεων. Σε μια ακτινογραφία, οι σκοτεινές, οδοντωτές ασύμμετρες μορφές μέσα στη συγκόλληση ή κατά μήκος των κοινών περιοχών συγκόλλησης είναι ενδεικτικές των συνυπολογισμών σκουριάς.



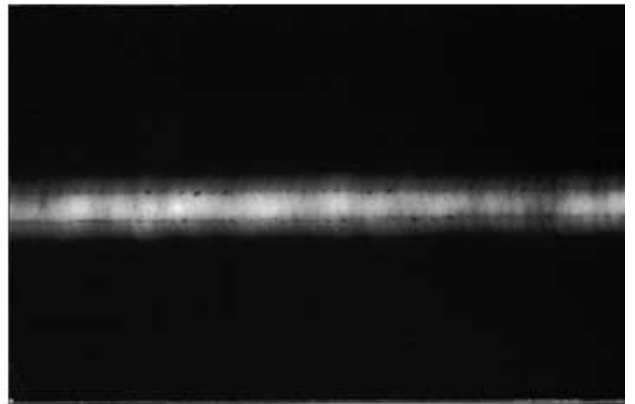
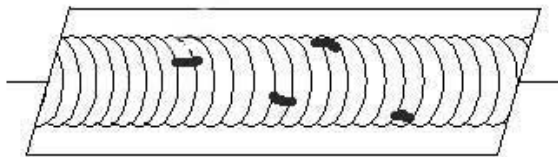
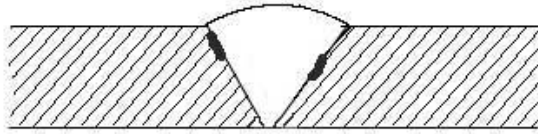
**Η ελλιπής διείσδυση {Incomplete penetration (IP)} ή η έλλειψη διείσδυσης {lack of penetration (LOP)}** εμφανίζεται όταν αποτυγχάνει να διαπεράσει το μέταλλο συγκόλλησης την ένωση. Είναι μια από τις πιο απαράδεκτες ασυνέχειες συγκόλλησης. Επιτρέπει μια φυσική μετώπη πίεσης από την οποία μια ρωγμή μπορεί να δημιουργηθεί σπάσιμο. Η εμφάνιση σε μια ακτινογραφία είναι μια σκοτεινή περιοχή με τις καθορισμένες με σαφήνεια, ευθείες άκρες που ακολουθεί το πρόσωπο εδάφους ή ρίζας κάτω από το κέντρο της συγκόλλησης.



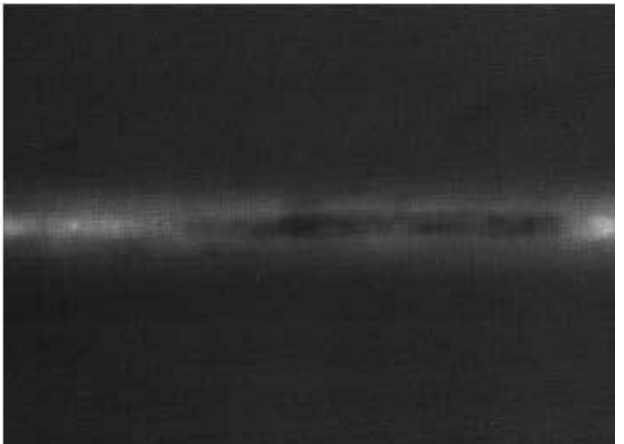
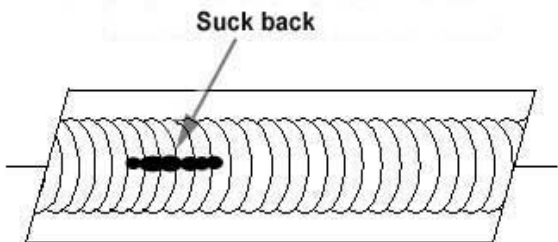
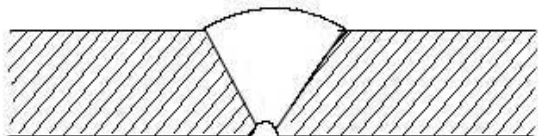
Inadequate or Lack of Penetration



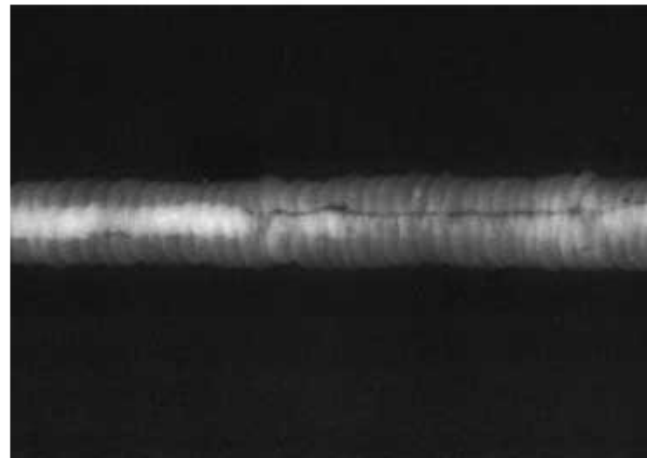
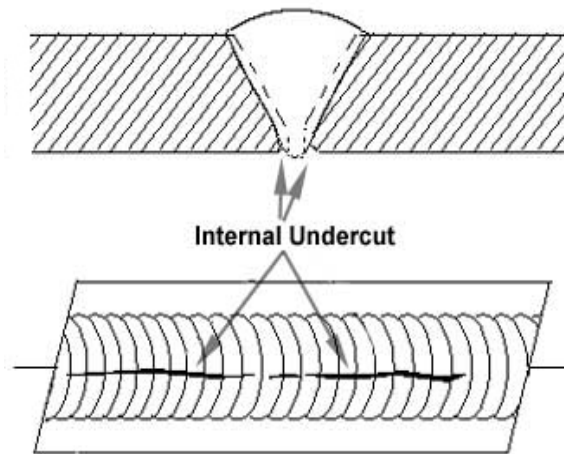
**Η ελλιπής τήξη** είναι ένας όρος όπου το μέταλλο συγκόλλησης δεν λιώνει κατάλληλα με το μέταλλο βάσεων. Εμφάνιση στην ακτινογραφία: συνήθως εμφανίζεται ως σκοτεινή γραμμή ή γραμμές που προσανατολίζεται στην κατεύθυνση της ραφής συγκόλλησης κατά μήκος της περιοχής προετοιμασιών ή ένωσης συγκόλλησης.



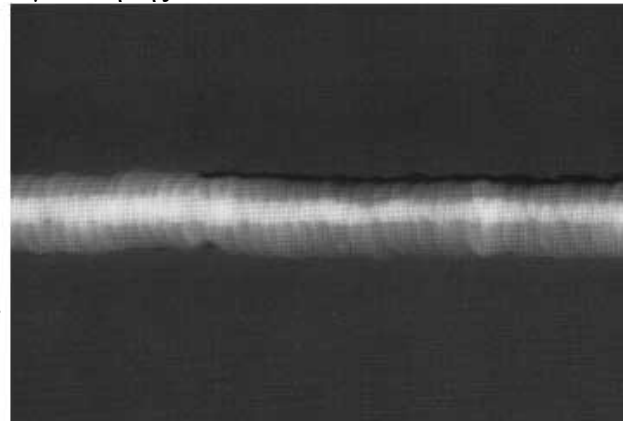
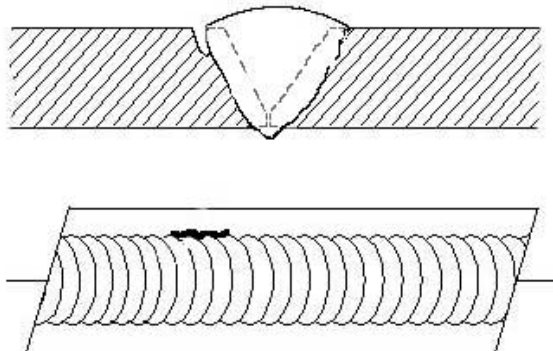
**Εσωτερικό κοίλωμα ή απορρόφηση πίσω(Suck Back)** είναι όρος όπου το μέταλλο συγκόλλησης έχει “μαζευτεί” καθώς ψύχετε και έχει “τραβήξει επάνω” στη ρίζα της συγκόλλησης. Σε μια ακτινογραφία φαίνεται παρόμοιο με την έλλειψη διείσδυσης αλλά η γραμμή έχει τις ανώμαλες άκρες και είναι συχνά αρκετά ευρύ στο κέντρο της εικόνας συγκόλλησης.



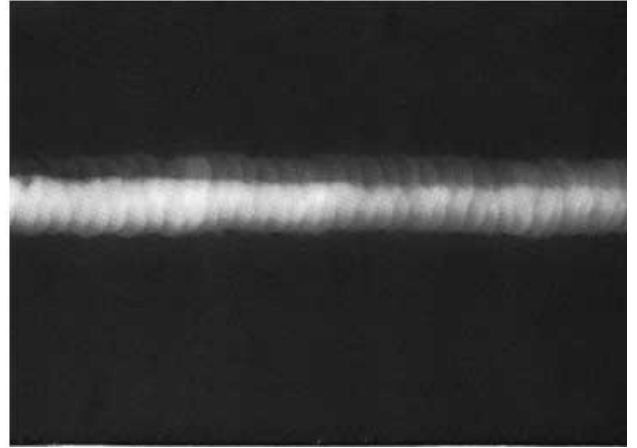
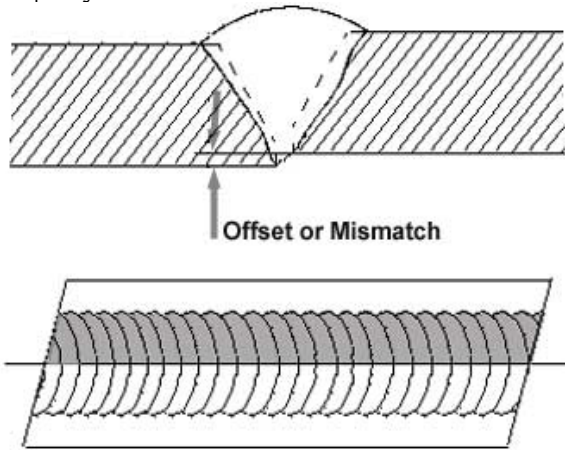
**Το εσωτερικό ή χτύπημα ρίζας (Internal Undercut)** είναι μια διάβρωση του μετάλλου βάσεων δίπλα στη ρίζα της συγκόλλησης. Στην ακτινογραφική εικόνα εμφανίζεται ως σκοτεινή ανώμαλη γραμμή που αντισταθμίζεται από την κεντρική γραμμή συγκόλλησης. Η γραμμή δεν είναι τόσο ευθεία όσο η LOP επειδή δεν ακολουθεί μια επίπεδη άκρη.



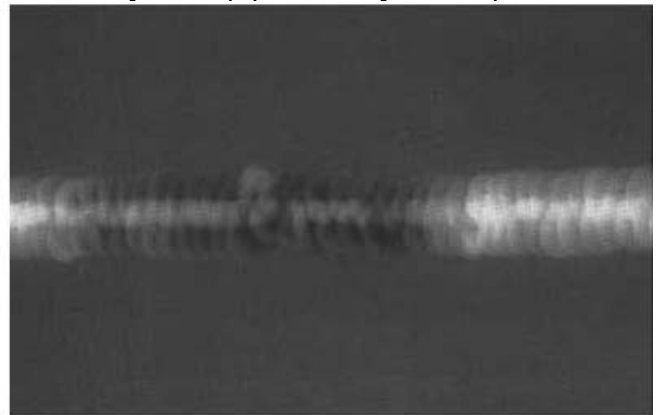
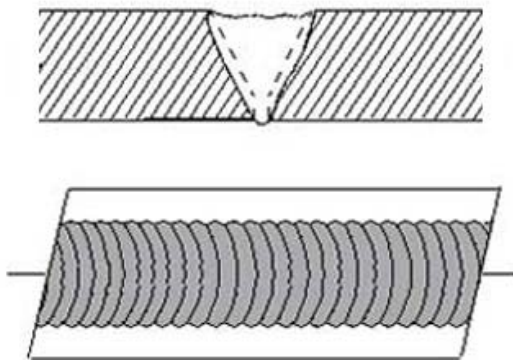
**Το εξωτερικό ή χτύπημα κορυφής** είναι μια διάβρωση του μετάλλου βάσεων δίπλα στην κορυφή της συγκόλλησης. Στην ακτινογραφία, εμφανίζεται ως σκοτεινή ανώμαλη γραμμή κατά μήκος της εξωτερικής άκρης της περιοχής συγκόλλησης.



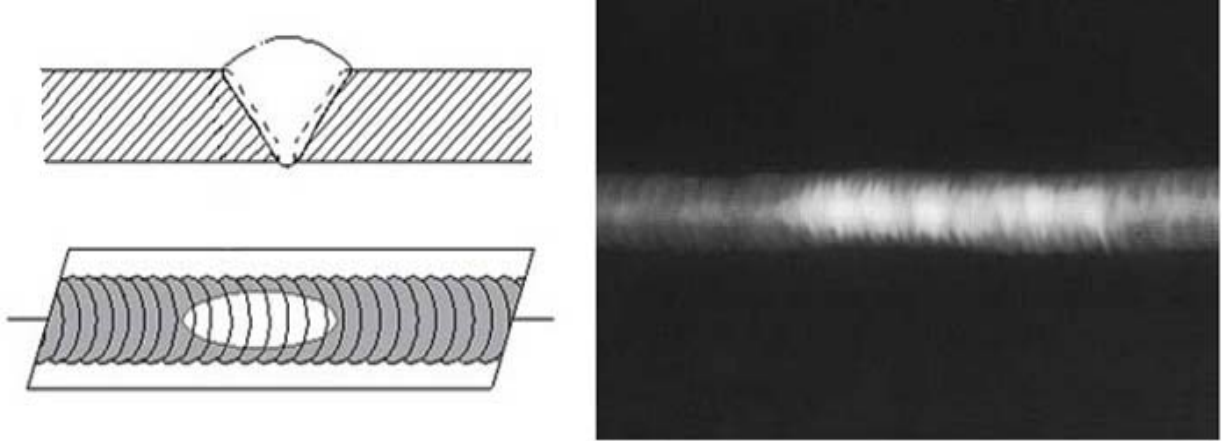
**Το όφσεντ ή ο κακός συνδυασμός** είναι όροι που συνδέονται με έναν όρο όπου δύο κομμάτια που ενώνονται στενά μαζί δεν ευθυγραμμίζονται κατάλληλα. Η ακτινογραφική εικόνα είναι μια αξιοπρόσεχτη διαφορά στην πυκνότητα μεταξύ των δύο κομματιών. Η διαφορά στην πυκνότητα προκαλείται από τη διαφορά στο υλικό πάχος. Η σκοτεινή, ευθεία γραμμή προκαλείται από την αποτυχία του μετάλλου συγκόλλησης να λιώσει με την περιοχή εδάφους.



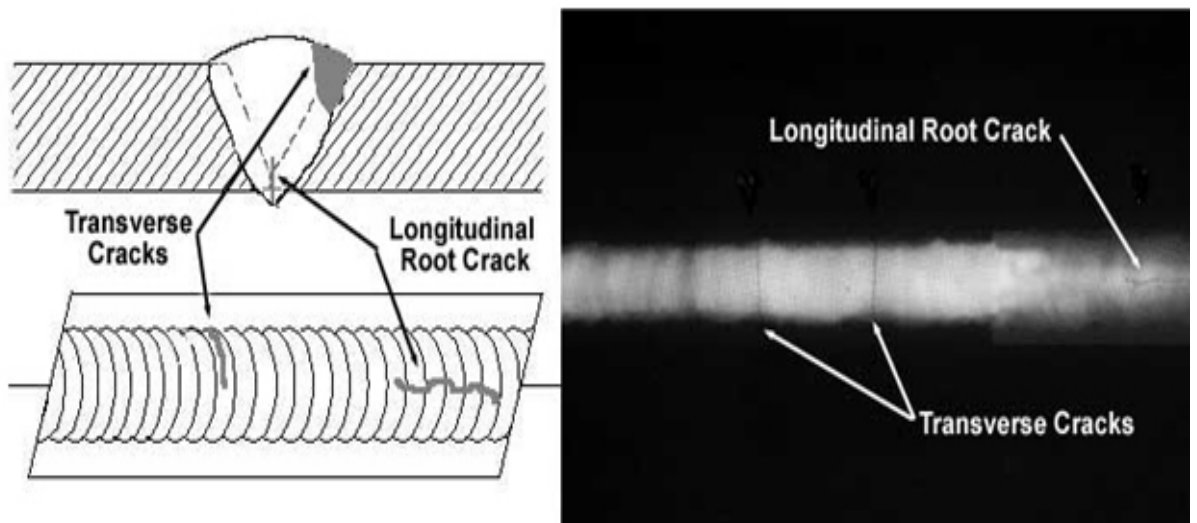
**Η ανεπαρκής ενίσχυση συγκόλλησης** είναι ένας τομέας μιας συγκόλλησης όπου το πάχος του μέταλλο συγκόλλησης είναι λιγότερο από το πάχος του υλικού βάσεων. Είναι πολύ εύκολο να καθοριστεί από την ακτινογραφία εάν η συγκόλληση έχει την ανεπαρκή ενίσχυση, επειδή η πυκνότητα εικόνας στον τομέα της πιθανής ανεπάρκειας θα είναι περισσότερη (σκοτεινότερη) από την πυκνότητα εικόνας του περιβάλλοντος υλικού βάσεων.



**Η υπερβολική ενίσχυση συγκόλλησης** είναι ένας τομέας μιας συγκόλλησης που προσθέτει το μέταλλο συγκόλλησης παραπάνω από αυτό που προσδιορίζεται από τα σχέδια και τους κώδικες εφαρμοσμένης μηχανικής. Η εμφάνιση σε μια ακτινογραφία είναι μια εντοπισμένη, ελαφρύτερη περιοχή στη συγκόλληση. Μια οπτική επιθεώρηση θα καθορίσει εύκολα εάν η ενίσχυση συγκόλλησης είναι αυτή που προσδιορίζεται παραπάνω από τις απαιτήσεις εφαρμοσμένης μηχανικής.



**Οι ρωγμές** μπορούν να ανιχνευθούν σε μια ακτινογραφία μόνο όταν διαδίδουν σε μια κατεύθυνση που παράγει μια αλλαγή στο πάχος που είναι παράλληλο στην ακτίνα των ακτίνων X. Οι ρωγμές θα εμφανιστούν ως οδοντωτές και συχνά πολύ εξασθενημένες ανώμαλες γραμμές. Οι ρωγμές μπορούν μερικές φορές να εμφανιστούν ως "ουρές" στους πόρους .

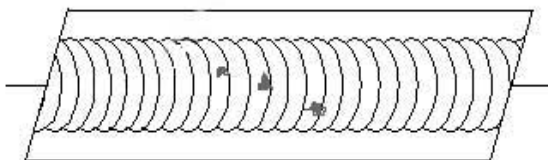




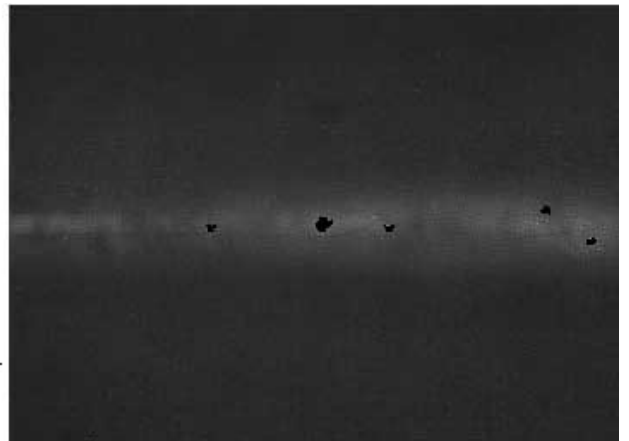
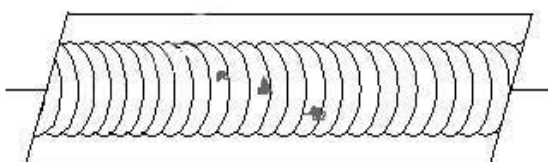
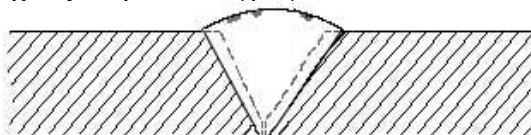
### Ασυνέχειες στις συγκολλήσεις TIG

Οι ακόλουθες ασυνέχειες είναι ιδιαίτερες στη διαδικασία συγκόλλησης TIG. Αυτές οι ασυνέχειες εμφανίζονται στα περισσότερα μέταλλα αναγομωμένα με τη διαδικασία συμπεριλαμβανομένου του αργιλίου και των ανοξειδωτων χαλύβων. Η tig μέθοδος συγκόλλησης παράγει μια καθαρή ομοιογενή συγκόλληση που όταν ακτινογραφείται ερμηνεύεται εύκολα.

**Συνυπολογισμοί βολφραμίου.** Το βολφράμιο είναι ένα εύθραυστο και έμφυτο πυκνό υλικό που χρησιμοποιείται στο ηλεκτρόδιο στη συγκόλληση αδρανούς αερίου βολφραμίου. Εάν χρησιμοποιούνται ανάρμοστες διαδικασίες συγκόλλησης, το βολφράμιο μπορεί να παγιδευτεί στη συγκόλληση. Ραδιογραφικά, το βολφράμιο είναι πυκνότερο από το αλουμίνιο ή το χάλυβα επομένως, εμφανίζει ως φωτεινότερη περιοχή σε μια ακτινογραφία.



**Οι συνυπολογισμοί οξειδίων** είναι συνήθως ορατοί στην επιφάνεια του ένωσης του υλικού (ειδικά στο αλουμίνιο). Οι συνυπολογισμοί οξειδίων είναι λιγότερο πυκνοί από τα περιβάλλοντα υλικά και, επομένως, εμφανίζονται ως σκοτεινές ακανόνιστα διαμορφωμένες ασυνέχειες στην ακτινογραφία.

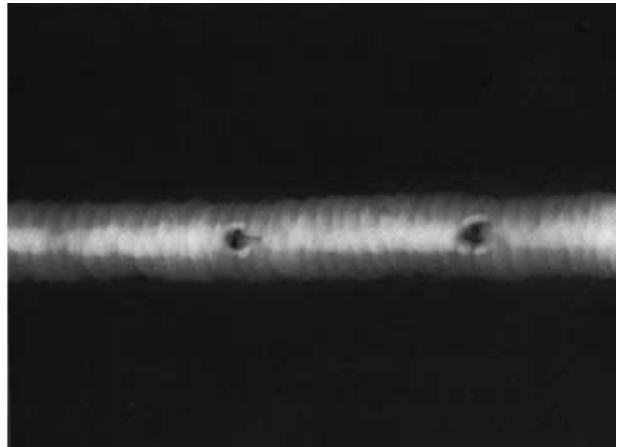
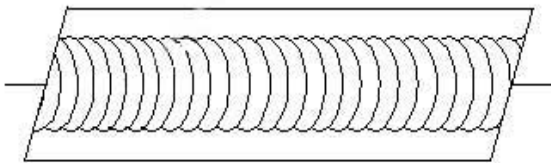
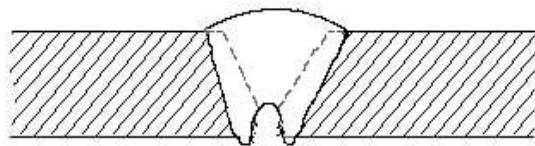


## Ασυνέχειες στις συγκολλήσεις τόξων μετάλλων αερίου ή **Discontinuities in Gas Metal Arc Welds (GMAW)**

Οι ακόλουθες ασυνέχειες συνηθέστερα βρίσκονται στις συγκολλήσεις GMAW.

Τα “**μουστάκια**” είναι σύντομα μήκη του καλωδίου ηλεκτροδίων συγκόλλησης, ορατά στην κορυφή ή στην κάτω επιφάνεια της συγκόλλησης ή μέσα στη συγκόλληση. Σε μια ακτινογραφία εμφανίζονται ως κυκλικό φως.

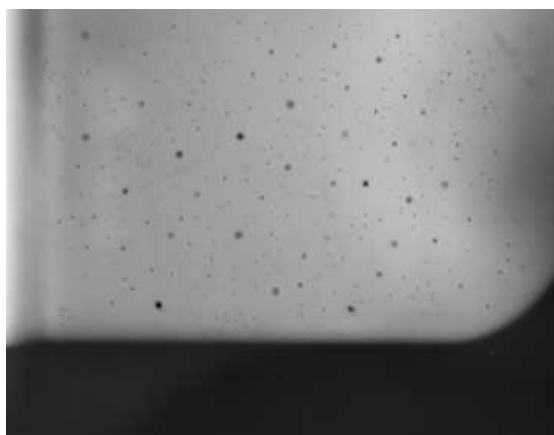
Το αποτέλεσμα της **πλήρης καύσης (Burn-Through)** αναγκάζει η αυξημένη θερμότητα το υπερβολικό μέταλλο συγκόλλησης για να διαπεράσει τη ζώνη συγκόλλησης. Η σφαιρικότητα στο κάτω μέρος της συγκόλλησης, δημιουργεί έναν παχύ κομμάτι του μετάλλου να κρέμονται μέσω συγκόλλησης συχνά. Αυτά τα σταγονίδια του μετάλλου αναφέρονται ως “παγάκια”(icicles). Σε μια ακτινογραφία, το σφάλμα εμφανίζεται κατευθείαν ως σκοτεινά σημεία, συχνά από ελαφριές σφαιρικές περιοχές τις οποία περιβάλλονται (παγάκια).



## Ερμηνεία ακτινογραφιών - χυτεύσεων

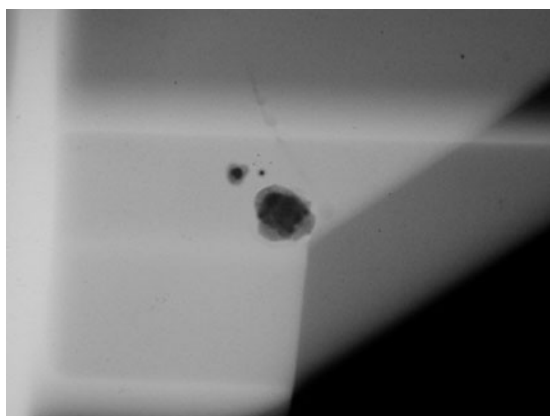
Ο σημαντικότερος στόχος της ακτινογραφικής δοκιμής της χύτευσης είναι η κοινοποίηση των ατελειών που έχουν επιπτώσεις στην ισχύ του προϊόντος. Η χύτευση είναι μια μορφή προϊόντων που λαμβάνει συχνά την ακτινογραφική επιθεώρηση δεδομένου ότι πολλές από τις ατέλειες που παράγονται με τη διαδικασία χύτευσης είναι ογκομετρικής φύσης και, επομένως, σχετικά εύκολο να ανιχνευθούν με αυτήν την μέθοδο. Αυτές οι ασυνέχειες φυσικά, συσχετίζονται με τις ανεπάρκειες διαδικασίας χύτευσης, οι οποίες, εάν κατανοούνται πλήρως, μπορούν να οδηγήσουν στις ακριβείς αποφάσεις αποδοχής ή απόρριψης καθώς επίσης και στα κατάλληλα διορθωτικά μέτρα. Δεδομένου ότι οι διαφορετικοί τύποι και τα μεγέθη των ατελειών έχουν τα διαφορετικά αποτελέσματα της απόδοσης της χύτευσης, είναι σημαντικό ότι ο ραδιογράφος είναι σε θέση να προσδιορίσει τον τύπο και το μέγεθος των ατελειών. ASTM-E155, πρότυπα για τις ακτινογραφίες των ριψεων έχει παραχθεί για να βοηθήσει το ραδιογράφο να κάνει μια καλύτερη αξιολόγηση των ατέλειες συστατικών. Οι χύτευσεις που χρησιμοποιούνται για να παραγάγουν τις πρότυπες ακτινογραφίες έχουν αναλυθεί καταστροφικά για να επιβεβαιώσουν το μέγεθος και τον τύπο ασυνεχειών παρουσιών. Τα ακόλουθα είναι μια συνοπτική περιγραφή των πιο κοινών τύπων ασυνέχειας που περιλαμβάνονται στα υπάρχοντα έγγραφα ακτινογραφιών αναφοράς (στους βαθμολογημένους τύπους ή ως ενιαίες απεικονίσεις).

### ΑΚΤΙΝΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΕΝΔΕΙΞΕΙΣ ΓΙΑ ΤΙΣ ΡΙΨΕΙΣ



Οι τρύπες πορώδους ή χτυπήματος αερίου(εικόνα αριστερά) προκαλούνται στον αέρα από συσσωρευμένο αέριο ή που παγιδεύονται από το μέταλλο. Αυτές οι ασυνέχειες είναι συνήθως ομαλές-περιτοιχισμένες στρογγυλεμένες κοιλότητες μιας σφαιρικής, επιμηκυμένης ή ισιωμένης μορφής. Εάν διαρροή δεν είναι αρκετά ισχυρή να παρέχει την απαραίτητη μεταφορά θερμότητας που απαιτείται για να αναγκάσει το αέριο ή τον αέρα από τη φόρμα, το αέριο ή ο αέρας θα παγιδευτεί ως λειωμένο μέταλλο αρχίζει να σταθεροποιεί. Τα

σφάλματα αυτά μπορούν επίσης να προκληθούν από την άμμο που είναι πάρα πολύ λεπτή, πάρα πολύ υγρός, ή από την άμμο που έχει μια χαμηλή διαπερατότητα έτσι ώστε το αέριο δεν μπορεί να δραπετεύσει. Μια πάρα πολύ υψηλή περιεκτικότητα σε υγρασία στην άμμο το καθιστά δύσκολο να φέρει τις υπερβολικές τιμές των υδρατμών μακριά από τη χύτευση.

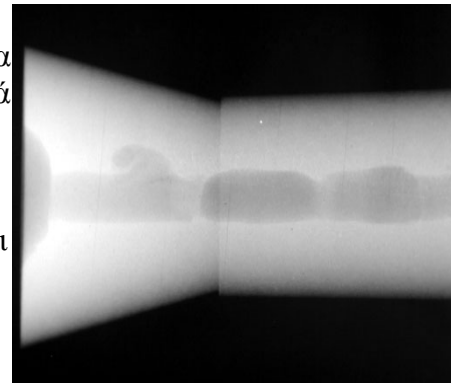


Οι συνυπολογισμοί σκωρίας και άμμου (εικόνα αριστερά) είναι μη μεταλλικά οξειδία, που εμφανίζονται στην ακτινογραφία όπως ανώμαλες, σκοτεινές κηλίδες. Αυτα προέρχονται από τις αποσυντεθειμένες μερίδες των τοίχων φορμών ή πυρήνων ή/και από τα οξειδία (που διαμορφώνονται στο λειωμένο μέταλλο) που δεν έχουν απομακρυνθεί πριν από την εισαγωγή του μετάλλου στα καλούπια. Ο προσεκτικός έλεγχος του λειωμένου μετάλλου, του κατάλληλου χρόνου εκμετάλλευσης στην “κουτάλα”(δοχείο ρευστοποίησης υλικού) και

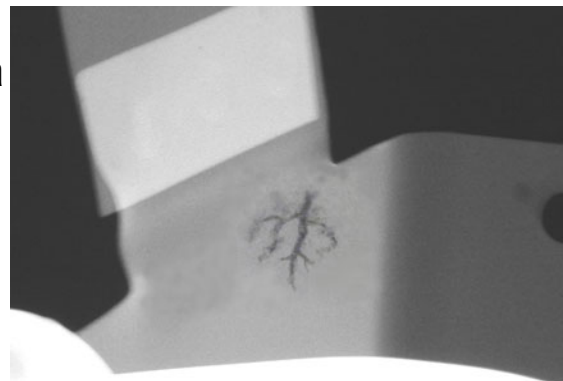
του καθαρισμού της επιφάνειας του λειωμένου μετάλλου κατά τη διάρκεια της έκχυσης θα ελαχιστοποιήσει ή θα προλάβει αυτήν την πηγή προβλήματος.

**Η συρρίκνωση** είναι μια μορφή της ασυνέχειας που εμφανίζεται ως σκοτεινά σημεία στην ακτινογραφία. Η συρρίκνωση υποθέτει τις διάφορες μορφές αλλά σε όλες τις περιπτώσεις εμφανίζεται επειδή το λειωμένο μέταλλο στενεύει καθώς σταθεροποιεί, σε όλες τις μερίδες της τελικής ρίψης. Η συρρίκνωση αποφεύγεται με να σιγουρευτεί ότι η ένταση της ρίψης ταυτίζεται επαρκώς από τις μετώπες που διατηρούν σε χαμηλά επίπεδα τη συρρίκνωση. Η συρρίκνωση μπορεί να αναγνωριστεί σε διάφορο χαρακτηριστικό από τις ποικίλες εμφανίσεις στις ακτινογραφίες. Υπάρχουν τουλάχιστον τέσσερις τύποι: (α) **κοιλότητα** (β) **δενδρικός** (γ) **νηματοειδής** και (δ) **τύποι σφουγγαριών**. Μερικά έγγραφα υποδεικνύουν αυτούς τους τύπους από τους αριθμούς, χωρίς πραγματικά ονόματα, για να αποφύγουν την πιθανή παρανόηση.

**α) Η συρρίκνωση κοιλοτήτων (Cavity shrinkage)** (εικόνα δεξιά) εμφανίζεται ως περιοχές με τα ευδιάκριτα οδοντωτά όρια. Μπορεί να παραχθεί όταν σταθεροποιεί το μέταλλο μεταξύ δύο αρχικών ρευμάτων του λειωμένου μετάλλου, που προέρχεται από τις αντίθετες κατευθύνσεις να ενώσει ένα κοινό μέτωπο. Η συρρίκνωση κοιλοτήτων εμφανίζεται συνήθως σε μία εποχή που έχει φθάσει σχεδόν το λειωμένο μέταλλο στη θερμοκρασία στερεοποίησης και δεν υπάρχει καμία πηγή συμπληρωματικού υγρού για να γεμίσει τις πιθανές κοιλότητες.

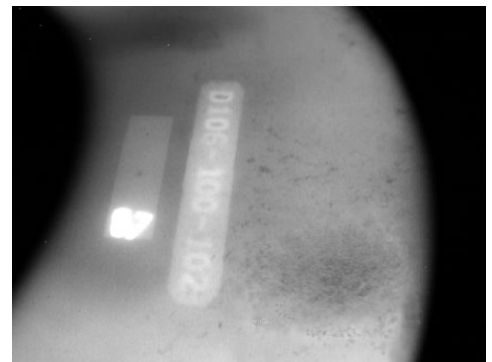


**β) Η δενδρική συρρίκνωση** (εικόνα δεξιά) είναι μια διανομή των πολύ λεπτών γραμμών ή των μικρών επιμηκυμένων κοιλοτήτων που μπορούν να ποικίλουν στην πυκνότητα και είναι συνήθως αποσυνδεδεμένη.



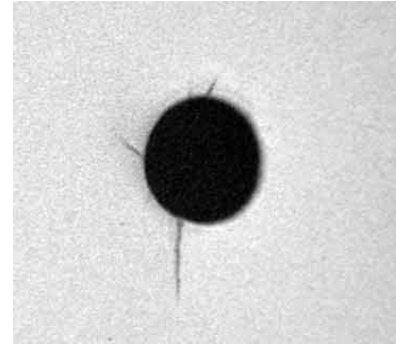
**γ) Η συρρίκνωση νηματοειδής** εμφανίζεται συνήθως ως συνεχής δομή των συνδεδεμένων γραμμών ή των κλάδων του μεταβλητού μήκους, του πλάτους και της πυκνότητας, ή περιστασιακά ως δίκτυο.

**δ) Η συρρίκνωση σφουγγαριών** (εικόνα δεξιά) εμφανίζεται ως τομείς της δαντελωτής σύστασης με τα διάχυτα περιγράμματα, γενικά προς τα μέσα του πάχους των βαρύτερων τμημάτων. Η συρρίκνωση σφουγγαριών μπορεί να είναι δενδρική ή νηματοειδής συρρίκνωση. Η νηματοειδής συρρίκνωση σφουγγαριών εμφανίζεται θολωμένη επειδή προβάλλεται μέσω του σχετικά παχιού επιστρώματος μεταξύ των ατελειών και της επιφάνειας ταινιών.

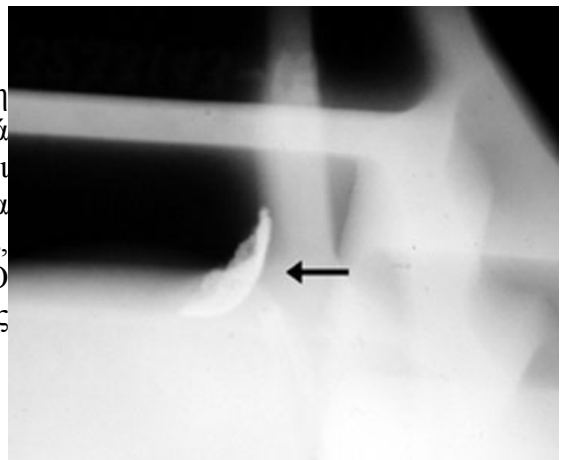


**Οι ρωγμές** (εικόνα δεξιά) είναι λεπτά (ευθύς ή οδοντωτός) γραμμικά διατεθειμένες ασυνέχειες που εμφανίζονται αφότου έχει σταθεροποιηθεί το λειωμένο μέταλλο. Εμφανίζονται γενικά μεμονωμένα και δημιουργούνται στις επιφάνειες χυτεύσεις .

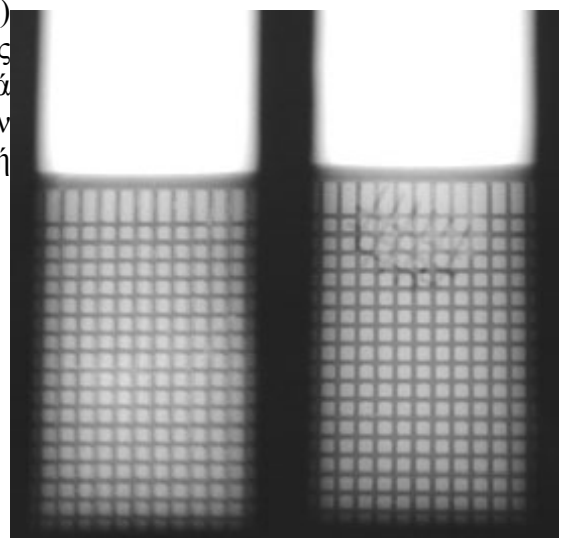
**Το Cold shuts** γενικά εμφανίζεται κοντά σε μια επιφάνεια του χυτού μετάλλου ως αποτέλεσμα της “σύγκρουσης” δύο ρευμάτων του λειωμένου μετάλλου και της αποτυχίας να ενώσει. Μπορούν να εμφανιστούν σε μια ακτινογραφία ως ρωγμές ή ραφές με τις ομαλές ή στρογγυλεμένες άκρες.



**Οι συνυπολογισμοί** (εικόνα δεξιά) είναι μη μεταλλικά υλικά σε μια υποθετικά στερεά μεταλλική μήτρα. Μπορούν να είναι λιγότεροι ή πυκνότεροι από το κράμα μητρών και θα εμφανιστούν στην ακτινογραφία, αντίστοιχα, ως σκοτεινότερες ή ελαφρύτερες ενδείξεις. Ο τελευταίος τύπος είναι πιο κοινός στις χυτεύσεις ελαφριών μετάλλων.



**Η μετατόπιση πυρήνων** (εικόνα δεξιά) εμφανίζεται ως παραλλαγή στο πάχος τμημάτων, συνήθως στις διαμετρικά ακτινογραφικές όψεις που αντιπροσωπεύουν χυτεύσεις που γίνονται με την φυγοκεντρική μέθοδο.



**Τα καυτά δάκρυα** είναι γραμμικά διατεθειμένες ενδείξεις που αντιπροσωπεύουν τα σπασίματα που διαμορφώνονται σε ένα μέταλλο κατά τη διάρκεια της στερεοποίησης λόγω της εμποδισμένης συστολής. Τα τελευταία μπορούν να εμφανιστούν λόγω των υπερβολικά σκληρών (απολύτως άκαμπτων) τοίχων φορμών ή πυρήνων. Η επίδραση των καυτών δακρύων, ως συγκέντρωση πίεσης, είναι παρόμοια με αυτήν μιας συνηθισμένης ρωγμής πώς τα δάκρυα είναι συνήθως συστηματικές ρωγμές.

Το “**Misruns**” εμφανίζεται στην ακτινογραφία ως προεξέχοντες πυκνοί τομείς των μεταβλητών διαστάσεων με μια καθορισμένη ομαλή επιφάνεια. Είναι συνήθως τυχαίοι σαν περιστατικό και αποβάλλονται δύσκολα από τα συγκεκριμένα διορθωτικά μέτρα στη διαδικασία.

Το “**Mottling**” είναι μια ακτινογραφική ένδειξη που εμφανίζεται ως δυσδιάκριτος τομέας των πυκνών εικόνων. Ο όρος είναι μια επίδραση διάθλασης που εμφανίζεται σχετικά σε ασαφή, ακτινογραφίες λεπτών τμημάτων, πιο συχνότερα με τον ανοξείδωτο χάλυβα. Το “**Mottling**” προκαλείται από την αλληλεπίδραση του υλικού ορίου ‘κοκκων’ του αντικειμένου με τις χαμηλής ενέργειας ακτίνες X (300 kV ή χαμηλότερος). Οι άπειροι ραδιογράφοι μπορούν ανακριβώς να θεωρήσουν ως ενδείξεις των απαράδεκτων ρωγμών ρίψεων. Ακόμη και οι πεπειραμένοι ραδιογράφοι πρέπει συχνά να ελέγξουν τον όρο από την επανάληψη της ακτινογραφία από τις ελαφρώς διαφορετικές γωνίες πηγή-ταινιών.

## **Ακτινογραφικές ενδείξεις για τις συγκολλήσεις επισκευής ρίψης**

Οι περισσότερες κοινές χυτεύσεις κραμάτων απαιτούν είτε στην αναβάθμιση από τους ελαττωματικούς όρους(ελαστικότητα, σκληρότητα, αντοχή, κτλ) είτε στην ένωση σε άλλα μέταλλα. Είναι κυρίως γι' αυτόν το λόγο που οι περισσότερες χυτεύσεις από αυτές εμφανίζουν τις πιο κοινές ατέλειες που αναφέρονται παρακάτω.

**Η σκουριά** είναι μη μεταλλικό στερεό υλικό που παγιδεύεται στο λειωμένο μέταλλο ή μεταξύ του λειωμένου υλικού και του μετάλλου βάσεων(καλούπι). Ραδιογραφικά, η σκουριά μπορεί να εμφανιστεί στις διάφορες μορφές, από τις μακροχρόνιες στενές ενδείξεις στις σύντομες ευρείες ενδείξεις, και στις διάφορες πυκνότητες, από γκριζα έως σε πολύ σκοτεινή περιοχή.

**Το πορώδες** είναι μια σειρά στρογγυλεμένων κυψέλων αερίου ή κενών στο λειωμένο μέταλλο, και είναι γενικά κυλινδρικό ή ελλειπτικό στη μορφή.

**Το 'χτύπημα'** είναι ένα αυλάκι στο μέταλλο βάσεων(καλούπι) στην άκρη χύτευσης και που αφήνεται ασυμπλήρωτο από το λειωμένο μέταλλο. Αντιπροσωπεύει μια συγκέντρωση πίεσης που πρέπει συχνά να διορθωθεί, και εμφανίζεται ως σκοτεινή ένδειξη στο κάτω άκρο μιας χύτευσης .

**Η ελλiptής διείσδυση**, όπως το όνομα υπονοεί, είναι μια έλλειψη διείσδυσης κράματος μέσω του πάχους της ένωσης (ή διείσδυσης που είναι λιγότερο από προσδιορισμένη). Βρίσκεται στο κέντρο του χυτού και είναι μια ευρεία, γραμμική ένδειξη.

**Η ελλiptής τήξη** είναι έλλειψη πλήρους τήξης μερικών τμημάτων του μετάλλου σε μια ένωση χυτών με το παρακείμενο μέταλλο είτε βάση είτε προηγούμενος εναποθετημένο άλλο μέταλλο. Σε μια ακτινογραφία, αυτό εμφανίζεται ως μακριά, αιχμηρή γραμμική ένδειξη, που εμφανίζεται στην κεντρική γραμμή της ένωσης συγκόλλησης ή στη γραμμή τήξης.

**Melt-through (Μέταλλο-μέσω)** είναι μια κυρτή ή κοίλη παρατυπία (στην επιφάνεια της υποστήριξης του δαχτυλιδιού, λουρίδα, λιωμένη ρίζα ή παρακείμενο μέταλλο βάσεων) ως αποτέλεσμα της πλήρους τήξης μιας εντοπισμένης περιοχής αλλά χωρίς ανάπτυξη μιας κενής ή ανοικτής τρύπας. Σε μια ακτινογραφία, Melt-through γενικά εμφανίζεται ως στρογγυλή ή ελλειπτική ένδειξη.

**Η πλήρης καύση** είναι μια κενή ή ανοικτή τρύπα σε ένα υποστηρίζοντας δαχτυλίδι, μια λουρίδα, μια λιωμένη ρίζα ή ένα παρακείμενο μέταλλο βάσεων.

**Το 'χτύπημα' του τόξου(Arc strike)** είναι μια ένδειξη από μια εντοπισμένη θερμοτητα-επηρεασθείσα ζώνη ή μια αλλαγή στο περίγραμμα επιφάνειας μιας τελειωμένης συγκόλλησης ή ενός παρακείμενου μετάλλου βάσεων. Τα 'χτυπήματα' αυτά προκαλούνται από τη θερμότητα που παράγεται όταν περνά η ηλεκτρική ενέργεια μεταξύ των επιφανειών του τελειωμένου μετάλλου συγκόλλησης ή βάσεων και της παρούσας πηγής.

**Spatter συγκόλλησης ('πιτσιλίσματα')** εμφανίζεται στο τόξο ή τη συγκόλληση αερίου ως μόρια μετάλλων που αποβάλλονται κατά τη διάρκεια της συγκόλλησης και που δεν αποτελούν μέρος της πραγματικής συγκόλλησης: spatter συγκόλλησης εμφανίζεται πολλές μικρές, φωτεινές κυλινδρικές ενδείξεις σε μια ακτινογραφία.

**Ο συνυπολογισμός βολφραμίου** είναι συνήθως πυκνότερος από τα μόρια βάση-μετάλλων. Οι συνυπολογισμοί βολφραμίου εμφανίζονται πιο γραμμικές, πολύ ελαφριές ακτινογραφικές εικόνες αποδεχθείτε/αποφάσεις απορριμμάτων για αυτήν την ατέλεια είναι γενικά βασισμένος στα κριτήρια σκουριάς.

**Η οξείδωση** είναι ο όρος μιας επιφάνειας που θερμαίνεται κατά τη διάρκεια της συγκόλλησης, με συνέπεια το σχηματισμό οξειδίων στην επιφάνεια, λόγω της μερικής ή πλήρους έλλειψης εκκαθάρισης της ατμόσφαιρας συγκόλλησης. Επίσης ονομάζετε και sugaring (γλυκασμός).

**Ο όρος ακρών ρίζας** εμφανίζει τη διείδυση του υλικού συγκόλλησης από στενή περιοχή ή της λουρίδας των συγκολλητών μετάλλων. Εμφανίζεται στις ακτινογραφίες ως αισθητά καθορισμένη μετάβαση πυκνότητας ταινιών.

**Το ‘χτύπημα’ ρίζας** εμφανίζεται ως διαλείπον ή συνεχές αυλάκι στην εσωτερική επιφάνεια του μετάλλου βάσεων συνήθως κατά μήκος της άκρης της ρίζας συγκόλλησης



## **5.ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑ – ΑΝΤΙΘΕΣΗ – ΕΥΚΡΙΝΕΙΑ**

### **Γεωμετρικές αρχές**

Μια ακτινογραφία είναι μια εικόνα σκιών ενός αντικειμένου που έχει τοποθετηθεί στην πορεία μιας ακτίνας ακτίνας X ή gamma-ray, μεταξύ της ανόδου σωλήνων και της ταινίας ή μεταξύ της πηγής ακτινοβολίας γάμμα και της ταινίας. Ακολουθεί φυσικά, επομένως, ότι η εμφάνιση μιας εικόνας που καταγράφεται έτσι επηρεάζεται υλικά από τις σχετικές θέσεις του αντικειμένου και της ταινίας και από την κατεύθυνση της ακτίνας. Για αυτούς τους λόγους, η οικειότητα με τις στοιχειώδεις αρχές του σχηματισμού σκιών είναι σημαντική σε εκείνοι που κάνουν και που ερμηνεύουν τις ακτινογραφίες.

### **Γενικές αρχές**

Δεδομένου ότι οι ακτίνες X και οι ακτίνες γάμμα υπακούνε τους κοινούς νόμους του φωτός, ο σχηματισμός σκιών τους μπορεί να εξηγηθεί κατά τρόπο απλό από την άποψη του φωτός. Πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι η αναλογία μεταξύ του φωτός και αυτών των ακτινοβολιών δεν είναι τέλεια δεδομένου ότι όλα τα αντικείμενα είναι, σε έναν μεγαλύτερο ή μικρότερο βαθμό, διαφανή στις ακτίνες X και τις ακτίνες γάμμα και από τη διασπορά παρουσιάζει τα μεγαλύτερα προβλήματα στην ακτινογραφία απ' ό,τι στην οπτική. Εντούτοις, οι ίδιοι γεωμετρικοί νόμοι του σχηματισμού σκιών ισχύουν και για το φως και για την ακτινοβολία διεύθυνσης.

Υποθέστε, όπως στο σχήμα 11 A (σελ. 49), το οποίο το φως εκπέμπεται από ένα σημείο L και πέφτει σε μια άσπρη κάρτα C, και που ένα αδιαφανές αντικείμενο ο παρεμβάλλεται μεταξύ της πηγής φωτός και της κάρτας. Μια σκιά του αντικειμένου θα διαμορφωθεί στην επιφάνεια της κάρτας.

Αυτή η σκιά που φαίνεται από το αντικείμενο θα παρουσιάσει φυσικά κάποια *διεύρυνση* επειδή το αντικείμενο δεν είναι σε επαφή με την κάρτα ο *βαθμός διεύρυνσης (degree of enlargement)* θα ποικίλει σύμφωνα με τις σχετικές αποστάσεις του αντικειμένου από την κάρτα και από την πηγή φωτός. Ο νόμος που ισχύει για το μέγεθος της σκιάς μπορεί να δηλωθεί:

*Η διάμετρος του αντικειμένου προς στη διάμετρο της σκιάς του αντικειμένου είναι ίση με την απόσταση του φωτός από το αντικείμενο προς στην απόσταση του φωτός από την κάρτα.*

Από μαθηματική άποψη, ο βαθμός διεύρυνσης μπορεί να υπολογιστεί μέσω των ακόλουθων εξισώσεων:

$$\frac{S_o}{S_i} = \frac{D_o}{D_i} \text{ ή } S_o = S_i \left( \frac{D_o}{D_i} \right)$$

όπου  $S_o$  είναι το μέγεθος του αντικειμένου,  $S_i$  είναι το μέγεθος της σκιάς (ή της ακτινογραφικής εικόνας),  $D_o$  η απόσταση από την πηγή ακτινοβολίας στο αντικείμενο και  $D_i$  η απόσταση από την πηγή ακτινοβολίας στην επιφάνεια καταγραφής (ή ακτινογραφικός ταινία).

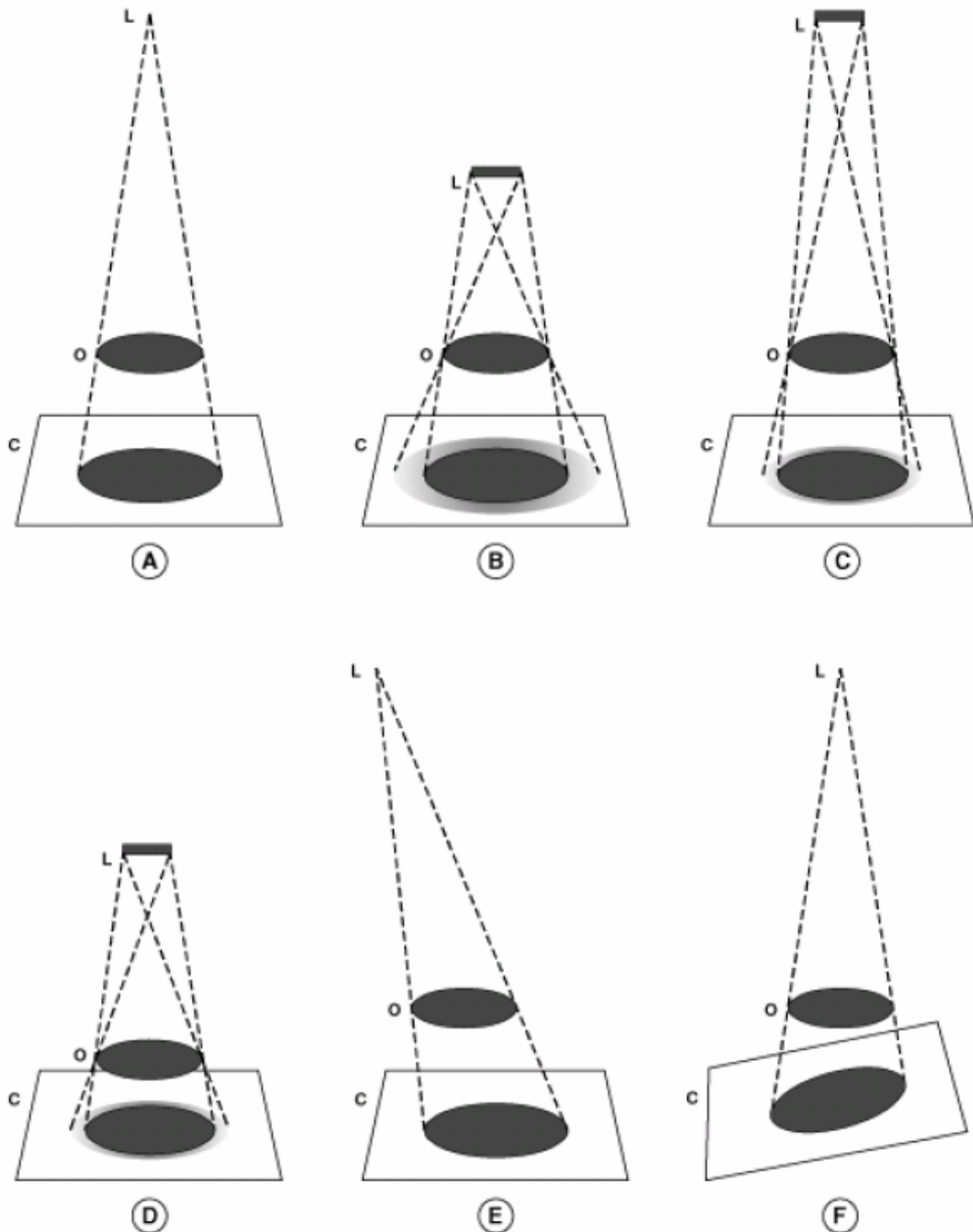
Ο βαθμός *οξύτητας* οποιασδήποτε σκιάς εξαρτάται από το μέγεθος της πηγής φωτός και από τη θέση του αντικειμένου μεταξύ του φωτός και της κάρτας -- είτε πλησιέστερα σε είτε μακρύτερα από το ένα είτε άλλο. Όταν η πηγή φωτός δεν είναι ένα σημείο αλλά μια μικρή περιοχή, οι σκιές δεν είναι τέλεια αιχμηρές (στο σχήμα 11, B έως D) επειδή *κάθε σημείο* στην πηγή φωτός πετά τη σκιά του αντικειμένου, και κάθε μια από αυτές τις επικαλύπτοντας σκιές μετατοπίζεται ελαφρώς από άλλες, παράγοντας μια λάθος καθορισμένη εικόνα.

Η *μορφή της σκιάς* μπορεί επίσης να διαφέρει σύμφωνα με τη γωνία που το αντικείμενο κάνει με τις συναφείς ακτίνες φωτός. Οι αποκλίσεις από την *αληθινή μορφή* του αντικειμένου όπως εκτίθεται στην εικόνα σκιάων της αναφέρονται ως διαστρέβλωση.

Σχήμα 11, Α έως F παρουσιάζει την επίδραση της αλλαγής του μεγέθους της πηγής και της αλλαγής των σχετικών θέσεων της πηγής, του αντικειμένου, και της κάρτας. Από μια εξέταση αυτών των σχεδίων, θα φανεί ότι οι ακόλουθοι όροι πρέπει να τηρηθούν για να παραγάγουν την αιχμηρότερη, πιο αληθινή σκιά του αντικειμένου:

1. Η πηγή φωτός πρέπει να είναι μικρή, δηλαδή σχεδόν σαν ένα σημείο.  
Συγκρίνετε τον σχήμα 11, Α και C.
2. Η πηγή φωτός πρέπει να είναι μακριά από το αντικείμενο το μεγαλύτερο δυνατόν.  
Συγκρίνετε το σχήμα 11, Β και C.
3. Η επιφάνεια καταγραφής πρέπει να είναι το δυνατότερο κοντά στο αντικείμενο .  
Συγκρίνετε το σχήμα 11,Β και D.
4. Οι ελαφριές ακτίνες πρέπει να κατευθυνθούν κάθετα στην επιφάνεια καταγραφής.  
Δείτε το σχήμα 11, Α και E.
5. Το επίπεδο του αντικειμένου και το επίπεδο της επιφάνειας καταγραφής πρέπει να είναι παράλληλα.  
Συγκρίνετε το σχήμα 11, Α και F.

**Σχήμα 11:** Επεξηγώντας τις γενικές γεωμετρικές αρχές του σχηματισμού σκιών όπως εξηγείται σε αυτά τα τμήματα.

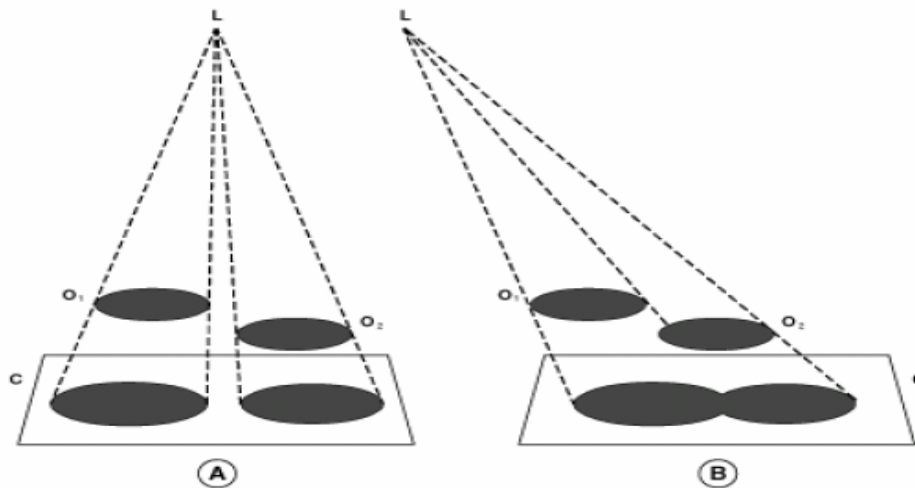


## Ακτινογραφικές σκιές

Στις βασικές αρχές του σχηματισμού σκιών πρέπει να δοθεί η αρχική εκτίμηση προκειμένου να βεβαιώσουν την ικανοποιητική οξύτητα στην ακτινογραφική εικόνα και την ουσιαστική ελευθερία από τη διαστρέβλωση. Ένας ορισμένος βαθμός διαστρέβλωσης φυσικά θα υπάρξει σε κάθε ακτινογραφία επειδή μερικά μέρη θα είναι πάντα μακρύτερα από την ταινία από άλλα, η μέγιστη ενίσχυση που είναι εμφανής στις εικόνες εκείνων των μερών στη μέγιστη απόσταση από την επιφάνεια καταγραφής (σχήμα 11).

Σημειώστε, επίσης, ότι δεν υπάρχει καμία διαστρέβλωση της μορφής στο σχήμα 11 Ε(σελ 49) ανωτέρω ένα κυκλικό αντικείμενο που έχει δοθεί ως κυκλική σκιά. Εντούτοις, κάτω από τις περιστάσεις παρόμοιες με εκείνους που παρουσιάζονται, είναι δυνατό ότι οι χωρικές αναλογίες μπορούν να διαστρεβλωθούν. Στο σχήμα 12 τα δύο κυκλικά αντικείμενα μπορούν να δοθούν είτε ως δύο κύκλοι (σχήμα 12Α) είτε ως αριθμός -οκτώ- διαμορφωμένη σκιά (σχήμα 12Β). Πρέπει να παρατηρηθεί ότι και οι δύο λοβοί του σχήματος οκτώ έχουν τις κυκλικές περιλήψεις.

**Σχήμα 12: Δύο κυκλικά αντικείμενα μπορούν να δοθούν ως δύο χωριστοί κύκλοι (Α) ή ως δύο επικαλύπτοντας κύκλοι (Β), ανάλογα με την κατεύθυνση της ακ**



Η διαστρέβλωση δεν μπορεί να αποβληθεί εξ ολοκλήρου, αλλά με την χρήση μιας κατάλληλης απόστασης πηγή-ταινιών, μπορεί να ελαττωθεί σε ένα σημείο όπου δεν θα είναι απαράδεκτη στην ακτινογραφική εικόνα.

## Εφαρμογή στην ακτινογραφία

Η εφαρμογή των γεωμετρικών αρχών του σχηματισμού σκιών στην ακτινογραφία οδηγεί σε πέντε γενικούς κανόνες. Αν και αυτοί οι κανόνες δηλώνονται από την άποψη της ακτινογραφίας με τις ακτίνες X, ισχύουν επίσης για την ακτινογραφία με ακτίνες γαμμα.

1. Το εστιακό σημείο πρέπει να είναι όσο μικρό κι εάν θα επιτρέψουν άλλες εκτιμήσεις, για είναι εκεί μια καθορισμένη σχέση μεταξύ του μεγέθους του εστιακού σημείου του των ακτίνων X. Ένας σωλήνας μεγάλος-εστίασης, δεν επιτρέπει τη σκιαγράφιση τόσης λεπτομέρειας όσο έναν σωλήνα μικρός-εστίασης. Οι μεγάλες αποστάσεις πηγή-ταινιών θα βοηθήσουν στην παρουσίαση λεπτομέρειας όταν χρησιμοποιείται ένας σωλήνας μεγάλος-εστίασης, αλλά είναι συμφέρον να χρησιμοποιηθεί το μικρότερο εστιακό σημείο επιτρεπόμενο για τις εκθέσεις που απαιτούνται.

Το Β και το D στο σχήμα 13 παρουσιάζουν την επίδραση του εστιακού μεγέθους σημείων στην ποιότητα εικόνας. Δεδομένου ότι το εστιακό μέγεθος σημείων αυξάνεται από 1,5 χιλ. (B) 4.0 χιλ. (D), ο καθορισμός της ακτινογραφίας αρχίζει να υποβιβάζεται. Αυτό είναι ιδιαίτερα εμφανές στις άκρες των ακμών, οι οποίες δεν είναι πλέον αιχμηρές.

2. Η απόσταση μεταξύ της ανόδου και του υλικού που εξετάζονται πρέπει πάντα να είναι το δυνατόν μεγάλη. Συγκριτικά οι αποστάσεις μιας μακριάς πηγής πρέπει να χρησιμοποιηθούν στην ακτινογραφία των παχιών υλικών για να ελαχιστοποιήσουν το γεγονός ότι οι δομές πάρα πολύ μακριά από την ταινία λιγότερο αισθητά καταγράφονται από εκείνος ο κοντινότερος σε αυτήν. Στις μεγάλες αποστάσεις, ο ακτινογραφικός καθορισμός βελτιώνεται και η εικόνα έχει σχεδόν το πραγματικό μέγεθος του αντικειμένου.
3. Το A στο D στο σχήμα 13 παρουσιάζει τα αποτελέσματα της απόστασης πηγή-ταινιών στην ποιότητα εικόνας. Όταν η απόσταση πηγή-ταινιών μειώνεται από 68 ίντσες (A) σε 12 ίντσες (D) την εικόνα γίνεται περισσότερο διαστρεβλωμένος μέχρι σε 12 ίντσες που δεν είναι πλέον μια αληθινή αντιπροσώπευση ρίψη. Αυτό είναι ιδιαίτερα εμφανές στις άκρες του περιβλήματος όπου η διαστρέβλωση είναι μέγιστες.
4. Η ταινία πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο κοντά στο αντικείμενο που ακτινογραφείται. Στην πράξη, η ταινία(φιλμ) τοποθετείται σε επαφή με το αντικείμενο.

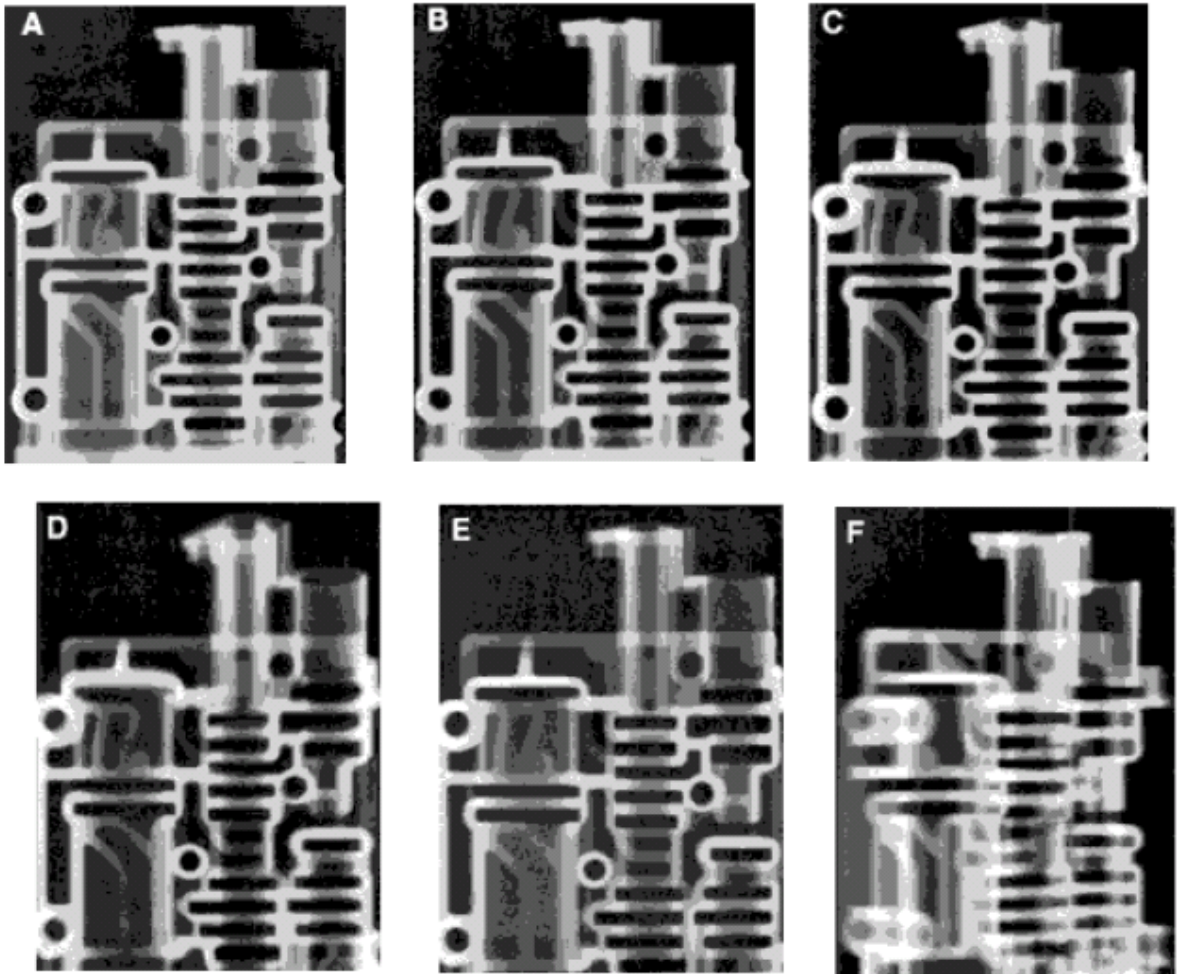
Στο Β και το Ε του σχήματος 13, τα αποτελέσματα της απόστασης αντικείμενο-ταινιών είναι εμφανή. Δεδομένου ότι η απόσταση αντικείμενο-ταινιών αυξάνεται από μηδέν (B) σε 4 ίντσες (E), η εικόνα γίνεται μεγαλύτερη και ο καθορισμός αρχίζει να υποβιβάζεται. Πάλι, αυτό είναι ιδιαίτερα εμφανές στις άκρες του αντικειμένου που δεν είναι πλέον αιχμηρές.

5. Η κεντρική ακτίνα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν σχεδόν πιο κάθετη στην ταινία να συντηρήσει χωρικές σχέσεις.

Όσο η μορφή του δείγματος θα επιτρέψει, το επίπεδο μέγιστου ενδιαφέροντος πρέπει να είναι παράλληλο στο επίπεδο της ταινίας.

Τέλος, στο F του σχήματος 13, τα αποτελέσματα του προσανατολισμού αντικείμενο-ταινία-πηγής παρουσιάζονται. Όταν συγκρίνεται με το Β, η εικόνα F είναι εξαιρετικά διαστρεβλωμένη επειδή αν και η ταινία είναι κάθετη στην κεντρική ακτίνα, η ρίψη είναι σε μια γωνία  $45^\circ$  στην ταινία και οι χωρικές σχέσεις χάνονται. Δεδομένου ότι η ταινία περιστρέφεται για να είναι παράλληλη με τη ρίψη, οι χωρικές σχέσεις διατηρούνται και η διαστρέβλωση ελαττώνεται.

**Σχήμα 13:** Αυτή η γραφική παράσταση επεξηγεί τα αποτελέσματα στην ποιότητα εικόνας όταν αλλάζουν τους γεωμετρικούς παράγοντες έκθεσης.



### Υπολογισμός γεωμετρικής άμβλυνσης

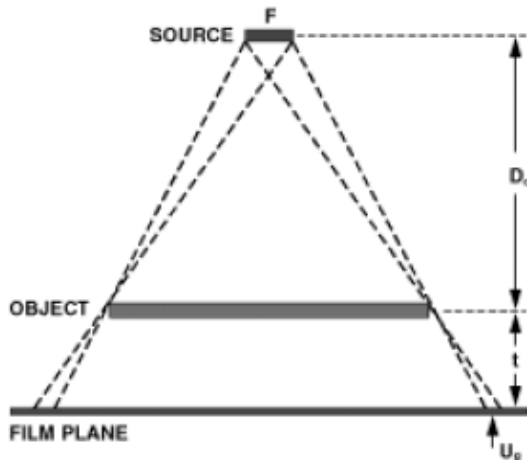
Το πλάτος του "συγκεχυμένου" ορίου των σκιών στο B, C, και D στον ανωτέρω αριθμό είναι γνωστό ως *γεωμετρική άμβλυνση* ( $U_g$ ). Δεδομένου ότι η γεωμετρική άμβλυνση μπορεί έντονα να έχει επιπτώσεις στην εμφάνιση της ακτινογραφικής εικόνας, είναι συχνά απαραίτητο να καθοριστεί το μέγεθός του.

Από τους νόμους των παρόμοιων τριγώνων, μπορεί να φανεί (στον σχήμα 14) αυτός:

$$\frac{U_g}{F} = \frac{t}{D_o} \text{ ή } U_g = F \left( \frac{t}{D_o} \right)$$

όπου  $U_g$  είναι η γεωμετρική άμβλυνση,  $F$  είναι το μέγεθος της πηγής ακτινοβολίας,  $D_o$  είναι η απόσταση πηγής-αντικειμένου, και  $t$  είναι η απόσταση του αντικείμενο από την ταινία(φιλμ). Δεδομένου ότι η μέγιστη άμβλυνση που περιλαμβάνεται σε οποιαδήποτε ακτινογραφική διαδικασία είναι συνήθως η σημαντική ποσότητα, η απόσταση αντικειμένου-ταινίας ( $t$ ) λαμβάνεται συνήθως ως απόσταση από την *πλευρά πηγής* του δείγματος στην ταινία.

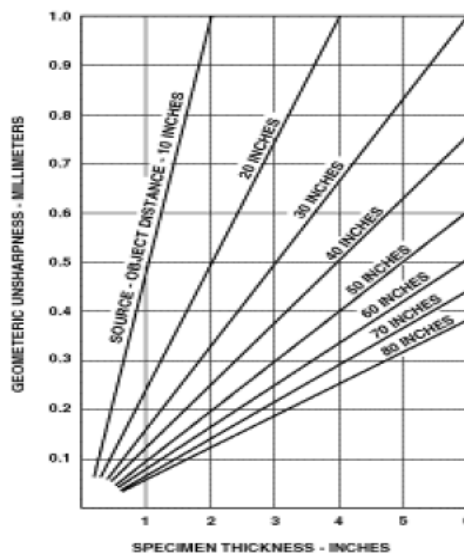
**Σχήμα 14:** Γεωμετρική κατασκευή για τον καθορισμό της γεωμετρικής άμβλυνσης ( $U_g$ ).



$D_o$  και  $t$  πρέπει να μετρηθείτε στις ίδιες μονάδες, οι ίντσες είναι συνήθεις, αλλά οποιαδήποτε άλλη μονάδα μήκος- εκατοστόμετρα (cm) -- θα ήταν επίσης ικανοποιητικός.  $S_o$  πολύ όπως  $D_o$  και  $t$  είναι στις ίδιες μονάδες, ο τύπος ανωτέρω θα δώσει πάντα η γεωμετρική άμβλυνση  $U_g$  σε οτιδήποτε μονάδες χρησιμοποιήθηκαν για να μετρήσουν τις διαστάσεις της πηγής. Το προβαλλόμενο μέγεθος των εστιακών σημείων των σωλήνων ακτίνων X δηλώνεται συνήθως στα χιλιοστόμετρα, και  $U_g$  θα είναι επίσης στα χιλιοστόμετρα. Εάν το μέγεθος πηγής δηλώνεται στις ίντσες,  $U_g$  θα είναι στις ίντσες.

Για τη γρήγορη αναφορά, οι γραφικές παραστάσεις του τύπου που παρουσιάζεται στο σχήμα μπορούν κατωτέρω να προετοιμαστούν με την χρήση της εξίσωσης ανωτέρω. Αυτές οι γραφικές παραστάσεις αφορούν την απόσταση πηγή-ταινιών, την απόσταση αντικείμενο-ταινιών και η γεωμετρική άμβλυνση. Σημειώστε ότι οι γραμμές σχήματος 15 είναι όλες ευθείες. Επομένως, για κάθε απόσταση πηγή-αντικείμενου, είναι μόνο απαραίτητο να υπολογιστεί η αξία του  $U_g$  για ένα ενιαίο πάχος δειγμάτων, και να συρθεί έπειτα μια ευθεία γραμμή μέσω του σημείου που καθορίζονται έτσι και της προέλευσης. Πρέπει να υπογραμμιστεί, εντούτοις, ότι μια χωριστή γραφική παράσταση του τύπου που παρουσιάζεται στο σχήμα 15 πρέπει να προετοιμαστεί για κάθε μέγεθος της πηγής.

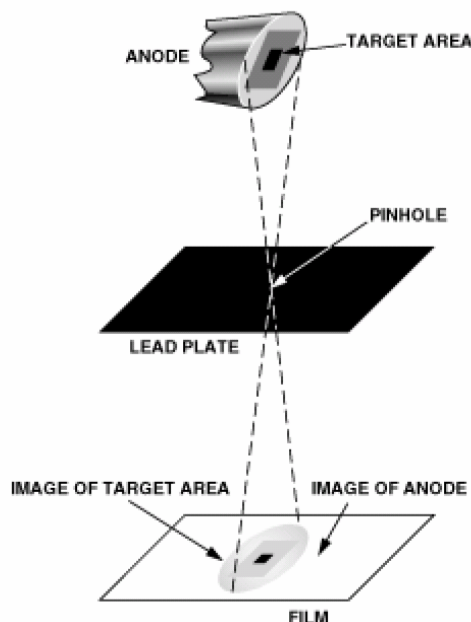
**Σχήμα 15:** Γραφική παράσταση που αφορά η γεωμετρική άμβλυνση ( $U_g$ ) στο πάχος δειγμάτων και την απόσταση πηγή-αντικείμενου, για ένα μέγεθος πηγής 5mm.



## Προβολή οπών καρφίτσας του εστιακού σημείου

Δεδομένου ότι οι διαστάσεις της πηγής ακτινοβολίας έχουν την ιδιαίτερη επίδραση στην οξύτητα των σκιών, είναι συχνά επιθυμητό να καθοριστεί η μορφή και το μέγεθος του εστιακού σημείου σωλήνων των ακτίνων X. Αυτό μπορεί να ολοκληρωθεί με τη μέθοδο ακτινογραφίας οπών καρφίτσας, η οποία είναι ίδια σε γενικές γραμμές με αυτήν της φωτογραφικής μηχανής οπών καρφίτσας. Ένα λεπτό πιάτο μολύβδου(lead plate) που περιέχει μια μικρή τρύπα(PINHOLE) τοποθετείται ακριβώς μεσοστρατίς μεταξύ του εστιακού σημείου(TARGET AREA) και της ταινίας(FILM), και το προστατευτικό κάλυμμα μολύβδου έτσι κανονίζεται να μην φθάσει καμία ακτίνα X εκτός από εκείνους που περνούν μέσω της οπής καρφίτσας στην ταινία (σχήμα 16). Η αναπτυγμένη ταινία θα παρουσιάσει μια εικόνα που, για τους περισσότερους πρακτικούς ακτινογραφικούς λόγους, μπορεί να ληφθεί όπως ίση στο μέγεθος και τη μορφή με το εστιακό σημείο (σχήμα 17). Εάν απαιτούνται ακριβείς μετρήσεις, οι μετρημένες διαστάσεις της εικόνας εστιακός-σημείων πρέπει να μειωθούν από δύο φορές τη διάμετρο της οπής καρφίτσας.

**Σχήμα 16:** Σχηματικό διάγραμμα που παρουσιάζει παραγωγή μιας εικόνας οπών καρφίτσας ενός εστιακού σημείου σωλήνων των ακτίνων X.



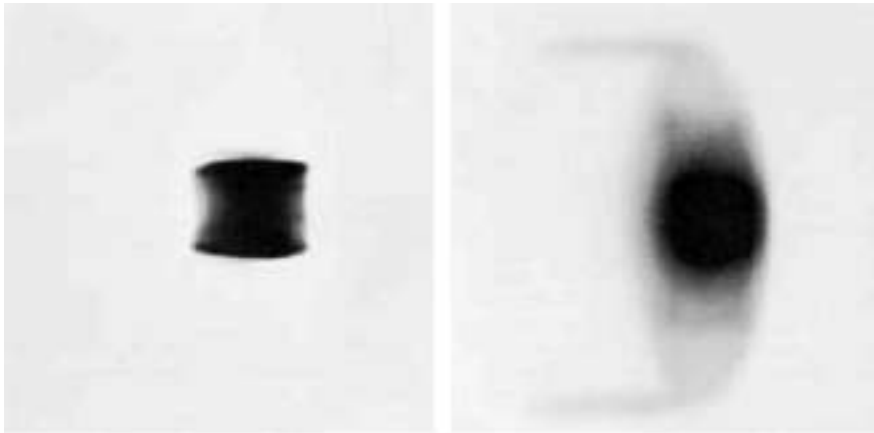
Η μέθοδος ισχύει στους σωλήνες των ακτίνων X που λειτουργούν μέχρι περίπου 250 kV. Επάνω από αυτό το kilovoltage, εντούτοις, το πάχος του μολύβδου που απαιτείται καθιστά τη μέθοδο μη πρακτική. (Το ολόκληρο εστιακό σημείο δεν μπορεί "να φανεί" από την πλευρά ταινιών μιας μικρής τρύπας σε ένα παχύ πιάτο.) Κατά συνέπεια η τεχνική δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τις υψηλής ενέργειας ακτίνες X ή τις συνήθως χρησιμοποιούμενες gamma-ray πηγές, και οι πύο περίπλοκες μέθοδοι, κατάλληλες μόνο για το εργαστήριο, πρέπει να υιοθετηθούν.

Μια απόσταση εστίαση-ταινιών 24 ιντσών είναι συνήθως κατάλληλη. Φυσικά, ο χρόνος της έκθεσης θα είναι πολύ μεγαλύτερος από αυτόν που απαιτείται για να εκθέσει την ταινία χωρίς το πιάτο οπών καρφίτσας επειδή έτσι λίγη ακτινοβολία μπορεί να περάσει μέσω ενός τέτοιου μικρού ανοίγματος. Γενικά, μια βελόνα ή ένα τρυπάνι θα καταστήσει μια τρύπα αρκετά μικρή για πρακτικούς λόγους.

Μια απόσταση στην περιοχή εικόνας επάνω στην ταινία (film) 1,0 έως 2,0 ίντσες είναι ικανοποιητική. Εάν η περιοχή εστιασμού-σημείων είναι υπερβολικά εκτεθειμένη, η εκτίμηση του μεγέθους εστιακός-σημείων θα υπερβληθεί, όπως μπορεί να φανεί με τη σύγκριση των δύο εικόνων στο σχήμα 17.



**Σχήμα 17:** Εικόνες οπών καρφίτσας του εστιακού σημείου ενός των ακτίνων X σωλήνα. Μια πιο σύντομη έκθεση (αριστερά) παρουσιάζει μόνο εστιακό σημείο. Μια πιο μακροχρόνια έκθεση (δεξιά) παρουσιάζει, καθώς επίσης και το εστιακό σημείο, μερικές λεπτομέρειες του ‘κουμπιού’ βολφραμίου και του μίσχου ανόδων χαλκού. Οι εικόνες των ακτίνων X αυτών των μερών προκύπτουν από το βομβαρδισμό τους με τα περιπλανώμενα ηλεκτρόνια.



## Παράγοντες που επηρεάζουν την έκθεση

Γενικά, η πυκνότητα οποιασδήποτε ακτινογραφικής εικόνας εξαρτάται από το ποσό ακτινοβολίας που απορροφάται από το ευαίσθητο γαλάκτωμα της ταινίας. Αυτό το ποσό ακτινοβολίας εξαρτάται στη συνέχεια από διάφορους παράγοντες: το συνολικό ποσό ακτινοβολίας που εκπέμπεται από την πηγή των ακτίνων X ή gamma-ray, το ποσό ακτινοβολίας που φθάνει στο δείγμα το ποσοστό αυτής της ακτινοβολίας που περνά μέσω του δείγματος και η έντονη δράση των οθονών, εάν χρησιμοποιούνται. Αυτό το κεφάλαιο συζητά τα αποτελέσματα αυτών των παραγόντων.

Ακτινοβολία που εκπέμπεται από την πηγή

### Ακτίνες X

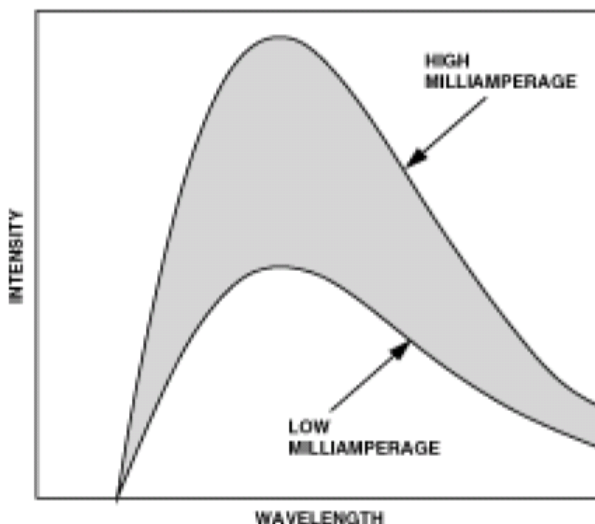
Το συνολικό ποσό ακτινοβολίας που εκπέμπεται από έναν σωλήνα των ακτίνων X εξαρτάται από το ρεύμα σωλήνων (milliamperage), το kilovoltage, και το χρόνο που ο σωλήνας ενεργοποιείται.

Όταν υπόλοιποι παράμετροι κρατιούνται σταθεροί, μια αλλαγή στο milliamperage προκαλεί μια αλλαγή στην ένταση (INTENSITY) της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας, η ένταση που είναι περίπου ανάλογη προς το milliamperage, αυξάνετε. Το κυματοειδές κορεσμού και τάσης μετασχηματιστών υψηλής τάσης μπορεί να αλλάξει με το ρεύμα σωλήνων, αλλά ένας αντισταθμιστικός παράγοντας εφαρμόζεται συνήθως για να ελαχιστοποιήσει τα αποτελέσματα αυτών των αλλαγών. Στην κανονική βιομηχανική ακτινογραφική πρακτική, η παραλλαγή από την ακριβή αναλογικότητα δεν είναι σοβαρή και μπορεί συνήθως να αγνοηθεί.

Το σχήμα 18 παρουσιάζει φασματικές καμπύλες εκπομπής για έναν σωλήνα των ακτίνων X που χρησιμοποιείται σε δύο διαφορετικά ρεύματα, το υψηλό ρεύμα (HIGH MILLIAMPERAGE) δύο φορές πιο ισχυρό από το χαμηλότερο (LOW MILLIAMPERAGE). Επομένως, κάθε μήκος κύματος είναι δύο φορές εντονότερο σε μια ακτίνα απ' ό,τι σε άλλη. Σημειώστε ότι κανένα μήκος κύματος (WAVELENGTH) δεν είναι παρόν σε μια ακτίνα που δεν είναι παρόν σε άλλη. Ως εκ τούτου, δεν υπάρχει καμία αλλαγή στην ποιότητα ή τη δύναμη διείσδυσης των ακτίνων X.

Όπως θα αναμενόταν, το συνολικό ποσό ακτινοβολίας που εκπέμπεται από έναν σωλήνα ακτίνων X που λειτουργεί σε ένα ορισμένα kilovoltage και ένα milliamperage είναι άμεσα ανάλογο προς το χρόνο που ο σωλήνας ενεργοποιείται.

**Σχήμα 18:** Καμπύλες που επεξηγούν την επίδραση μιας αλλαγής στο milliamperage στην ένταση μιας των ακτίνων X ακτίνας.

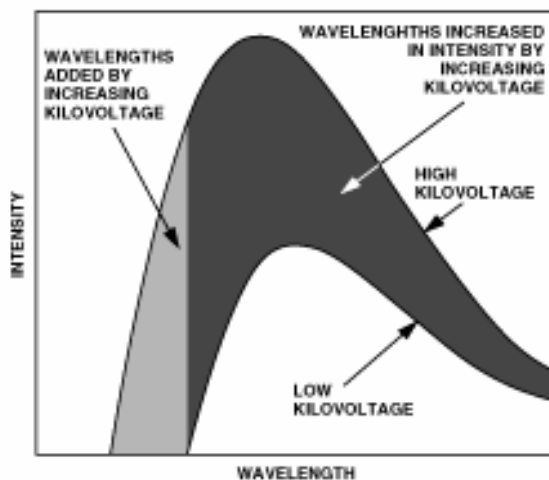


Δεδομένου ότι η παραγωγή των ακτίνων X είναι άμεσα ανάλογη και προς το milliamperage και προς το χρόνο, είναι άμεσα ανάλογη προς το προϊόν τους. (Αυτό το προϊόν αναφέρεται συχνά ως "έκθεση".) Αλγεβρικά, αυτό μπορεί να δηλωθεί  $E = Mt$ , όπου E είναι η έκθεση, M το ρεύμα σωλήνων, και t ο χρόνος έκθεσης. Ως εκ τούτου, το ποσό ακτινοβολίας θα παραμείνει σταθερό εάν η έκθεση παραμείνει σταθερή,

ανεξάρτητα από το πόσο οι μεμονωμένοι παράγοντες του ρεύματος σωλήνων και του χρόνου έκθεσης είναι ποικίλοι. Αυτό επιτρέπει τη διευκρίνιση των εκθέσεων ακτίνων X από την άποψη των milliamper-λεπτών ή των milliamper-δευτερολέπτων, χωρίς δήλωση των συγκεκριμένων μεμονωμένων τιμών του ρεύματος και του χρόνου σωλήνων.

Το kilovoltage που εφαρμόζεται στον σωλήνα των ακτίνων X έχει επιπτώσεις όχι μόνο στην ποιότητα αλλά και την ένταση της ακτίνας. Καθώς το kilovoltage αυξάνεται, παράγεται πιο σύντομο μήκος κύματος, και ως εκ τούτου και η διεισδυτική ικανότητα. Το σχήμα 19 παρουσιάζει φασματικές καμπύλες εκπομπής για έναν σωλήνα των ακτίνων X που χρησιμοποιείται σε δύο διαφορετικά kilovoltages αλλά στο ίδιο milliamperage. Σημειώστε ότι, στην ακτίνα υψηλού- kilovoltage, υπάρχουν μερικά πιο σύντομα μήκη κύματος που είναι απόντα από την ακτίνα χαμηλού- kilovoltage. Περαιτέρω, όλα τα μήκη κύματος παρόντα στην ακτίνα χαμηλού- kilovoltage είναι παρόντα στη διαπερνώντας ακτίνα, και στο μεγαλύτερο ποσό. Κατά συνέπεια, η αύξηση του kilovoltage αυξάνει και τη διείσδυση και την ένταση της ακτινοβολίας που εκπέμπεται από το σωλήνα.

**Σχήμα 19: Καμπύλες που επεξηγούν την επίδραση μιας αλλαγής στο kilovoltage στη σύνθεση και την ένταση μιας ακτίνας των ακτίνων X.**



### **Ακτίνες γάμμα**

Το συνολικό ποσό ακτινοβολίας που εκπέμπεται από μια πηγή gamma-ray κατά τη διάρκεια μιας ακτινογραφικής έκθεσης εξαρτάται από τη δραστηριότητα της πηγής (που δηλώνεται συνήθως σε κιουριά σελίδα 24) και το χρόνο της έκθεσης. Για ένα ιδιαίτερο ραδιενεργό ισότοπο, η ένταση της ακτινοβολίας είναι περίπου ανάλογη προς τη δραστηριότητα (στα κιουριά) της πηγής. Εάν δεν ήταν για την απορρόφηση των ακτίνων γάμμα μέσα το ίδιο στο ραδιενεργό υλικό αυτή η αναλογικότητα θα ήταν ακριβής. Στην κανονική ακτινογραφική πρακτική, η σειρά των μεγεθών πηγής που χρησιμοποιούνται σε μια ιδιαίτερη θέση είναι αρκετά μικρή έτσι ώστε οι παραλλαγές από την ακριβή αναλογικότητα δεν είναι σοβαρές και μπορούν συνήθως να αγνοηθούν.

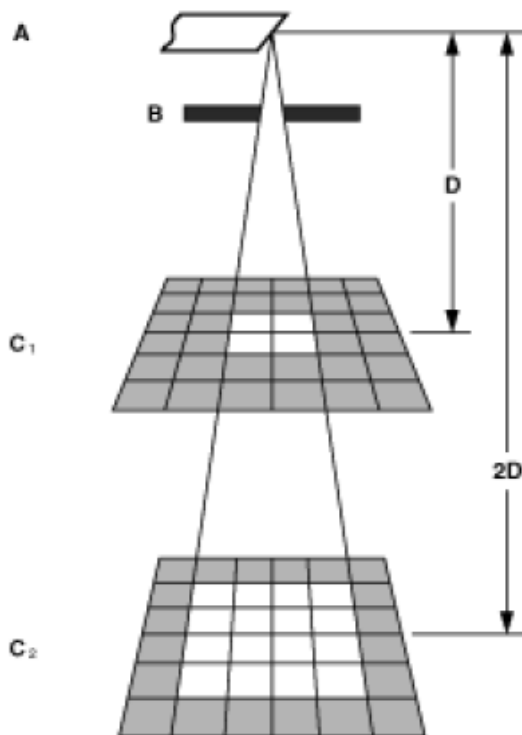
Κατά συνέπεια, η παραγωγή gamma-ray είναι άμεσα ανάλογη και προς τη δραστηριότητα της πηγής και προς το χρόνο, και ως εκ τούτου είναι άμεσα ανάλογη προς το προϊόν τους. Ανάλογα στην έκθεση των ακτίνων X, η gamma-ray έκθεση E μπορέστε να δηλωθείτε  $E = Mt$ , όπου M είναι η δραστηριότητα πηγής στα κιουριά και t είναι ο χρόνος έκθεσης, το ποσό ακτινοβολίας γάμμα που παραμένει σταθερό εφ' όσον το προϊόν η δραστηριότητα και ο χρόνος πηγής παραμένουν σταθεροί. Αυτό επιτρέπει τη διευκρίνιση gamma-ray των εκθέσεων στις κιουρί-ώρες χωρίς δήλωση των συγκεκριμένων τιμών για τη δραστηριότητα ή το χρόνο πηγής.

Δεδομένου ότι η ενέργεια των gamma-ray καθορίζεται από τη φύση του ιδιαίτερου ραδιενεργού ισότοπου, δεν υπάρχει καμία μεταβλητή για να αντιστοιχεί στον παράγοντα kilovoltage που αντιμετωπίζεται στην X-ακτινογραφία. Ο μόνος τρόπος να αλλαχτεί η δύναμη διείσδυσης κατά το χρησιμοποίηση των ακτίνων γάμμα είναι να αλλαχτεί η πηγή, δηλ., κοβάλτιο 60 αντί του ιριδίου 192 .

## Αντίστροφος τετραγωνικός νόμος

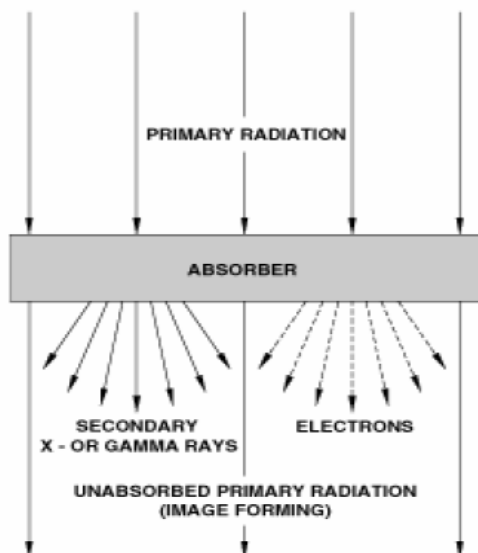
Όταν η παραγωγή των ακτίνων X κρατιέται σταθερή, ή όταν χρησιμοποιείται μια ιδιαίτερη ραδιενεργός πηγή, η ένταση ακτινοβολίας που φθάνει στο δείγμα καθορίζεται από την απόσταση μεταξύ του σωλήνα (ή της πηγής) και του δείγματος, που ποικίλλει αντιστρόφως με το τετράγωνο αυτής της απόστασης. Η εξήγηση που ακολουθεί είναι από την άποψη των ακτίνων X και του φωτός, αλλά ισχύει για τις ακτίνες γάμμα επίσης.

Σχήμα 20: Σχηματικό διάγραμμα που επεξηγεί τον αντίστροφο τετραγωνικό νόμο.



Δεδομένου ότι οι ακτίνες X προσαρμόζονται στους νόμους του φωτός, αυτές αποκλίνουν όταν εκπέμπονται από την άνοδο και καλύπτουν μια όλο και περισσότερο μεγαλύτερη περιοχή με την ελαττωμένη ένταση καθώς ταξιδεύουν από την πηγή τους. Αυτή η αρχή είναι διευκρινισμένη στον παραπάνω σχήμα. Σε αυτό το παράδειγμα, υποτίθεται ότι η ένταση των ακτίνων X που εκπέμπονται στην άνοδο A παραμένει σταθερός και ότι οι X - ακτίνες που περνούν μέσω του ανοίγματος B καλύπτει έναν τομέα 4 τετραγωνικών ιντσών στην επίτευξη της επιφάνειας καταγραφής C1, όποιες είναι 12 ίντσες (D) από την άνοδο. Κατόπιν, όταν κινείται η επιφάνεια καταγραφής 12 ίντσες μακρύτερα από την άνοδο, C2, έτσι ώστε η απόσταση από την άνοδο είναι 24 ίντσες (2D), ή δύο φορές η προηγούμενη αξία του, οι X - οι ακτίνες θα καλύψουν 16 τετραγωνικές ίντσες -- μια περιοχή τέσσερις φορές μεγαλύτερες από αυτήν C1. Ακολουθεί, επομένως, ότι η ακτινοβολία ανά τετραγωνική ίντσα στην επιφάνεια C2 είναι 1/4 αυτό στο επίπεδο C1. Κατά συνέπεια, η έκθεση που θα ήταν επαρκής C1 πρέπει να αυξηθεί τέσσερις φορές προκειμένου να παραγάγει C2 μια ακτινογραφία της ίσης πυκνότητας. Στην πράξη, αυτό μπορεί να γίνει με την αύξηση του χρόνου ή με την αύξηση του milliamperage.

**Σχήμα 21:** Σχηματικό διάγραμμα μερικοί από τους τρόπους X - ή gamma-ray η ενέργεια απελευθερώνεται στη διάβαση μέσω του θέματος. Τα ηλεκτρόνια από τα δείγματα είναι συνήθως ασήμαντα ραδιογραφικά εκείνα από τις οθόνες φύλλων μολύβδου που είναι πολύ σημαντικά.



Αυτός ο αντίστροφος τετραγωνικός νόμος μπορεί να εκφραστεί αλγεβρικά ως εξής:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{D_2^2}{D_1^2}$$

όπου  $I_1$  και  $I_2$  είναι οι εντάσεις στις αποστάσεις  $D_1$  και  $D_2$  αντίστοιχα.

### Απορρόφηση ακτινοβολίας στο δείγμα

Όταν οι ακτίνες X ή οι ακτίνες γάμμα χτυπούν έναν απορροφητή(φίλτρο) (σχήμα 21), μερική ποσότητα από την ακτινοβολία απορροφάται και η υπόλοιπη ποσότητα περνά μέσω αυτού. Αυτή είναι η έντασης της μη-παρελκόμενης ακτινοβολία στο δείγμα που διαμορφώνει τη χρήσιμη εικόνα σε μια ακτινογραφία. Μερικές παρεκκλίνουν μέσα στο δείγμα από την αρχική κατεύθυνσή του -- δηλαδή είναι διασπαρμένη ακτινοβολία. Αυτή η διασπαρμένη ακτινοβολία, εάν δεν ελέγχεται προσεκτικά, θα εκθέσει την ταινία και θα τείνει έτσι να παραλλάξει τη χρήσιμη ακτινογραφική εικόνα. Η διασπαρμένη ακτινοβολία και τα μέσα για τα αποτελέσματά της συζητούνται λεπτομερώς στη "διασπαρμένη ακτινοβολία". Μια άλλη μερίδα της ενέργειας στην αρχική ακτίνα ξοδεύεται στην απελευθέρωση των ηλεκτρονίων από τον απορροφητή. Τα ηλεκτρόνια από το δείγμα είναι ασήμαντα ραδιογραφικά από εκείνα από τις οθόνες μολύβδου που είναι πολύ σημαντικά.

### **Ισοδυναμία των ακτίνων X**

Εάν η βιομηχανική ακτινογραφία γινόταν με την μονοενεργειακή ακτινοβολία, δηλαδή με τον περιορισμό των ακτίνων X αλλά ενός ενιαίου μήκους κύματος, και εάν δεν υπήρξε καμία διασπορά, τους νόμους της απορρόφησης των ακτίνων X από το θέμα θα μπορούσε να δηλωθεί από μαθηματική άποψη με τη μεγάλη ακρίβεια. Εντούτοις, δεδομένου ότι μια ευρεία ζώνη των μηκών κύματος χρησιμοποιείται και δεδομένου ότι η ιδιαίτερη διεσπαρμένη ακτινοβολία φθάνει στην ταινία, οι νόμοι μπορούν να δοθούν μόνο με έναν γενικό τρόπο.

Η απορρόφηση των ακτίνων X ενός δείγματος εξαρτάται από το **πάχος** του, από την **πυκνότητά** του και, ο σημαντικότερος όλους, από την **ατομική φύση** του υλικού. Είναι προφανές ότι δύο δείγματα της παρόμοιας σύνθεσης, ο παχύτερος ή ο πυκνότερος θα απορροφήσει την περισσότερη ακτινοβολία, χρειάζεται αύξηση στο kilovoltage ή την έκθεση, ή και οι δύο, για να παραγάγει το ίδιο φωτογραφικό αποτέλεσμα. Εντούτοις, τα ατομικά στοιχεία σε ένα δείγμα ασκούν συνήθως μια πολύ μεγαλύτερη επίδραση στην απορρόφηση των ακτίνων X από είτε το πάχος είτε την πυκνότητα. Παραδείγματος χάριν, ο μόλυβδος είναι περίπου 1,5 φορές τόσο πυκνός όσο και το συνηθισμένο χάλυβα, αλλά σε 220 kV, η ίντσα 0.1 του μόλυβδου απορροφά τουλάχιστον 1,2 ίντσες του χάλυβα. Ο ορείχαλκος είναι μόνο περίπου 1,1 φορές πιο πυκνός από ότι ο χάλυβας, όμως, σε 150 kV, η ίδια έκθεση απαιτείται για 0,25 ίντσα του ορείχαλκου όπως για 0,35 ίντσα του χάλυβα. Ο πίνακας IV δίνει τους κατά προσέγγιση ακτινογραφικούς παράγοντες ισοδυναμίας. Πρέπει να υπογραμμιστεί ότι αυτός ο πίνακας είναι μόνο κατά προσέγγιση και προορίζεται μόνο ως οδηγός, δεδομένου ότι είναι βασισμένος σε μια σύνταξη των στοιχείων από πολλές πηγές. Σε μια ιδιαίτερη περίπτωση, η ακριβής αξία του ακτινογραφικού παράγοντα ισοδυναμίας θα εξαρτηθεί η ποιότητα της ακτινοβολίας των ακτίνων X και το πάχος του δείγματος. Θα σημειωθεί από αυτόν τον πίνακα ότι οι σχετικές απορροφήσεις των διαφορετικών υλικών δεν είναι σταθερές αλλά αλλάζουν με το kilovoltage, και ότι δεδομένου ότι οι αυξήσεις kilovoltage, οι διαφορές μεταξύ όλων των υλικών τείνουν να γίνουν ελάχιστες. Με άλλα λόγια, καθώς το kilovoltage αυξάνεται, η ακτινογραφική απορρόφηση ενός υλικού εξαρτάται όλο και λιγότερο από τους ατομικούς αριθμούς συστατικών της.

**Πίνακας IV: Κατά προσέγγιση ακτινογραφικοί παράγοντες ισοδυναμίας**

Υλικό	X-rays								Gamma Rays			
	50 kV	100 kV	150 kV	220 kV	400 kV	1000 kV	2000 kV	<sup>4</sup> / <sub>25</sub> MeV <sup>to</sup>	Ir 192	Cs 137	Co 60	Radium
Μαγνήσιο	0,6	0,6	0,5	0,08								
Αλουμίνιο	1,0	1,0	0,12	0,18					0,35	0,35	0,35	0,40
2024 (αλουμίνιο) κράμα	2,2	1,6	0,16	0,22					0,35	0,35	10,35	
Τιτάνιο			0,45	0,35								
Χάλυβας		12	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
18-8 (χάλυβας) κράμα		12	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Χαλκός		18	1,6	1,4	1,4			1,3	1,1	1,1	1,1	1,1
Ψευδάργυρος			1,4	1,3	1,3			1,2	1,1	1,0	1,0	1,0
Ορείχαλκος			1,4	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,1	1,1	1,1	1,1
Inconel X κράμα		16	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
Ζιρκόνιο			2,3	2,0		1,0						
Μόλυβδος			14.	12		5,0	2,5	3,0	4,0	3,2	2,3	2,0
Θυράνιο				25				3,9	12,6	5,6	3,4	

**Αλουμίνιο** λαμβάνεται ως τυποποιημένο μέταλλο σε 50 kV και 100 kV και ο **χάλυβας** στις υψηλότερες τάσεις και τις ακτίνες γάμμα. Το πάχος ενός άλλου μετάλλου πολλαπλασιάζεται με τον αντίστοιχο παράγοντα για να λάβει τα κατά προσέγγιση ισοδύναμα πάχη του τυποποιημένου μετάλλου. Η έκθεση να ισχύσει για αυτό το πάχος του τυποποιημένου μετάλλου χρησιμοποιείται. **Παράδειγμα:** Για να ακτινογραφησετε 0,5 ίντσα του χαλκού σε 220 kV, πολλαπλασιάστε 0,5 ίντσα με τον παράγοντα 1,4, λαμβάνοντας ένα ισοδύναμο πάχος 0,7 ίντσας του χάλυβα. Επομένως, δώστε την έκθεση που απαιτείται για 0,7 ίντσα του χάλυβα. Ο κασσίτερος ή ο μόλυβδος που αναμιγνύεται στον ορείχαλκο θα αυξήσει αυτούς τους παράγοντες.

Για τις ακτίνες X που παράγονται στις τάσεις πάνω από 1000 kV και για τα υλικά που δεν διαφέρουν πάρα πολύ στον ατομικό αριθμό (χάλυβας και χαλκός, παραδείγματος χάριν), η ακτινογραφική απορρόφηση για ένα δεδομένο πάχος του υλικού είναι κατά προσέγγιση ανάλογη προς την πυκνότητα του υλικού. Εντούτοις, ακόμη και στις υψηλές τάσεις ή με τη διείδυση των ακτίνων γάμμα, η επίδραση της σύνθεσης επάνω στην απορρόφηση δεν μπορεί να αγνοηθεί κατά εξέταση των υλικών που διαφέρουν ευρέως στον ατομικό αριθμό. Παραδείγματος χάριν, η απορρόφηση του μολύβδου για 1000 kV ακτίνες X είναι περίπου πέντε φορές αυτή ενός ίσου πάχους του χάλυβα, αν και η πυκνότητά του είναι 1,5 φορές μεγαλύτερη.

Το kilovoltage ελέγχει τη δύναμη διείδυσης μιας ακτίνας των ακτίνων X και ως εκ τούτου ελέγχει την ένταση της ακτινοβολίας που περνά μέσω του δείγματος. Δεν είναι δυνατό, εντούτοις, να διευκρινιστεί μια απλή σχέση μεταξύ του kilovoltage και της έντασης των ακτίνων X επειδή τέτοιοι παράγοντες όπως το πάχος και το είδος υλικού που ακτινογραφείται, τα χαρακτηριστικά της ακτίνας X που παράγει τις συσκευές, και εάν η ταινία χρησιμοποιείται μόνο ή με να ενταθούν τις οθόνες ασκούν μια ιδιαίτερη επιρροή σε αυτήν την σχέση. Το ακόλουθο παράδειγμα επεξηγεί αυτό το σημείο:

Τα στοιχεία από ένα δεδομένο διάγραμμα έκθεσης(πίνακας IV) δείχνουν ότι οι ακτινογραφίες της ίσης πυκνότητας μπορούν να αποτελεστούν από το χάλυβα ίντσας 1/4- με καθένα των ακόλουθων συνόλων όρων έκθεσης:

80 Kilovolts, 35 mA-min

120 Kilovolt, 15 mA-min

Κατά συνέπεια, σε αυτήν την περίπτωση, μια αύξηση 50 % στο kilovoltage οδηγεί σε μια αύξηση 23 φορές πάνω στη φωτογραφικά αποτελεσματική ένταση των ακτίνων X.

Αλουμίνιο δύο-ιντσών μπορεί επίσης να ακτινογραφηθεί σε αυτά τα δύο kilovoltages. Οι ίσες πυκνότητες θα οδηγήσουν με τις ακόλουθες σχέσεις έκθεσης:

80 Kilovolts, 17 mA-min

120 Kilovolts, 2.4 mA-min

Σε αυτήν την περίπτωση, η ίδια αύξηση στο kilovoltage οδηγεί σε μια αύξηση της φωτογραφικά αποτελεσματικής έντασης των ακτίνων X που περνά μέσω του δείγματος μόνο επτά φορές. Πολλά άλλα παραδείγματα μπορούν να βρεθούν για να επεξηγήσουν την ακραία μεταβλητότητα της επίδρασης του kilovoltage στην ένταση των ακτίνων X.

### **Ισοδυναμία ακτίνων γ**

Ουσιαστικά οι ίδιες εκτιμήσεις ισχύουν για τις ακτίνες γ στην απορρόφηση, δεδομένου ότι οι ακτινοβολίες είναι παρόμοιας φύσης. Είναι αλήθεια ότι μερικά ραδιενεργά υλικά που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανική ακτινογραφία εκπέμπουν την ακτινοβολία που είναι μονοενεργικά, ή σχεδόν έτσι (παραδείγματος χάριν, κοβάλτιο 60 και καίσιο 137). Εντούτοις, ακόμη και με αυτές τις πηγές, η διασπορά εξαρτάται από το μέγεθος, τη μορφή, και τη σύνθεση του δείγματος, το οποίο αποτρέπει τους νόμους της απορρόφησης από να δηλωθεί ακριβώς. Για εκείνες τις πηγές ακτίνων γ (παραδείγματος χάριν, το ίνδιο 192) που εκπέμπουν διάφορα ιδιαίτερα μήκη κύματος που επεκτείνονται πέρα από μια ευρεία ενεργειακή σειρά, η ομοιότητα στην απορρόφηση των ακτίνων X είναι ακόμα μεγαλύτερη.

Η απορρόφηση ακτίνων γ ενός δείγματος εξαρτάται από το πάχος, την πυκνότητα, και τη σύνθεσή της, όπως η απορρόφηση των ακτίνων X. Εντούτοις, οι συνηθέστερα χρησιμοποιημένες πηγές ακτίνων γ εκπέμπουν τις ακτινοβολίες υψηλής διεξόδου που αντιστοιχούν στις ιδιότητες ακτινοβολίας X υψηλής τάσεως. Ο πίνακας ανωτέρω (σελ 62) δείχνει ότι οι απορροφήσεις των διάφορων υλικών για τη διεξόδου των ακτίνων γάμμα είναι παρόμοιες με τις απορροφήσεις τους για τις υψηλής τάσεως ακτίνες X -- δηλαδή οι απορροφήσεις των υλικών αρκετά κοντά στον ατομικό αριθμό είναι κατά προσέγγιση ανάλογες προς τις πυκνότητές τους. Όπως με τις υψηλής τάσεως ακτίνες X, αυτό δεν ισχύει για τα υλικά, όπως ο χάλυβας και ο μόλυβδος, τα οποία διαφέρουν ευρέως στον ατομικό αριθμό.

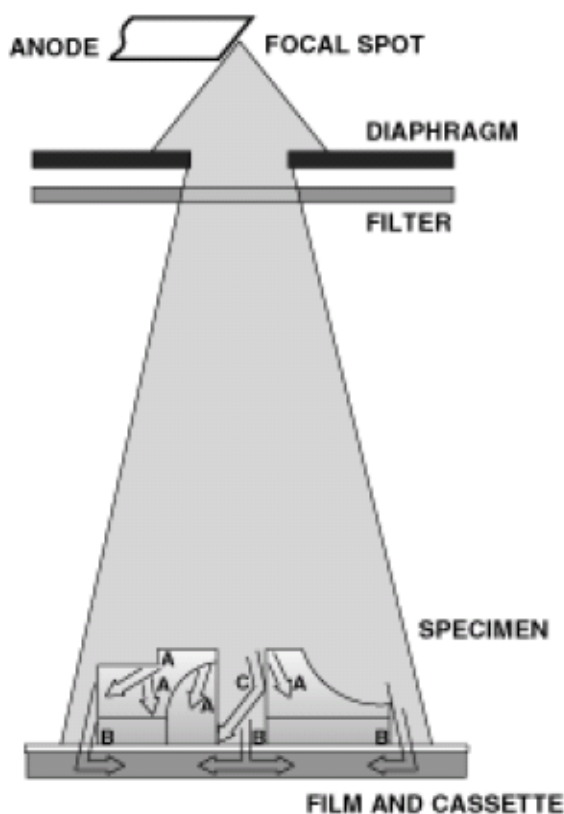


## Διασπαρμένη ακτινοβολία

Όταν μια ακτίνα των ακτίνων X ή των ακτίνων γάμμα χτυπά οποιοδήποτε αντικείμενο, κάποια από την ακτινοβολία απορροφώνται, κάποια διασκορπίζονται (ακτινοβολία διασποράς), και κάποια παίρνει κατ' ευθείαν μέσα από το δοκίμιο. Τα ηλεκτρόνια των ατόμων που αποτελούν την ακτινοβολία διασποράς κατευθύνονται προς όλες τις κατευθύνσεις, όπως το φως διασκορπίζεται από την ομίχλη. Τα μήκη κύματος ενός μεγάλου μέρους της ακτινοβολίας αυξάνονται με τη διασκορπίζοντας διαδικασία, και ως εκ τούτου η διασπορά είναι πάντα κάπως "ομαλότερη," ή λιγότερο διεξόδυση, απ' ό,τι η αρχική ακτινοβολία. Οποιοδήποτε υλικό - είτε δείγμα, κασέτα, τοίχοι, είτε πάτωμα -- που λαμβάνουν την άμεση ακτινοβολία είναι μια πηγή διασπαρμένης ακτινοβολίας. Εάν δεν προβούμε στα κατάλληλα μέτρα για να μειωθεί το φαινόμενο της διασποράς, θα υπάρξει μείωση της αντίθεσης σε ολόκληρη την εικόνα ή σε μέρη από αυτήν. Η διασπορά της ακτινοβολίας εμφανίζεται, και είναι ένα πρόβλημα, στην ακτινογραφία και με τις ακτίνες X και με τις ακτίνες γάμμα.

Στην ακτινογραφία των παχιών υλικών, η διεσπαρμένη ακτινοβολία διαμορφώνει το μεγαλύτερο ποσοστό της συνολικής ακτινοβολίας. Παραδείγματος χάριν, στην ακτινογραφία ενός πάχους 3/4-ίντσας του χάλυβα, η διεσπαρμένη ακτινοβολία από το δείγμα είναι σχεδόν δύο φορές εντονότερη από την αρχική ακτινοβολία στην ακτινογραφία ενός πάχους 2 ίντσας του αλουμινίου, η διεσπαρμένη ακτινοβολία είναι 2,5 μεγαλύτερη από την αρχική ακτινοβολία. Όπως μπορεί να αναμένεται, η παρεμπόδιση της διασποράς από την επίτευξη της ταινίας βελτιώνει εμφανώς την ποιότητα της ακτινογραφικής εικόνας.

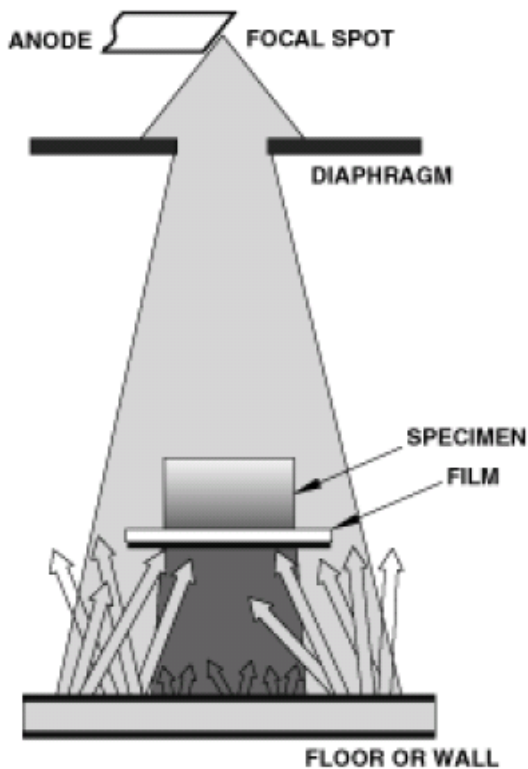
**Σχήμα 22: Πηγές διεσπαρμένης ακτινοβολίας. A: Διαβιβασθείσα διασπορά. B: Διασπορά από την κασέτα. Γ: Διασπορά "αντανάκλασης".**



Καταρχήν, η μεγαλύτερη μερίδα της διεσπαρμένης ακτινοβολίας που έχει επιπτώσεις στην ταινία είναι από το δείγμα υπό εξέταση (A στον σχήμα 22). Εντούτοις, οποιαδήποτε μερίδα του κατόχου ή της κασέτας ταινιών που επεκτείνεται πέρα από τα όρια του δείγματος και με αυτόν τον τρόπο λαμβάνει την άμεση ακτινοβολία από το σωλήνα ακτίνων X γίνεται επίσης μια πηγή διεσπαρμένης ακτινοβολίας, η οποία μπορεί να έχει επιπτώσεις στην ταινία. Η επιρροή αυτής της διασποράς είναι η πιο αξιοπρόσεκτη ακριβώς μέσα στα σύνορα της

εικόνας (B στον σχήμα 22). Κατά τρόπο παρόμοιο, η αρχική ακτινοβολία που χτυπά τον κάτοχο ή την κασέτα ταινιών μέσω μιας λεπτής μερίδας του δείγματος θα προκαλέσει τη διασπορά στις σκιές των παρακείμενων παχύτερων μερίδων. Τέτοια διασπορά καλείται 'χτύπημα' (undercut). Μια άλλη πηγή διασποράς που μπορεί να περικόψει ένα δείγμα παρουσιάζεται ως C στον σχήμα 22. Εάν ένα φίλτρο χρησιμοποιείται κοντά στο σωλήνα, αυτό επίσης θα διασκορπίσει τις ακτίνες X. Εντούτοις, λόγω της απόστασης από την ταινία, που διασκορπίζει από αυτήν την πηγή είναι αμελητέας σπουδαιότητας. Οποιοδήποτε άλλο υλικό, όπως ένας τοίχος ή ένα πάτωμα, στην ταινία η πλευρά του δείγματος μπορεί επίσης να διασκορπίσει μια αξιόλογη ποσότητα ακτίνων X πίσω στην ταινία, ειδικά εάν το υλικό λαμβάνει την άμεση ακτινοβολία από την πηγή σωλήνων των ακτίνων X ή gamma-ray (σχήμα 23). Αυτό αναφέρεται ως αναδρομικά διασκορπισμένη ακτινοβολία (backscattered radiation).

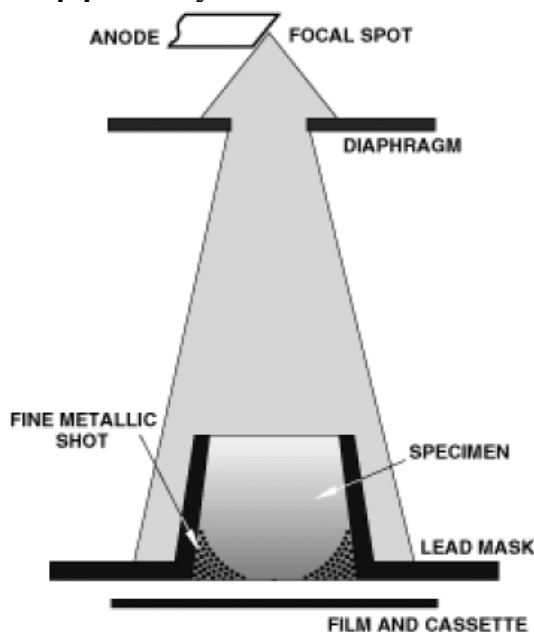
**Σχήμα 23: Η έντονη αναδρομικά διασκορπισμένη ακτινοβολία μπορεί να δημιουργηθεί στο πάτωμα ή τον τοίχο. Η υποστήριξη της κασέτας με το μόλυβδο μπορεί να δώσει την επαρκή προστασία.**



## Μείωση της διασποράς

Αν και η διεσπαρμένη ακτινοβολία δεν μπορεί ποτέ να αποβληθεί πλήρως, διάφορα μέσα είναι διαθέσιμα για να μειώσουν την επίδρασή του. Οι διάφορες μέθοδοι συζητούνται από την άποψη των ακτίνων X. Αν και οι περισσότερες από τις ίδιες αρχές ισχύουν για την ακτινογραφία με ακτίνες γ, οι διαφορές στην εφαρμογή προκύπτουν λόγω της ακτινοβολίας ιδιαίτερα διείσδυσης που εκπέμπεται από τις περισσότερες κοινές βιομηχανικές πηγές ακτίνων γ. Παραδείγματος χάριν, μια μάσκα (ότι σχήμα 24) για τη χρήση με 200 kV ακτίνες X θα μπορούσε εύκολα να είναι αρκετά ελαφριά και λεπτή για τον κατάλληλο χειρισμό. Μια μάσκα για τη χρήση ακτινοβολίας με το κοβάλτιο 60, αφ' ετέρου, θα ήταν παχιά, βαριά, και πιθανώς δυσκίνητη. Εν πάση περιπτώσει, με είτε τις ακτίνες X είτε τις ακτίνες γάμμα, τα μέσα για τα αποτελέσματα της διεσπαρμένης ακτινοβολίας πρέπει να επιλεγούν βάσει του κόστους, της ευκολίας, και της αποτελεσματικότητας.

**Σχήμα 24:** Η συνδυασμένη χρήση του μεταλλικού 'πυροβολισμού' και μιας μάσκας μολύβδου για την ελάττωση της διεσπαρμένης ακτινοβολίας είναι συμβάλλουσα στην υψηλή ακτινογραφική ποιότητα. Εάν διάφοροι στρογγυλοί φραγμοί πρόκειται να ακτινογραφηθούν, μπορούν να χωριστούν με τις λουρίδες μολύβδου που κρατούνται στην άκρη σε ένα ξύλινο πλαίσιο και τα κενά που γεμίζουν με το λεπτό 'πυροβολισμό'.



### Οθόνες φύλλων μολύβδου

Οι οθόνες μολύβδου, που τοποθετούνται σε επαφή με την ταινία, μικραίνουν την επίδραση στην ταινία της διεσπαρμένης ακτινοβολίας από όλες τις πηγές. Είναι υπεράνω αμφιβολίας τα πιο χαμηλού κόστους, καταλληλότερα, και περισσότερα παγκοσμίως εφαρμόσιμα μέσα τα αποτελέσματα της διεσπαρμένης ακτινοβολίας. Οι οθόνες μολύβδου ελαττώνουν τη διασπορά που φθάνει στις ταινίες ανεξάρτητα από εάν οι οθόνες επιτρέπουν μια μείωση ή απαιτούν μια αύξηση στην ακτινογραφική έκθεση.

Πολλοί κάτοχοι έκθεσης των ακτίνων X (film) ενσωματώνουν ένα φύλλο μολύβδου στην πλάτη για το συγκεκριμένο σκοπό την ταινία από την οπισθοδιασπορά. Αυτός ο μολύβδος δεν θα χρησιμεύσει ως "βοηθός" στην αντίθεση της ακτινογραφίας, πρώτον, επειδή έχει συνήθως μια αντιμετώπιση εγγράφου, και το δεύτερον επειδή δεν είναι ο συχνά χρησιμοποιούμενος μολύβδος της "ακτινογραφικής ποιότητας". Εάν χρησιμοποιηθούν οι οθόνες που έχουν με τέτοιους κατόχους, πρέπει να γίνουν τα απαραίτητα μέσα για να ασφαλίσουν την καλή ποιότητα ακτινογραφίας.

Οι κασέτες ταινιών των ακτίνων X `επίσης εγκαθίστανται συνήθως με ένα φύλλο μολύβδου στην πλάτη για την προστασία ενάντια στην οπισθοδιασπορά. Χρησιμοποιώντας έναν τέτοιο

κάτοχο κασετών ή ταινιών με τις ακτίνες γάμμα ή με ακτίνες X του 1 MV, η ταινία πρέπει πάντα να εσωκλειστούν μεταξύ των διπλών οθονών μολύβδου διαφορετικά, η δευτεροβάθμια ακτινοβολία από την υποστήριξη μολύβδου είναι επαρκής για να διαπεράσει να επέμβει αισθητά στο έγγραφο και να πετάξει μια σκιά της δομής αυτού του υλικού στην ταινία, που δίνει μια κοκκώδη ή διαστιγμένη εμφάνιση. Αυτή η επίδραση μπορεί επίσης να εμφανιστεί στις τάσεις τόσο χαμηλές όπως 200 kV εκτός αν η ταινία εσωκλείεται μεταξύ του φύλλου μολύβδου .

### **Μάσκες και διαφράγματα**

Η διεσπαρμένη ακτινοβολία που δημιουργείται σε θέμα έξω από το δείγμα είναι η σοβαρότερη για τα δείγματα που έχουν την υψηλή απορρόφηση για τις ακτίνες X, επειδή η διασπορά από τις εξωτερικές πηγές μπορεί να είναι μεγάλη έναντι της αρχικής διαμορφώνοντας ακτινοβολίας που φθάνει στην ταινία μέσω του δείγματος. Συχνά, η πιο ικανοποιητική μέθοδος για αυτήν την διασπορά είναι να χρησιμοποιηθούν τα διαφράγματα διακοπής ή κάποια άλλη μορφή μάσκας που τοποθετούνται πέρα από ή γύρω από το αντικείμενο που ακτινογραφείται. Εάν πολλά δείγματα του ίδιου μεγέθους πρόκειται να ακτινογραφηθούν, μπορεί να είναι σημαντικό να κοπεί ένα άνοιγμα της ίδιας μορφής, αλλά ελαφρώς μικρότερο, σε ένα φύλλο του μολύβδου και να τοποθετηθεί αυτό στο αντικείμενο. Ο μολύβδος χρησιμεύει να μειώσει την έκθεση στις περιβάλλουσες περιοχές σε μια αμελητέα τιμή και επομένως να αποβάλει τη διεσπαρμένη ακτινοβολία από αυτήν την πηγή. Δεδομένου ότι η διασπορά προκύπτει επίσης από το ίδιο το δείγμα, είναι ορθή πρακτική οπουδήποτε είναι δυνατόν, για να περιορίσει μια των ακτίνων X ακτίνα για να καλύψει μόνο την περιοχή του δείγματος που είναι ενδιαφέρον στην εξέταση.

Για τα περιστασιακά κομμάτια μια ακτινογραφίας όπου ένα διάφραγμα διακοπής δεν θα ήταν οικονομικό, ο άργιλος βάριου που συσκευάζεται γύρω από το δείγμα θα εξυπηρετήσει τον ίδιο σκοπό. Ο άργιλος πρέπει να είναι αρκετά 'παχύς' έτσι ώστε το πάχος των ταινιών να είναι κάπως λεπτότερο από αυτός κάτω από το δείγμα. Διαφορετικά, ο ίδιος ο άργιλος συμβάλλει στην διεσπαρμένη ακτινοβολία.

Μπορεί να είναι συμφέρον να τοποθετηθεί το αντικείμενο στο αργίλιο και να χρησιμοποιηθεί ένας υγρός απορροφητής, υπό τον όρο ότι το υγρό που επιλέγεται δεν θα βλάψει το δείγμα. Μια συνδυασμένη διαποτισμένη λύση του οξικού άλατος μολύβδου και του νιτρικού άλατος μολύβδου είναι ικανοποιητική.

Για να προετοιμάσετε αυτήν την λύση, διαλύστε τις περίπου 3,5 λίβρες του οξικού άλατος μολύβδου σε 1 γαλόνι του καυτού ύδατος. Όταν το οξικό άλας μολύβδου είναι στη λύση, προσθέστε περίπου 3 λίβρες του νιτρικού άλατος μολύβδου.

Λόγω του υψηλού περιεχομένου μολύβδου της, αυτή η λύση είναι ισχυρός απορροφητής των ακτίνων X.

Μια από τις πιο ικανοποιητικές ρυθμίσεις, που συνδυάζουν την αποτελεσματικότητα και την ευκολία, είναι να τυλίξουμε το αντικείμενο με χαλκό ή χάλυβας μιας διαμέτρου περίπου 0,01 ίντσες ή λιγότερο ( σχήμα 24). Αυτό το υλικό "ρέει" χωρίς να τρέξει άσχημα. Είναι επίσης πολύ αποτελεσματικό για τις κοιλότητες στα ανώμαλα αντικείμενα, όπως οι χυτεύσεις, όπου μια κανονική έκθεση για τα παχιά μέρη θα οδηγούσε σε μια υπερέκθεση για τα λεπτότερα μέρη. Φυσικά, είναι προτιμητέο να γίνουν οι χωριστές εκθέσεις για τα παχιά και λεπτά μέρη, αλλά αυτό είναι όχι πάντα πρακτικό.

Σε μερικές περιπτώσεις, ένα διάφραγμα μολύβδου ή ένας κώνος μολύβδου στο 'κεφάλι' σωλήνων μπορεί να είναι ένας κατάλληλος τρόπος να περιοριστεί η περιοχή που καλύπτεται από την ακτίνα των ακτίνων X. Τέτοια διαφράγματα μολύβδου είναι ιδιαίτερα χρήσιμα όπου το επιθυμητό διαγώνιο τμήμα της ακτίνας είναι ένας απλός γεωμετρικός αριθμός, όπως ένας κύκλος, ένα τετράγωνο, ή ένα ορθογώνιο.

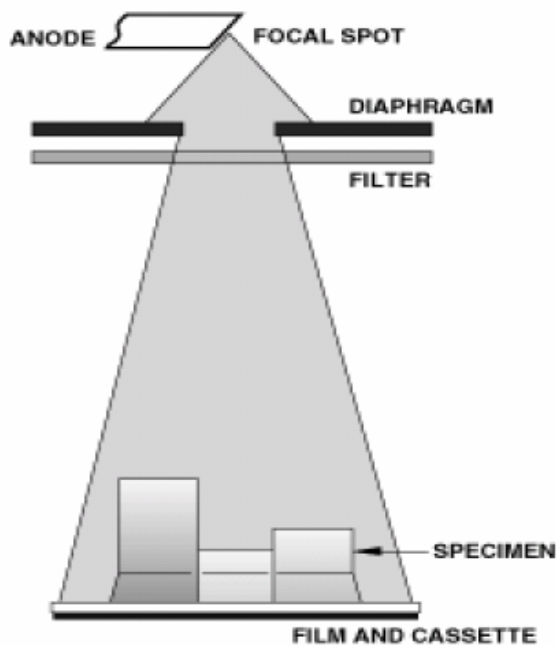
### **Φίλτρα**

Γενικά, η χρήση των φίλτρων περιορίζεται στην ακτινογραφία με τις ακτίνες X. Ένα απλό μεταλλικό φίλτρο που τοποθετείται στην ακτίνα των ακτίνων X κοντά στον σωλήνα των ακτίνων X (ότι σχήμα 25) μπορεί επαρκώς να εξυπηρετήσει το σκοπό την υπερέκθεση στις λεπτές περιοχές του δείγματος και στην περιοχή που περιβάλλει το μέρος. Ένα τέτοιο φίλτρο είναι ιδιαίτερα χρήσιμο να μειώσει τη διασπορά που περικλύπτεται σε περιπτώσεις όπου μια

μάσκα γύρω από το δείγμα είναι μη πρακτική, ή όπου το δείγμα θα τραυματιζόταν από τις χημικές ουσίες ή τον πυροβολισμό. Φυσικά, μια αύξηση στην έκθεση ή το kilovoltage θα απαιτηθεί για να αντισταθμίσει την πρόσθετη απορρόφηση αλλά, σε περιπτώσεις όπου η μέθοδος φίλτρων ισχύει, αυτό δεν είναι σοβαρό εκτός αν το όριο της μηχανής των ακτίνων X έχει επιτευχθεί.

Η ελλογέουσα αρχή της μεθόδου είναι ότι η προσθήκη του υλικού φίλτρων προκαλεί μια πολύ μεγαλύτερη αλλαγή στο ποσό ακτινοβολίας που περνά μέσω των λεπτών μερών απ'ό,τι μέσω των παχύτερων μερών. Υποθέστε ότι η μορφή ενός ορισμένου δείγματος χάλυβα είναι όπως φαίνεται στο σχήμα 25 και ότι τα πάχη είναι 1/4 ίντσα, 1/2 ίντσα, και 1 ίντσα. Αυτό το δείγμα ακτινογραφείται πρώτα χωρίς το φίλτρο, και έπειτα με ένα φίλτρο κοντά στο σωλήνα.

**Σχήμα 25:** Ένα φίλτρο που τοποθετείται κοντά στον των ακτίνων X σωλήνα μειώνει την υπαγόμενη αντίθεση και αποβάλλει ένα μεγάλο μέρος της δευτεροβάθμιας ακτινοβολίας, η οποία τείνει να κρύψει τη λεπτομέρεια στην περιφέρεια του δείγματος.



Η στήλη 3 του παρακάτω πίνακα παρουσιάζει κατωτέρω το ποσοστό της αρχικής των ακτίνων X έντασης που παραμένει μετά από την προσθήκη του φίλτρου, υποθέτοντας και τις δύο εκθέσεις έγινε σε 180 kV. (Αυτές οι τιμές προσδιορίστηκαν από τα πραγματικά στοιχεία διαγραμμάτων έκθεσης.)

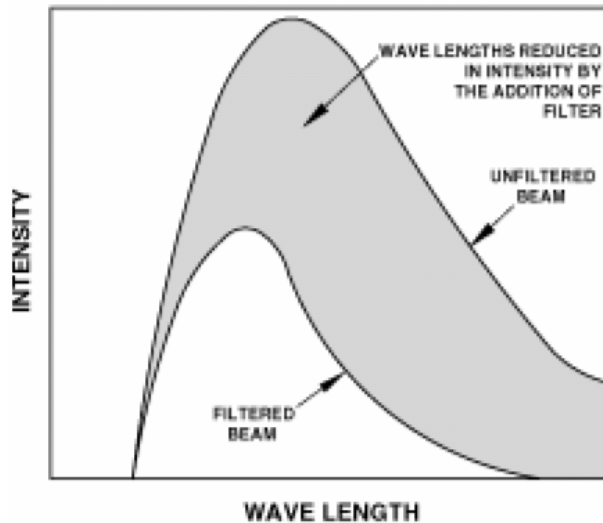
Περιοχή	Πάχος δειγμάτων (ίντσες)	Ποσοστό της αρχικής έντασης των ακτίνων X που παραμένει μετά από την προσθήκη ενός φίλτρου
Εξωτερικό δείγμα	0	λιγότερο από 5%
Λεπτό τμήμα	1/4	περίπου 30%
Μέσο τμήμα	1/2	περίπου 40%
Παχύ τμήμα	1	περίπου 50%

Σημειώστε ότι η μέγιστη *αλλαγή ποσοστού* στην ένταση των ακτίνων X είναι στα λεπτότερα μέρη του δείγματος και στην περιοχή ταινιών που περιβάλλει αυτήν. Το φίλτρο μειώνει από μια μεγάλη αναλογία την ένταση των ακτίνων X που περνά μέσω των λεπτών τμημάτων ή που κολλά την κασέτα γύρω από το δείγμα, και ως εκ τούτου μειώνει το χτύπημα της διασποράς από αυτές τις πηγές. Κατά συνέπεια, *στις περιοχές του ισχυρού χτυπήματος*, η αντίθεση *αυξάνεται* με την χρήση ενός φίλτρου δεδομένου ότι η μόνη επίδραση της περικοπή διασπαρμένης ακτινοβολίας είναι να 'κρύψει' την πραγματική εικόνα. Στις περιοχές όπου το χτύπημα είναι αμελητέο, ένα φίλτρο έχει την επίδραση της *μείωσης* της αντίθεσης στην τελική ακτινογραφία.

Αν και συχνά η υψηλότερη πιθανή αντίθεση επιδιώκεται, υπάρχουν ορισμένες περιπτώσεις στις οποίες πάρα πολλή αντίθεση είναι ένα καθορισμένο μειονέκτημα. Παραδείγματος χάριν, μπορεί να επιδιωχτεί να κατασταθεί η λεπτομέρεια ορατή σε όλα τα μέρη ενός δείγματος που έχει τις ευρείες παραλλαγές του πάχους. Εάν η έκθεση γίνεται για να δώσει μια χρησιμοποιήσιμη πυκνότητα στο λεπτό μέρος, η παχιά περιοχή μπορεί να είναι υπό-εκτεθειμένη. Εάν η έκθεση ρυθμίζεται για να δώσει μια κατάλληλη πυκνότητα στα παχιά μέρη, η εικόνα των λεπτών τμημάτων μπορεί να είναι συνολικά υπέρ-εκτεθειμένη.

Ένα φίλτρο μειώνει την υπερβολική υπαγόμενη αντίθεση (και ως εκ τούτου ακτινογραφική αντίθεση) με τη σκλήρυνση της ακτινοβολίας. Τα πιο μακριού μήκους κύματος δεν διαπερνούν το φίλτρο σε μια τόσο μεγάλη έκταση όπως τα πιο σύντομα μήκη κύματος. Επομένως, η ακτίνα που προκύπτει από το φίλτρο περιέχει ένα μεγαλύτερο μέρος των μηκών κύματος διεύθυνσης. Το σχήμα 26 επεξηγεί αυτό γραφικά. Υπό την έννοια ότι μια διαπερνώντας ακτίνα παράγεται, το φιλτράρισμα είναι ανάλογο με την αύξηση του kilovoltage. Εντούτοις, απαιτεί μια συγκριτικά μεγάλη αλλαγή στο kilovoltage για να αλλάξει τη σκληρότητα μιας ακτίνας X όπως ακριβώς και θα προκύψει από την προσθήκη ενός μικρού ποσού διήθησης.

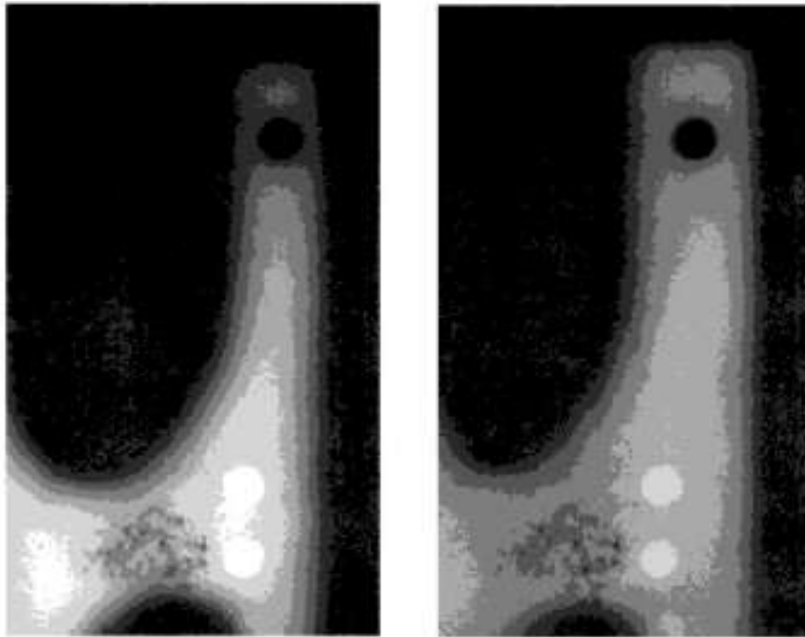
**Σχήμα 26: Καμπύλες που επεξηγούν την επίδραση ενός φίλτρου στη σύνθεση και την ένταση μιας ακτίνας-X.**



Αν και το φιλτράρισμα μειώνει τη συνολική ποσότητα ακτινοβολίας, τα περισσότερα από τα μήκη κύματος αφαιρούμενα είναι εκείνα που δεν θα διαπερνούσαν τις παχύτερες μερίδες του δείγματος. Η αφαιρούμενη ακτινοβολία θα οδηγούσε μόνο σε μια υψηλή ένταση στις περιοχές γύρω από το δείγμα και στο πλαίσιο των λεπτότερων τμημάτων της, με τη συνοδευτική διασπορά που περικλύονται και την υπερέκθεση. Η σκληρότερη ακτινοβολία που λαμβάνεται με το φιλτράρισμα της ακτίνας  $-X$  παράγει μια ακτινογραφία της χαμηλότερης αντίθεσης, επιτρέποντας κατά συνέπεια σε ένα ευρύτερο φάσμα των παχών δειγμάτων για να καταγραφεί σε μια ενιαία ταινία που διαφορετικά θα ήταν αδύνατη.

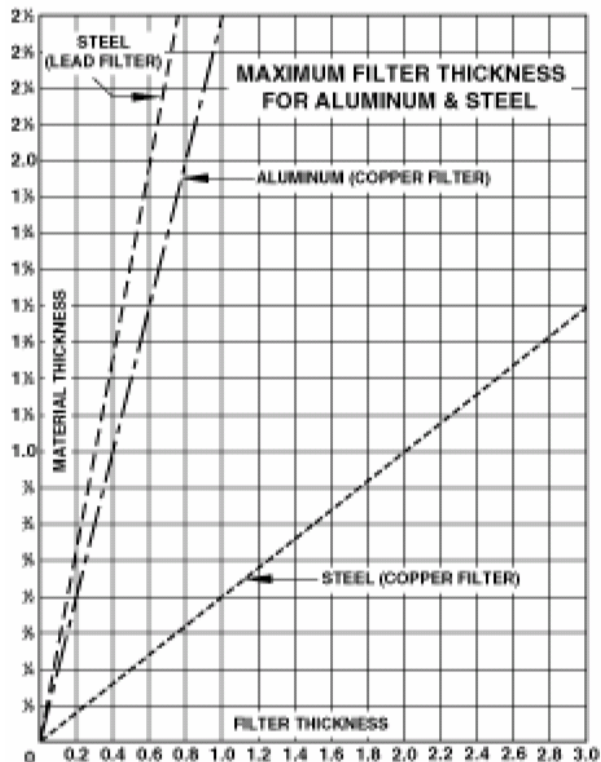
Κατά συνέπεια, ένα φίλτρο μπορεί να ενεργήσει είτε για να αυξήσει είτε για να μειώσει την καθαρή αντίθεση. Οι παράγοντες της αντίθεσης και της διαφάνειας *αυξάνονται* από την αφαίρεση της διασποράς που περικλύει το δείγμα (σχήμα 27) και *μειώνονται* με τη σκλήρυνση της αρχικής ακτίνας. Η φύση του μεμονωμένου δείγματος θα καθορίσει όποιος αυτών των αποτελεσμάτων θα υπερισχύσει ή εάν και τα δύο θα εμφανιστούν στα διαφορετικά μέρη του ίδιου δείγματος.

**Σχήμα 27:** Τμήματα μιας ακτινογραφίας μιας αποκαλυμμένης ρίψης 1 1/8-ίντσας, που γίνονται σε 200 kV χωρίς φίλτρο (αριστερά), και όπως βελτιώνεται από το φίλτρο στο σωλήνα ακτίνων-X (δεξιά).



Η επιλογή ενός υλικού φίλτρων πρέπει να γίνει βάσει της διαθεσιμότητας και της ευκολίας. Για την ίδια επίδραση φιλτραρίσματος, το πάχος του φίλτρου που απαιτείται είναι μικρότερο για εκείνα τα υλικά που έχουν την υψηλότερη απορρόφηση. Σε πολλές περιπτώσεις, ο χαλκός ή ο ορείχαλκος είναι ο πιο διαδεδομένος, δεδομένου ότι τα φίλτρα αυτών των υλικών θα είναι αρκετά λεπτά να τα χειριστούν εύκολα, όμως όχι τόσο λεπτά ώστε να είναι ευαίσθητα. (Σχήμα 28)

**Σχήμα 28:** Μέγιστο πάχος φίλτρων για το αργίλιο και το χάλυβα.





Οι καθορισμένοι κανόνες ως προς τα πάχη φίλτρων είναι δύσκολο να διατυπωθούν ακριβώς επειδή το ποσό διήθησης που απαιτείται εξαρτάται όχι μόνο από το υλικό και τη σειρά πάχους του δείγματος, αλλά και στη δομή του υλικού στο δείγμα και στο ποσό διασποράς που προσπαθεί να αποβάλει. Στην ακτινογραφία του αλουμινίου, ένα φίλτρο του χαλκού περίπου 4% του μέγιστου πάχους του δείγματος θεωρείται απαραίτητο. Με το χάλυβα, ένα φίλτρο χαλκού πρέπει συνήθως να είναι περίπου 20%, ή ένα φίλτρο μολύβδου για 3%, του μέγιστου πάχους δειγμάτων για το μέγιστο φιλτράρισμα της διασπαρμένης ακτινοβολίας. Οι προηγούμενες τιμές είναι μέγιστες τιμές, και, ανάλογα με τις περιστάσεις, οι χρήσιμες ακτινογραφίες μπορούν συχνά να γίνουν με την πολύ μικρότερα φίλτρα.

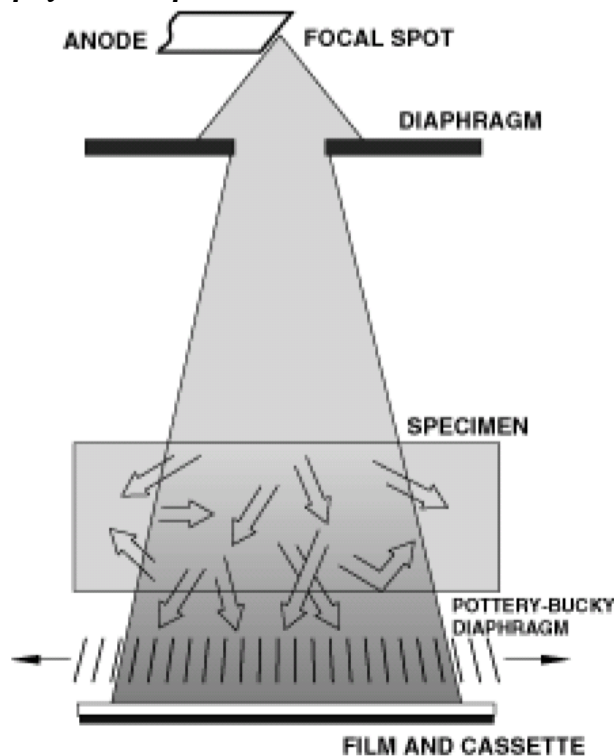
Στην ακτινογραφία με τις ακτίνες X μέχρι τουλάχιστον 250 kV, η μπροστινή οθόνη μολύβδου 0,005-ίντσας χρησιμοποιείτε συνήθως ως ένα αποτελεσματικό φίλτρο για τη διασπορά από τον όγκο του δείγματος. Το πρόσθετο φίλτρο μεταξύ του δείγματος και της ταινίας τείνει μόνο να συμβάλει την πρόσθετη διασπορά από το ίδιο το φίλτρο. Το χτύπημα διασποράς μπορεί να μειωθεί με την προσθήκη ενός κατάλληλου φίλτρου στο σωλήνα όπως αναφέρθηκε πριν (βλ. επίσης το σχήμα 27). Αν και το φίλτρο κοντά στο σωλήνα προκαλεί τη διεσπαρμένη ακτινοβολία, η διασπορά εκπέμπεται σε όλες τις κατευθύνσεις, και δεδομένου ότι η ταινία είναι μακριά από το φίλτρο, η διασπορά που φθάνει στην ταινία είναι πολύ χαμηλής έντασης.

Τα περαιτέρω πλεονεκτήματα του φίλτρου κοντά στον σωλήνα των ακτίνων X είναι ότι η απόσταση δείγμα-ταινιών περιορίζεται στο ελάχιστο και ότι οι “γρατσουниές” και τα “ζουλίγματα” στο φίλτρο είναι τόσο θολωμένες που οι εικόνες τους δεν είναι προφανείς στην ακτινογραφία.

#### **Διαφράγματα πλέγματος**

Ένας από τους αποτελεσματικότερους τρόπους να μειωθεί η διεσπαρμένη ακτινοβολία από ένα αντικείμενο που ακτινογραφείται είναι μέσω της χρήσης ενός “Potter-Bucky” διαφράγματος. Αυτή η συσκευή (ότι σχήμα 28) αποτελείται από ένα κινούμενο πλέγμα, που αποτελείται από μια σειρά λουρίδων μολύβδου που διατηρούνται σε θέση από τις επεμβαίνοντας λουρίδες ενός υλικού διαφανούς στις ακτίνες X. Οι λουρίδες μολύβδου είναι χαραγμένες, έτσι ώστε η πλάκα από το κάθε ένα ευθυγραμμίζετε με το εστιακό σημείο του σωλήνα. Οι αυλακώσεις μεταξύ των λουρίδων μολύβδου είναι αρκετοί φορές τόσο βαθιοί όσο είναι τραχύς. Οι παράλληλες λουρίδες μολύβδου απορροφούν τις διάφορες διεσπαρμένες ακτίνες από το αντικείμενο που ακτινογραφείται, έτσι ώστε η μεγαλύτερη μέρος της έκθεσης γίνεται από τις αρχικές ακτίνες που προέρχονται από το εστιακό σημείο του σωλήνα και που περνούν μεταξύ των λουρίδων μολύβδου. Κατά τη διάρκεια της έκθεσης, το πλέγμα κινείται, ή ταλαντεύεται, σε μια πλάκα παράλληλη στην ταινία όπως παρουσιασμένος από τα μαύρα βέλη στο σχήμα 28. Κατά συνέπεια, οι σκιές των λουρίδων μολύβδου είναι “θολές” έτσι ώστε δεν εμφανίζονται στην τελική ακτινογραφία.

**Σχήμα 28:** Σχηματικό διάγραμμα που επιδεικνύει πώς οι αρχικές ακτίνες X περνούν μεταξύ των λουρίδων μολύβδου του “Potter-Bucky” διαφράγματος ενώ οι περισσότερες από τις διεσπαρμένες ακτίνες X απορροφώνται επειδή χτυπούν τις πλευρές των λουρίδων.



Η χρήση του “Potter-Bucky” διαφράγματος στη βιομηχανική ακτινογραφία περιπλέκει την τεχνική ως ένα ορισμένο βαθμό και περιορίζει απαραίτητως την ευελιξία της ρύθμισης του σωλήνα των ακτίνων X, του δείγματος, και της ταινίας. Τα πλέγματα μπορούν, εντούτοις, να είναι πολύ σημαντικοί μεγάλη στην ακτινογραφία του βηρυλλίου περισσότερες από περίπου 3 ίντσες παχιά και στην εξέταση άλλων υλικών χαμηλής-απορρόφησης των μέτριων και μεγάλων παχών. Για αυτά τα υλικά, τα kilovoltages στην ιατρική ακτινογραφική σειρά χρησιμοποιούνται, και οι ιατρικές μορφές “Potter-Bucky” διαφραγμάτων είναι κατάλληλες. Οι αναλογίες πλέγματος (η αναλογία του ύψους προς στο πλάτος των κορυφή μεταξύ των λουρίδων μολύβδου) πρέπει να είναι 12 ή περισσότερο.

Το “Potter-Bucky” διάφραγμα χρησιμοποιείται σπάνια αλλού στο βιομηχανικό τομέα, αν και οι ειδικές μορφές έχουν σχεδιαστεί για την ακτινογραφία του χάλυβα με τις τάσεις τόσο υψηλές όπως 200 έως 400 kV. Αυτά τα διαφράγματα δεν χρησιμοποιούνται στις υψηλότερες τάσεις ή με τις ακτίνες γάμμα επειδή οι σχετικά παχιές λουρίδες μολύβδου θα απαιτούνταν για να απορροφήσουν την ακτινοβολία που διασκορπίζεται σε αυτές τις ενέργειες. Αυτό στη συνέχεια θα απαιτούσε ένα “Potter-Bucky” διάφραγμα, και το σχετικό μηχανισμό, ενός αντοικονομικών μεγέθους και μιας πολυπλοκότητας.

“Στοίχιση”( **Mottling**) που προκαλείται από την διάθλαση των ακτίνων X  
Μια ειδική μορφή διασποράς που προκαλείται από την διάθλαση των ακτίνων X αντιμετωπίζεται περιστασιακά. Συχνότερα παρατηρείται στην ακτινογραφία των αρκετά λεπτών μεταλλικών δειγμάτων των οποίων το μέγεθος κόκκου είναι αρκετά μεγάλο ώστε να εμφανιστεί ως μέρος του πάχους μερών. Η ακτινογραφική εμφάνιση αυτού του τύπου διασποράς είναι το Mottling. Μπορεί να διακριθεί από αυτούς τους όρους με την παραγωγή δύο διαδοχικών ακτινογραφιών, με το δείγμα που περιστρέφεται ελαφρώς μεταξύ των εκθέσεων, σε έναν κάθετο άξονα στην κεντρική ακτίνα. Ένα σχέδιο που προκαλείται από το πορώδες ή το διαχωρισμό θα αλλάξει μόνο ελαφρώς εντούτοις, το ένα που προκαλείται αλλαγή από τη διάθλαση θα παρουσιάσει χαρακτηρισμένη. Οι ακτινογραφίες μερικών δειγμάτων θα παρουσιάσουν το Mottling και από τα αποτελέσματα, και η προσεκτική παρατήρηση απαιτούνται για να διαφοροποιήσουν μεταξύ τους.

Εν συντομία, ένα σχετικά μεγάλος κρύσταλλος ή ένας κόκκος σε ένα σχετικά λεπτό δείγμα μπορεί σε μερικές περιπτώσεις "να απεικονίσει" μια αξιόλογη μερίδα της ενέργειας των ακτίνων X που αφορά το δείγμα, πολύ σαν ήταν ένας μικρός καθρέφτης. Αυτό θα οδηγήσει σε ένα ελαφρύ σημείο στην εμφανισμένη ακτινογραφία που αντιστοιχεί στη θέση του ιδιαίτερου κρυστάλλου και μπορεί επίσης να παραγάγει ένα σκοτεινό σημείο σε μια άλλη θέση εάν προξενήσει περίθλαση, ή "απεικονισμένη," ακτίνα χτυπήσει την ταινία. Εάν χτυπήσει αυτή η ακτίνα την ταινία κάτω από ένα παχύ μέρος του δείγματος, το σκοτεινό σημείο μπορεί να μπερδευτεί με ένα κενό στο παχύ τμήμα. Αυτή η επίδραση δεν παρατηρείται στην περισσότερη βιομηχανική ακτινογραφία, επειδή τα περισσότερα δείγματα αποτελούνται από ένα πλήθος πολύ μικρών κρυστάλλων ή σιταριών, προσανατολισμένο ποικιλοτρόπως ως εκ τούτου, η διασπορά από τη διάθλαση είναι ουσιαστικά ομοιόμορφη πέρα από την περιοχή ταινιών. Επιπλέον, η άμεσα διαβιβασθείσα ακτίνα μειώνει συνήθως την αντίθεση στο σχέδιο διάθλασης σε ένα σημείο όπου δεν είναι πλέον ορατή στην ακτινογραφία.

Το Mottling που προκαλείται από τη διάθλαση μπορεί να μειωθεί, και να αποβληθεί σε μερικές περιπτώσεις, με την αύξηση του kilovoltage και με τη χρησιμοποίηση των οθονών φύλλων μολύβδου. Το πρώτο είναι συχνά θετικής αξίας ακόμα κι αν η ακτινογραφική αντίθεση μειώνεται. Δεδομένου ότι οι καθορισμένοι κανόνες είναι δύσκολο να διατυπωθούν, και οι δύο προσεγγίσεις πρέπει να δοκιμαστούν σε μια νέα κατάσταση, ή ίσως και οι δύο να χρησιμοποιηθούν από κοινού.

Πρέπει να σημειωθεί, εντούτοις, ότι στις ίδιες περιπτώσεις, η παρουσία ή η απουσία του Mottling που προκαλείται από τη διάθλαση έχει χρησιμοποιηθεί ως τραχιά ένδειξη του μεγέθους κόκκου και έτσι ως βάση για την αποδοχή ή απόρριψη των μερών.

## Διασπορά σε ακτινογραφία του 1 και 2-εκατομμύριο-βολτ

Οι οθόνες μολύβδου πρέπει πάντα να χρησιμοποιηθούν σε σειρά τάσης. Τα κοινές πάχη, επάνω 0,005-ίντσας και κάτω 0,010-ίντσας, είναι και ικανοποιητικά και κατάλληλα. Μερικοί χρήστες, εντούτοις, βρίσκουν το πάνω μέρος της οθόνη 0,010-ίντσας ικανό, λόγω της μεγαλύτερης εκλεκτικής απορρόφησής του της διεσπαρμένης ακτινοβολίας από το δείγμα.

Το φιλτράρισμα στο σωλήνα δεν προσφέρει καμία βελτίωση στην ακτινογραφική ποιότητα. Εντούτοις, τα φίλτρα στην ταινία βελτιώνουν την ακτινογραφία στην εξέταση των ομοιόμορφων τμημάτων, αλλά δίνουν την κακή ποιότητα στις άκρες της εικόνας ενός δείγματος λόγω του χτυπήματος της διεσπαρμένης ακτινοβολίας από το ίδιο το φίλτρο. Ως εκ τούτου, το φιλτράρισμα δεν πρέπει να χρησιμοποιηθεί στην ακτινογραφία των δειγμάτων που περιέχουν τους στενούς φραγμούς. Περαιτέρω, το φιλτράρισμα πρέπει να χρησιμοποιηθεί μόνο όπου η ταινία μπορεί να προστατευθεί επαρκώς από την αναδρομικά διασκορπισμένη ακτινοβολία.

Τα φίλτρα μολύβδου είναι τα καταλληλότερα για αυτήν την σειρά τάσης. Όταν χρησιμοποιούνται έτσι μεταξύ του δείγματος και της ταινίας, τα φίλτρα υπόκεινται σε μηχανική ζημία. Η προσοχή πρέπει να ληφθεί για να μειώσει αυτό σε ένα ελάχιστο, για να μην συγχέονται με τις δομές οι ατέλειες φίλτρων ή στο δείγμα. Στην ακτινογραφία με ακτίνες X ισχύος εκατομμύρια - βολτ, δείγματα των ομοιόμορφων τμημάτων μπορούν να διαιρεθούν σε τρεις κατηγορίες. Κάτω από τις περίπου 1,5 ίντσες του χάλυβα, η διήθηση αντέχει οικονομικά λίγη βελτίωση στην ακτινογραφική ποιότητα. Μεταξύ 1,5 και 4 ίντσών του χάλυβα, το παχύτερο φίλτρο, μέχρι το μολύβδο 1/8-ίντσας, που επιτρέπει συγχρόνως έναν λογικό χρόνο έκθεσης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Επάνω από 4 ίντσες του χάλυβα, τα πάχη φίλτρων μπορούν να αυξηθούν κατά 1/4 ίντσας του μολύβδου, μια οικονομική μέθοδος που επιτρέπεται. Πρέπει να σημειωθεί ότι στην ακτινογραφία των εξαιρετικά παχιών δειγμάτων με τις ακτίνες X εκατομμυρίων-βολτ, οι φθορισμού οθόνες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να αυξήσουν τη φωτογραφική ταχύτητα σε ένα σημείο όπου τα φίλτρα μπορούν να χρησιμοποιηθούν χωρίς απαίτηση του υπερβολικού χρόνου έκθεσης.

Ένα πολύ σημαντικό σημείο είναι να μπλοκαριστεί όλη η ακτινοβολία εκτός από τη χρήσιμη ακτίνα με το βαρύ (1/2-ίντσα μέχρι 1-ίντσα) μολύβδο στην άνοδο. Εάν αυτό δεν γίνει, η ακτινοβολία που χτυπά τους τοίχους του δωματίου των ακτίνων X θα διασκορπίσει πίσω σε τέτοια ποσότητα ώστε να υπάρχουν σοβαρές επιπτώσεις η ποιότητα της ακτινογραφίας να αλλοιωθεί. Αυτό θα είναι ιδιαίτερα αξιοπρόσεχτο εάν το δείγμα είναι παχύ ή έχει τα μέρη που ακτινογραφούνται είναι σχετικά μακριά από την ταινία.

## Multimillion-Volt Ακτινογραφία

Οι τεχνικές ακτινογραφίας στα 6 με 24-εκατομμύριο-βολτ είναι δύσκολο να διευκρινιστούν. Αυτό είναι εν μέρει λόγω του ευρέος φάσματος των θεμάτων που ακτινογραφούνται, από τον παχύ χάλυβα σε διάφορα feet των μιγμάτων στερεών οργανικών ενώσεων, και εν μέρει επειδή το καθαρό μέγεθος των δειγμάτων και η δυσκολία στο χειρισμό τους επιβάλλουν συχνά τους περιορισμούς στις ακτινογραφικές τεχνικές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν.

Γενικά, η ταχύτητα του συνδυασμού ταινία-οθόνης αυξάνεται με το αυξανόμενο πάχος των επάνω και κάτω οθονών μολύβδου μέχρι τουλάχιστον 0,030 ίντσα. Ένα πρόβλημα που αντιμετωπίζεται με τις οθόνες τέτοιου μεγάλου πάχους είναι αυτό της επαφής οθόνης. Παραδείγματος χάριν, εάν ένας συμβατικός κάτοχος έκθεσης(φίλμ) τοποθετηθεί κάθετα, η μια ή και οι δύο από τις βαριές οθόνες μπορεί να τείνουν να κρεμάσουν μακριά από την ταινία, με μια υποβάθμιση της ποιότητας εικόνας. Οι κενές κασέτες είναι ιδιαίτερα χρήσιμες σε αυτήν την εφαρμογή και διάφορες συσκευές έχουν κατασκευαστεί για το σκοπό, μερικοί από τον οποίο ενσωματώνουν τέτοιους καθαρισμούς όπως τον αυτόματο προγραμματισμένο εκ των πρότερων προσδιορισμό θέσης της ταινίας πίσω από τις διάφορες περιοχές ενός μεγάλου δείγματος.

Τα ηλεκτρόνια που ελευθερώνονται στο μολύβδο από την απορρόφηση της X-ακτινοβολίας multimegavolt είναι πολύ ενεργητικά. Αυτό σημαίνει ότι εκείνα που διαφεύγουν από βαθιά μέσα σε μια οθόνη μολύβδου μπορούν να διαπεράσουν το μολύβδο, γίνονται διασπορά καθώς πηγαίνουν, και φθάνουν στην ταινία. Κατά συνέπεια, όταν χρησιμοποιούνται οι παχιές οθόνες, τα ηλεκτρόνια που φθάνουν στην ταινία "διασκορπίζονται," με μια επακόλουθη επιβλαβή επίδραση στην ποιότητα εικόνας. Επομένως, όταν απαιτείται η υψηλότερη ποιότητα στην ακτινογραφία multimillion -βολτ, μια συγκριτικά λεπτή μπροστινή οθόνη (περίπου 0,005 ίντσα) χρησιμοποιείται, και η πίσω οθόνη αποβάλλεται. Αυτό απαιτεί μια ιδιαίτερη αύξηση στο χρόνο έκθεσης. Φυσικά, η δυνατότητα εφαρμογής της τεχνικής εξαρτάται επίσης από το σχετικό ποσό αναδρομικής διασκορπισμένης ακτινοβολίας και δεν ισχύει πιθανώς όπου τα μεγάλα ποσά αυτής της ακτινοβολίας εμφανίζονται.

## Ακτινογραφικές οθόνες

Ένας άλλος παράγοντας που επηρεάζει τη φωτογραφική πυκνότητα της ακτινογραφίας είναι η ενταγμένη δράση των οθονών χρησιμοποιούμενων. Θα αρκίσει να δηλώσει εδώ ότι οι ακτίνες X και οι ακτίνες γάμμα αναγκάζουν της οθόνες αυτές να φωσφορίσουν για να εκπέμψουν το φως που μπορεί υλικά να ελαττώσει την έκθεση που απαραίτητη να παραγάγει μια δεδομένη πυκνότητα. Οι οθόνες μολύβδου εκπέμπουν τα ηλεκτρόνια στο πλαίσιο της δράσης των ακτίνων X και των ακτίνων γάμμα. Η φωτογραφική επίδραση αυτών των ηλεκτρονίων μπορεί να επιτρέψει μια πιο σύντομη έκθεση από θα απαιτούταν χωρίς οθόνες μολύβδου.

## Παράγοντας έκθεσης

Ο "παράγοντας έκθεσης" είναι μια ποσότητα που συνδυάζει το milliamperage (ακτίνες X) ή τη δύναμη πηγής (ακτίνες γάμμα), το χρόνο, και την απόσταση. Αριθμητικά ο παράγοντας έκθεσης είναι ίσος με

$$\frac{\text{milliamperes} \times \text{time}}{\text{dis} \tan ce^2} \text{ for } X - \text{rays}$$
$$\text{and } \frac{\text{curis} \times \text{time}}{\text{dis} \tan ce^2} \text{ for } \gamma - \text{rays}$$

Οι ακτινογραφικές τεχνικές δίνονται μερικές φορές από τον παράγοντα kilovoltage και έκθεσης, ή του ραδιενεργού παράγοντα ισοτόπων και έκθεσης. Σε αυτή την περίπτωση, είναι απαραίτητο να πολλαπλασιαστεί ο παράγοντας έκθεσης με το τετράγωνο της απόστασης που χρησιμοποιείται προκειμένου να βρεθεί, παραδείγματος χάριν, milliampere - πρακτικά ή οι κιουρί-ώρες που απαιτούνται.

## Προσδιορισμός των παραγόντων έκθεσης

### Ακτίνες X

Η απόσταση εστίαση-ταινιών είναι εύκολο να καθιερωθεί από την πραγματική μέτρηση το milliamperage μπορεί βολικά να καθοριστεί από milliammeter που παρέχεται την μηχανή των ακτίνων X και ο χρόνος έκθεσης μπορεί να ελεγχθεί ακριβώς από έναν καλό χρονοδιακόπτη. Η τάση σωλήνων, εντούτοις, είναι δύσκολο και ενοχλητικό να μετρηθεί ακριβώς. Επιπλέον, τα σχέδια των μεμονωμένων μηχανών διαφέρουν ευρέως, και μπορούν να δώσουν τα αποτελέσματα των ακτίνων X μιας διαφορετικής ποιότητας και μιας έντασης ακόμα και όταν χρησιμοποιείτε στις ίδιες ονομαστικές τιμές του μέγιστων kilovoltage και του milliamperage.

Συνεπώς, αν και οι διευκρινισμένες τεχνικές έκθεσης μπορούν να αναπαραχθούν ικανοποιητικά στους παράγοντες της απόστασης εστίαση-ταινιών, το milliamperage, χρόνος έκθεσης, μια συσκευή μπορεί να διαφέρει υλικά από άλλη στο kilovoltage που θέτει απαραίτητο να παραγάγει την ίδια ακτινογραφική πυκνότητα. Λόγω αυτού, το kilovoltage που θέτει για μια δεδομένη τεχνική πρέπει να καθοριστεί από τη δοκιμή σε κάθε γεννήτρια των ακτίνων X. Στις προκαταρκτικές δοκιμές, τα δημοσιευμένα διαγράμματα έκθεσης μπορούν να ακολουθηθούν ως κατά προσέγγιση οδηγός. Είναι συνήθης για τους κατασκευαστές εξοπλισμού να βαθμολογήσουν τις μηχανές των ακτίνων X στο εργοστάσιο και να εφοδιάσουν τα κατάλληλα διαγράμματα έκθεσης. Για τα ασυνήθιστα προβλήματα που προκύπτουν, είναι επιθυμητό να καταγραφούν σε ένα ημερολόγιο όλα τα στοιχεία όσον

αφορά την έκθεση και τις τεχνικές. Κατ' αυτό τον τρόπο, οι χειριστές θα ενισχύσουν σύντομα μια πηγή πληροφοριών που θα τους καταστήσει ικανότερους να εξετάσουν τις δύσκολες καταστάσεις.

Για την ανάπτυξη των δοκιμαστικών εκθέσεων, μια τυποποιημένη τεχνική πρέπει πάντα να χρησιμοποιηθεί. Εάν αυτό γίνεται, οποιαδήποτε παραλλαγή στην ποιότητα των δοκιμαστικών ακτινογραφιών μπορεί να αποδοθεί στην έκθεση μόνο. Αυτή η μέθοδος προλαμβάνει πολλούς από τους μεταβλητούς παράγοντες κοινούς για την ακτινογραφική εργασία.

Δεδομένου ότι μια αύξηση του kilovoltage παράγει μια χαρακτηρισμένη αύξηση στην παραγωγή των ακτίνων X και τη διείδυση ( σχήμα 19,σελ 58), είναι απαραίτητο να διατηρηθεί ένας στενός έλεγχος αυτού του παράγοντα προκειμένου να εξασφαλιστούν οι ακτινογραφίες της ομοιόμορφης πυκνότητας. Σε πολλούς τύπους βιομηχανικής ακτινογραφίας όπου είναι επιθυμητό να διατηρηθούν οι σταθεροί όροι έκθεσης όσον αφορά την απόσταση εστίαση-ταινιών, milliamperage, και χρόνων έκθεσης, είναι κοινή πρακτική να ποικληθεί το kilovoltage σύμφωνα με το πάχος του υλικού που εξετάζεται ώστε να εξασφαλιστεί η κατάλληλη πυκνότητα στην ακτινογραφική εικόνα. Υποθέστε, παραδείγματος χάριν, αυτό επιδιώκεται για να αλλάξει από την ακτινογραφία του χάλυβα 1,5-ίντσα στην ακτινογραφία του χάλυβα 2-ίντσες. Ο χάλυβας 2 ίντσες θα απαιτήσει περισσότερες από 10 φορές την έκθεση σε milliamperes ανά λεπτό σε 170 kilovolts. Εντούτοις, η αύξηση του kilovoltage σε λίγο περισσότερο από 200 θα παραγάγει μια συγκρίσιμη ακτινογραφία με τα ίδια milliamperes ανά λεπτό. Έτσι, το kilovoltage είναι μια σημαντική μεταβλητή επειδή οι οικονομικές εκτιμήσεις συχνά απαιτούν ότι οι χρόνοι έκθεσης κρατιούνται μέσα στα αρκετά στενά όρια. Είναι επιθυμητό, καταρχήν, να χρησιμοποιηθεί *ένα τόσο χαμηλό kilovoltage που οι άλλοι παράγοντες θα επιτρέψουν*. Στην περίπτωση ορισμένων υψηλής τάσεως μηχανών των ακτίνων X, η τεχνική τους όρους έκθεσης μπορεί να είναι κάπως τροποποιημένη. Για παράδειγμα, το kilovoltage μπορεί να καθοριστεί παρά διευθετήσιμο στη θέληση του χειριστή, που αφήνει μόνο το milliamperage, το χρόνο έκθεσης, τον τύπο ταινιών, και την απόσταση εστίαση-ταινιών ως μεταβλητές.

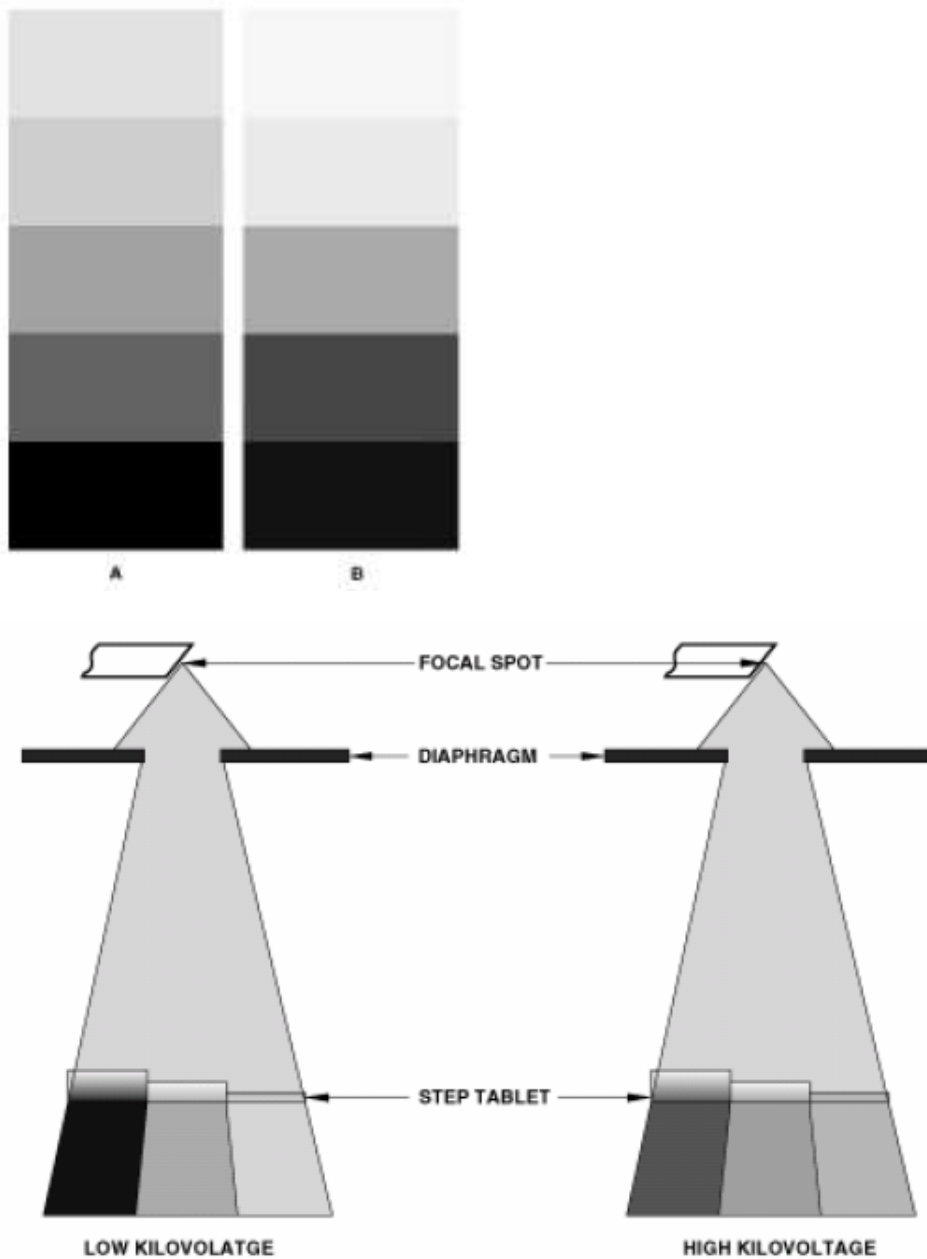
### **Ακτίνες γάμμα**

Με τα ραδιενεργά υλικά, οι μεταβλητοί παράγοντες είναι περιορισμένοι απ' ό,τι με τις ακτίνες X. Όχι μόνο η ποιότητα της ακτινοβολίας καθορίζεται από τη φύση του εκπομπού υλικού, αλλά και η ένταση καθορίζεται από το ποσό ραδιενεργού υλικού στην ιδιαίτερη πηγή. Οι μόνες μεταβλητές υπό έλεγχο των χειριστών, και οι μόνες ποσότητες που πρέπει να καθορίσουν, είναι η απόσταση πηγής - ταινίας, τύπος ταινιών, και ο χρόνος έκθεσης. Όπως στην περίπτωση της X-ακτινογραφίας, είναι επιθυμητό να αναπτυχθούν οι δοκιμαστικές εκθέσεις που χρησιμοποιούν τις πηγές gamma-ray υπό τους τυποποιημένους όρους και να καταγραφούν όλα τα στοιχεία όσον αφορά τις εκθέσεις και τις τεχνικές.

### **Αντίθεση**

Σε μια ακτινογραφία, οι διάφορες εντάσεις που διαβιβάζονται από το δείγμα δίνονται ως διαφορετικές πυκνότητες στην εικόνα. Οι διαφορές πυκνότητας από μια περιοχή σε άλλη αποτελούν την ακτινογραφική αντίθεση. Οποιαδήποτε σκιά ή λεπτομέρεια μέσα στην εικόνα είναι ορατή λόγω της αντίθεσης μεταξύ της και του υποβάθρου περιβαλλουσών δομών της. Μέσα στα κατάλληλα όρια, όσο μεγαλύτερες οι διαφορές αντίθεσης ή πυκνότητας στην ακτινογραφία, οι τόσο πιο σίγουρα διάφορες λεπτομέρειες θα ξεχωρίσει. Εντούτοις, εάν η γενική αντίθεση αυξάνεται πάρα πολύ, υπάρχει μια πραγματική απώλεια στη διαφάνεια της λεπτομέρειας και στις παχιές και λεπτές περιοχές του δείγματος. Τα παχιά τμήματα θα είναι ορατά πάρα πολύ σκοτεινά για να είναι χρήσιμα και τα λεπτά τμήματα, πάρα πολύ φωτεινά για να αντιμετωπισθείτε στα διαθέσιμα σφάλματα. Αυτή η αρχή είναι πλήρως διευκρινισμένη στο σχήμα 29, το οποίο παρουσιάζει δύο ακτινογραφίες μιας περπατημένης χάλυβας σφήνας, μια (B) εκτεθειμένος σε μια υψηλή τάση σωλήνων και άλλη (A) σε μια χαμηλή τάση. Είναι προφανές ότι στους μέσους τόνους η διαφοροποίηση στα βήματα είναι μεγαλύτερη στη χαμηλής τάσης ακτινογραφία (A) απ' ό,τι στον υψηλό - ακτινογραφία τάσης (B). Κοντά στο τέλος, εντούτοις, τα βήματα που παρουσιάζονται στο B στο A είναι πολύ λιγότερο προφανή.

Σχήμα 29: Α: 120 kV έκθεση. Β: 220 kV έκθεση. Ακτινογραφίες σφήνας που έχει μια σειρά πάχους της 1/4 έως 3/4 ίντσας με βήμα 1/8-ίντσας.





Η ακτινογραφική αντίθεση είναι ένα αποτέλεσμα και της αντίθεσης αντικειμένου και της αντίθεσης ταινιών. Η αντίθεση αντικειμένου ελέγχεται από τη σειρά των εντάσεων ακτινοβολίας που διαβιβάζονται από το δείγμα. Ένα επίπεδο φύλλο του ομοιογενούς υλικού σχεδόν του ομοιόμορφου πάχους θα είχε την πολύ χαμηλή αντίθεση αντικειμένου. Αντιθέτως, ένα δείγμα με τις μεγάλες παραλλαγές στο πάχος, που διαβιβάζει ένα ευρύ φάσμα των εντάσεων, θα είχε την υψηλή αντίθεση αντικειμένου. Η γενική υπαγόμενη αντίθεση θα μπορούσε να οριστεί ως η αναλογία του υψηλότερου στις χαμηλότερες εντάσεις ακτινοβολίας που αφορούν την ταινία. Η αντίθεση επηρεάζεται επίσης από τη διασπαρμένη ακτινοβολία, η αφαίρεση της οποίας αυξάνει την αντίθεση αντικειμένου.

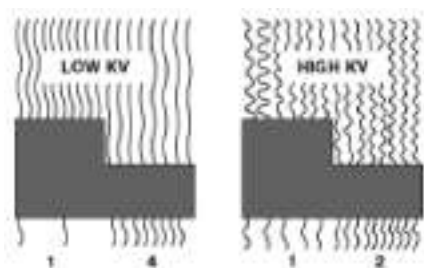
## Επιλογή της ταινίας

Οι διαφορετικές ταινίες έχουν τα διαφορετικά χαρακτηριστικά αντίθεσης. Κατά συνέπεια, μια ταινία της υψηλής αντίθεσης μπορεί να δώσει μια ακτινογραφία της σχετικά χαμηλής αντίθεσης εάν η αντίθεση αντικειμένου είναι πολύ χαμηλή αντιθέτως, μια ταινία της χαμηλής αντίθεσης μπορεί να δώσει μια ακτινογραφία της σχετικά υψηλής αντίθεσης εάν η αντίθεση αντικειμένου είναι πολύ υψηλή. *Με οποιοδήποτε δεδομένο δείγμα*, η αντίθεση της ακτινογραφίας θα εξαρτηθεί από το kilovoltage των ακτίνων X ή την ποιότητα των ακτίνων γάμμα (σχήμα 29), η αντίθεση χαρακτηριστική της ταινίας, ο τύπος οθόνης, η πυκνότητα στην οποία η ακτινογραφία εκτίθεται, και η επεξεργασία.

## Ακτινογραφική ευαισθησία

Στην ακτινογραφία των υλικών του περίπου ίδιου πάχους, όπου η σειρά των διαβιβασθεισών εντάσεων των ακτίνων X είναι μικρή, μια τεχνική που παράγει την υψηλή αντίθεση θα δώσει ικανοποιητικά αποτελέσματα σε όλο το τομέα αντικείμενου, και η ακτινογραφική ευαισθησία θα είναι μεγαλύτερη απ' ό,τι με μια τεχνική που παράγει τη χαμηλή αντίθεση. Εάν, εντούτοις, το μέρος που ακτινογραφείται διαβιβάζει ένα ευρύ φάσμα εντάσεων των ακτίνων X, κατόπιν μια τεχνική που παράγει τη χαμηλότερη αντίθεση μπορεί να είναι απαραίτητη προκειμένου να καταγραφεί η λεπτομέρεια σε όλες τις μερίδες της ακτινογραφικής ευαισθησίας. (Σχήμα 30.)

**Σχήμα 30:** Δεδομένου ότι το kilovoltage αυξάνεται, η υπαγόμενη αντίθεση μειώνεται επειδή περισσότερα μήκη κύματος διαπερνούν το θέμα και στα παχιά και λεπτά τμήματα, μειώνοντας κατά συνέπεια τη γενική διαφορά στην έκθεση μεταξύ των δύο.



## Πολλαπλάσιες τεχνικές ταινιών

Στην ακτινογραφία των δειγμάτων που διαβιβάζουν μια πάρα πολύ ευρεία σειρά των εντάσεων που καταγράφονται από μια ενιαία ταινία υψηλής αντίθεσης. Η υψηλή ακτινογραφική αντίθεση μπορεί να ληφθεί με τη φόρτωση της κασέτας με δύο ταινίες υψηλής αντίθεσης των διαφορετικών ταχυτήτων. Οι όροι έκθεσης έτσι επιλέγονται ότι οι παχιές μερίδες του δείγματος καταγράφονται ικανοποιητικά στις γρηγορότερες, και λεπτές μερίδες στην πιο αργή ταινία.

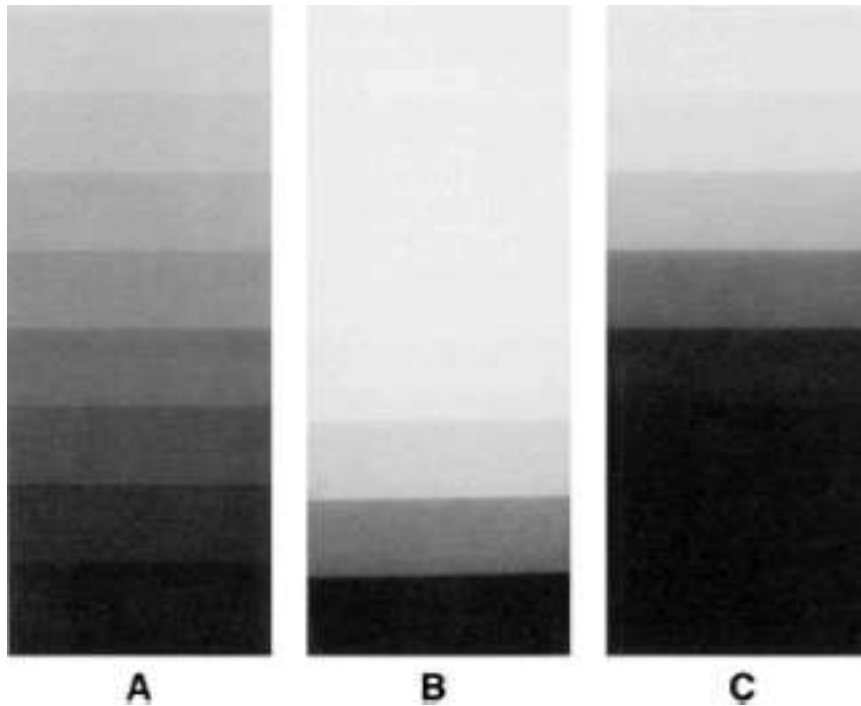
Στο σχήμα 31, Α και Β, οι παχύτερες μερίδες της διαβαθμισμένης σφήνας (1/2 - 3/4 ίντσα) καταγράφονται καλά σε μια συγκρατημένα γρήγορη ταινία. Στο μέρος Β του σχήματος 31, οι λεπτότερες μερίδες (3/8 - 1/2 ίντσα) καταγράφονται σε μια ταινία περίπου του τετάρτου την ταχύτητα που εκτίθεται συγχρόνως και στον ίδιο κάτοχο έκθεσης. Είχε επιδιωχτεί να δοθεί το σύνολο της σφήνας σε μια ενιαία ακτινογραφία, το kilovoltage θα έπρεπε να έχει αυξηθεί, που θα είχε οδηγήσει σε μια μείωση στην υπαγόμενη αντίθεση, και μια επακόλουθη μείωση στην ακτινογραφική αντίθεση (βλ. το μέρος γ του σχήματος 31).

Η τεχνική δεν χρειάζεται να περιοριστεί σε μόνο δύο ταινίες που εκτίθενται ταυτόχρονα. Σε ειδικές περιπτώσεις, τρεις ή ακόμα και περισσότερες ταινίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν πολύ αναπτυσσόμενος τη σειρά των παχών πέρα από την οποία η υψηλή αντίθεση μπορεί να ληφθεί με μια ενιαία έκθεση.

Μια παραλλαγή αυτής της μεθόδου πρόκειται να φορτώσει τον κάτοχο κασετών ή ταινιών με δύο φύλλα του ίδιου είδους ταινίας. Με την κατάλληλη έκθεση, οι λεπτομέρειες στο παχύ τμήμα του δείγματος μπορούν να εξεταστούν με την εξέταση των δύο ταινιών ταυτόχρονα σαν μια εικόνα. Οι λεπτές μερίδες αφ' ετέρου, θα καταγραφούν και στις δύο ταινίες, αλλά θα είναι ορατές εάν εξετάσουμε μόνο μια από τις δυο.

Μέσα στη σειρά των πυκνοτήτων χρήσιμων στην πράξη, οι αντιθέσεις των περισσότερων βιομηχανικών ταινιών των ακτίνων X αυξάνονται συνεχώς με την αυξανόμενη πυκνότητα. Στην περίπτωση ορισμένων ιατρικών ταινιών των ακτίνων X που χρησιμοποιούνται περιστασιακά στη βιομηχανία, εντούτοις, η αντίθεση αυξάνεται αρχικά σε ένα μέγιστο με την αυξανόμενη πυκνότητα και έπειτα τις μειώσεις. Κατά συνέπεια, η αντίθεση μιας ακτινογραφίας εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την πυκνότητα. Αυτό το σημείο συζητείται λεπτομερέστερα στα πιο πρόσφατα τμήματα.

**Σχήμα 31:** A και B: Ακτινογραφίες της περπατημένης σφήνας που γίνεται με μια τεχνική δύο-ταινιών που παρουσιάζει παχιές μερίδες (A) σε μια συγκρατημένα γρήγορη ταινία, και οι λεπτές μερίδες (B) σε μια ταινία για στο 1/4 της ταχύτητα. C: Ένιαία ακτινογραφία στο υψηλότερο kilovoltage στον πιο αργό των ταινιών. Χαμηλότερη ακτινογραφική αντίθεση σημειώθηκε στο C.

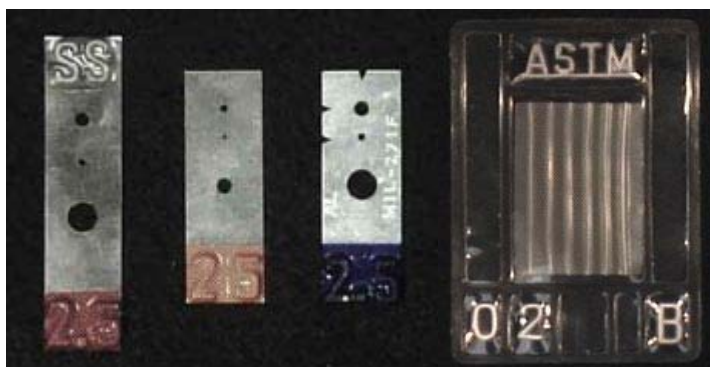


## 6.ΜΕΤΡΗΣΗ ΕΚΘΕΣΗΣ ΚΑΙ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ

### Ελέγχοντας ακτινογραφική ποιότητα

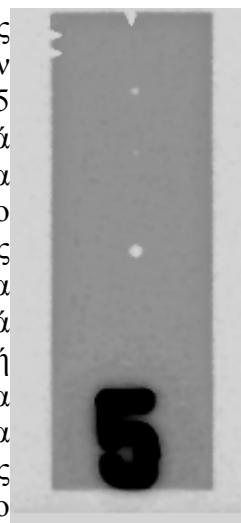
Μια από τις μεθόδους την ποιότητα μιας ακτινογραφίας είναι μέσω της χρήσης των ποιοτικών δεικτών εικόνας (IQI). Το IQI παρέχει οπτικά μέσα το διερμηνέα ταινιών για την ευαισθησία αντίθεσης και τον καθορισμό της ακτινογραφίας. Το IQI δείχνει ότι ένα διευκρινισμένο ποσό αλλαγής στο υλικό πάχος θα είναι ανιχνεύσιμο στην ακτινογραφία, και ότι η ακτινογραφία έχει ένα ορισμένο επίπεδο καθορισμού έτσι ώστε οι αλλαγές πυκνότητας δεν χάνονται λόγω της μη-διαφάνειας. Χωρίς ένα τέτοιο σημείο αναφοράς, η συνέπεια και η ποιότητα δεν θα μπορούσαν να διατηρηθούν και οι ατέλειες θα μπορούσαν να μη ανιχνευθούν.

Οι ποιοτικοί δείκτες εικόνας λαμβάνουν πολλές μορφές και μορφές λόγω των διάφορων κωδικών ή των προτύπων που επικαλούνται τη χρήση τους. Γενικά, δύο μορφές IQI είναι επικρατούσες: η αφίσα ή τρύπα-τύπος(Hole Type Penetrameters) και το καλώδιο IQI(Wire Penetrameters). Το IQI έρχεται σε ποικίλους υλικούς τύπους έτσι ώστε ένας με τα χαρακτηριστικά απορρόφησης ακτινοβολίας παρόμοια με το υλικό που ακτινογραφείται μπορεί να χρησιμοποιηθεί.



### Τρύπα-τύπος IQIs

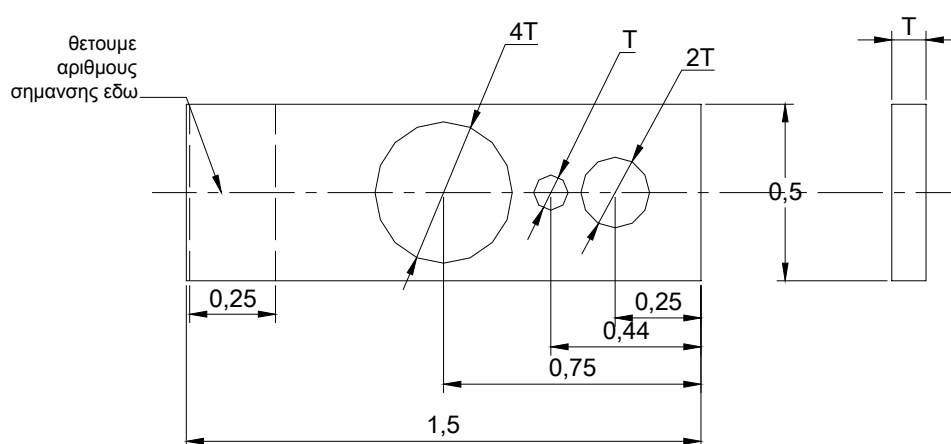
Η οργανισμός ASTM με το πρότυπο E1025 δίνει τις λεπτομερείς απαιτήσεις για το σχέδιο και την υλική ταξινόμηση ομάδας των ποιοτικών δεικτών εικόνας τρύπα-τύπων(δεξιά εικόνα). Το E1025 υποδεικνύει οκτώ ομάδες βασισμένα στα χαρακτηριστικά απορρόφησης ακτινοβολίας τους. Ένα χαρακτηριστικό σύστημα ενσωματώνεται στις απαιτήσεις, το οποίο επιτρέπει στο ραδιογράφο για να καθορίσει εύκολα εάν το IQI είναι ο σωστός υλικός τύπος για το προϊόν. Οι εγκοπές στο IQI δεξιά μπορούν να δείχνουν ότι αποτελείται από το αλουμίνιο. Το πάχος σε χιλιοστά της ίντσα σημειώνεται σε κάθε πεντάμετρο από έναν ή περισσότερο αριθμό μολύβδου. Το IQI στα δεξιά είναι 0.005 ίντσα παχύ. Το IQI μπορεί επίσης να κατασκευαστεί ανάλογα με κάποια προδιαγραφή βιομηχανίας και το υλικό του τύπος και το πάχος μπορούν να υποδειχθούν διαφορετικά. Παραδείγματος χάριν, το



IQI στα αριστερά στην εικόνα επάνω από τις οδηγίες χρήσης του κατασκευαστή για να δείξει το υλικό. Οι αριθμοί σε αυτό το ίδιο IQI δείχνουν το πάχος δειγμάτων ότι το IQI θα τοποθετούνταν χαρακτηριστικά κατά την προσπάθεια να επιτευχθεί η ευαισθησία αντίθεσης δύο τοις εκατό.

Πλάκες υπάρχουν για Χάλυβα, Αλουμίνιο και Χαλκό.

Το πιο γνωστό πενετρόμετρο είναι αυτό που αποτελείται από μια πλάκα ομοιόμορφου πάχους, που περιέχει 3 οπές και γράμματα σήμανσης. (εικόνα κάτω)



Ελάχιστο T πάχος πενετραμενου	0.0005
Ελάχιστη διάμετρος για οπή 1T	0.010
Ελάχιστη διάμετρος για οπή 2T	0.020
Ελάχιστη διάμετρος για οπή 4T	0.040

(Οι οπές πρέπει να είναι πραγματικές και κάθετες στην επιφάνεια του πενετραμετρου)

Τα ποιοτικά επίπεδα εικόνας υποδεικνύονται χαρακτηριστικά χρησιμοποιώντας μια διμερή έκφραση όπως 2-2T. Ο πρώτος όρος αναφέρεται στο πάχος IQI που εκφράζεται ως ποσοστό της περιοχής ενδιαφέροντος του επιθεώρησης του μέρους. Ο δεύτερος όρος στην έκφραση αναφέρεται στη διάμετρο της τρύπας που πρέπει να αποκαλυφθεί και εκφράζεται ως πολλαπλάσιο του πάχους IQI. Επομένως, ένα 2-2T θα σήμαινε ότι το πάχος πρέπει να είναι δύο τοις εκατό του υλικού πάχους και ότι μια τρύπα που είναι δύο φορές το πάχος IQI πρέπει να είναι ανιχνεύσιμη στην ακτινογραφία. Αυτή η παρουσίαση ενός 2-2T IQI στην ακτινογραφία ελέγχει ότι η ακτινογραφική τεχνική είναι σε θέση υλική απώλεια 2% στον τομέα του ενδιαφέροντος.

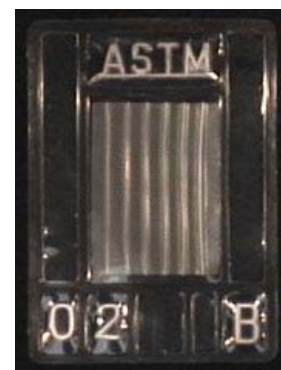
Πρέπει να σημειωθεί ότι ακόμα κι αν η 2-2T η ευαισθησία είναι υποδειγμένη σε μια ακτινογραφία, μια ατέλεια της ίδιας διαμέτρου και της υλικής απώλειας μπορεί να μην είναι ορατή. Οι τρύπες στο IQI αντιπροσωπεύουν τα αιχμηρά όρια, και μια μικρή

αλλαγή πάχους. Διακόπτει μέσα στο μέρος μπορεί να περιέχει τις βαθμιαίες αλλαγές και είναι συχνά λιγότερο ορατός. Το IQI χρησιμοποιείται για να δείξει την ποιότητα της ακτινογραφικής τεχνικής και δεν προορίζεται για να χρησιμοποιηθεί ως μέτρο του μεγέθους μιας κοιλότητας που μπορεί να βρεθεί στην ακτινογραφία.

Level	Ισοδύναμο %
1-1T	.7
1-2T	1.0
2-1T	1.4
2-2T	2.0
2-4T	2.8
4-2T	4.0

## Καλώδιο IQI

Ο ASTM με το πρότυπο E747 καλύπτει την ακτινογραφική εξέταση των υλικών χρησιμοποιώντας το καλώδιο IQI για να ελέγξει την ποιότητα εικόνας. Το καλώδιο IQI (εικόνα δεξιά) αποτελείται από ένα σύνολο έξι καλωδίων που τακτοποιούνται κατά σειρά την αυξανόμενη διάμετρο και που τοποθετούνται μεταξύ δύο φύλλων του πλαστικού. Το E747 διευκρινίζει τα τετρασύρματα σύνολα IQI, τα οποία ελέγχουν τις διαμέτρους καλωδίων. Η καθορισμένη επιστολή (A, B, C ή D) παρουσιάζεται στη δεξιά κάτω γωνία του IQI. Ο αριθμός στη χαμηλότερη αριστερή γωνία δείχνει την υλική ομάδα. Τα ίδια ποιοτικά επίπεδα εικόνας και οι εκφράσεις (δηλ. 2-2T) που χρησιμοποιούνται για τον τρύπα-τύπο IQI χαρακτηριστικά επίσης χρησιμοποιούνται για το καλώδιο IQI. Τα μεγέθη καλωδίων που αντιστοιχούν στα διάφορα ποιοτικά επίπεδα τρύπα-τύπων μπορούν να βρεθούν στον πίνακα ASTM E747 ή μπορούν να υπολογιστούν χρησιμοποιώντας τον ακόλουθο τύπο.



$$F^3 d^3 l = T^2 H^2 \left( \frac{\pi}{4} \right)$$

Όπου:

F = 0.79 (σταθερός παράγοντας μορφής για το καλώδιο)

d = διάμετρος καλωδίων (χιλ. ή ίντσα)

l = 7.6 χιλ. ή 0.3 ίντσες (αποτελεσματικό μήκος του καλωδίου)

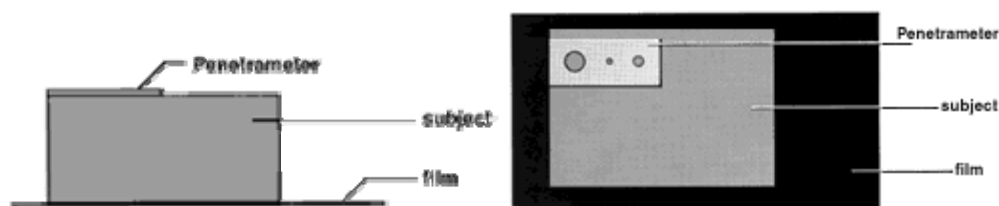
T = πάχος τρύπα-τύπων IQI (χιλ. ή ίντσα)

H = διάμετρος τρυπών τρύπα-τύπων IQI (χιλ. ή ίντσα)

Πάχος mm δοκιμίου	IQI Ευαισθησία %	
	Σύρμα	Πλάκα
3	2,4	5,1
6	1,6	3,6
12	1,4	3,0
25	1,2	2,5
40	1,1	2,1
50	1,0	1,8
75	0,9	1,6
100	0,8	1,4
150	0,7	1,3

### Τοποθέτηση IQIs

Το IQI πρέπει να τοποθετηθεί από την πλευρά του ενδιαφερομένου αντικείμενου οπού θα 'βομβαρδιστεί' από την μηχανή ακτινών X ή την πυγή ακτινών γ με ένα υλικό πάχος ισοδύναμο με την περιοχή μας ενδιαφέρει. Εάν αυτό δεν είναι δυνατό, το IQI μπορεί να τοποθετηθεί σε έναν άλλο δείγμα παρόμοιου υλικού και πάχους στην περιοχή ενδιαφέροντος. Όταν χρησιμοποιείται κάποιο άλλο δείγμα, το IQI πρέπει να είναι στην ίδια απόσταση από την ταινία όπως εάν θα τοποθετούταν άμεσα στο μέρος στην περιοχή ενδιαφέροντος. Το IQI πρέπει επίσης να τοποθετηθεί ελαφρώς μακριά από την άκρη του μέρους έτσι ώστε τουλάχιστον τρεις από τις άκρες της είναι ορατές στην ακτινογραφία.

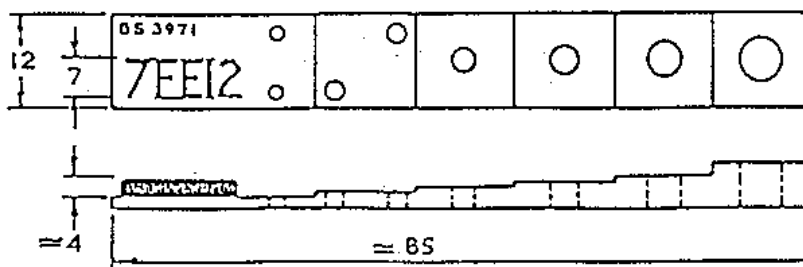


### ΒΑΘΜΙΔΩΤΗ ΠΛΑΚΑ Η ΠΛΑΚΑ ΜΕ ΟΠΕΣ

Εδώ η ευαισθησία μετράτε είτε με το ελάχιστο ύψος βαθμίδας που γίνεται ορατό, είτε με τη μικρότερη οπή, σε πλάκα ορισμένου πάχους που είναι ευδιάκριτη :

$$\alpha. \text{ Ευαισθησία σύρματος } \% = \frac{\text{Διάμετρος λεπτότερου σύρματος}}{\text{πάχος υλικού}} \times 100$$

$$\beta. \text{ Ευαισθησία πλάκας } \% = \frac{\text{Πάχος λεπτότερης βαθμίδας οπής ορατής}}{\text{πάχος υλικού}} \times 100$$





### Διαγράμματα Έκθεσης

Ένα στοιχείο που βοηθάει παρά πολύ τους ραδιογράφους είναι τα διαγράμματα έκθεσης ενός υλικού. Η χρήση διαγραμμάτων έκθεσης βοηθά στο χειριστή να επιλέξει κατάλληλο KV για το πάχος των υλικών που θα ελεγχθούν, που στη συνέχεια θα χρησιμοποιηθεί με τη χαρακτηριστική καμπύλη του φιλμ ακτινών Χ.Η χρήση του διαγράμματος έκθεσης εξαρτάται από διάφορους παράγοντες :

1. Υλικό που θα εξετασθεί π.χ χάλυβας, αλουμίνιο
2. Τύπος συσκευής ή πηγής π.χ 200 KV Muller, 250 KV Solus Schall, μορφή κύματος και δυναμικό.
3. Τύπος φιλμ ( χαρακτηριστική καμπύλη )
4. Τύπος ενισχυτικής πλάκας ( μολύβδινη, φθορίζουσα )
5. Τύπος εμφανιστή ( θερμοκρασία και χρόνος )
6. Τύπος φίλτρου
7. Απόσταση μεταξύ πηγής και φιλμ
8. Πυκνότητα έκθεσης

**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΕΚΘΕΣΗΣ**

ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ : ΑΚΤΙΝΕΣ Χ

Υλικό: ΧΑΛΥΒΑΣ

ΦΙΛΜ: CRONEX NDT 75

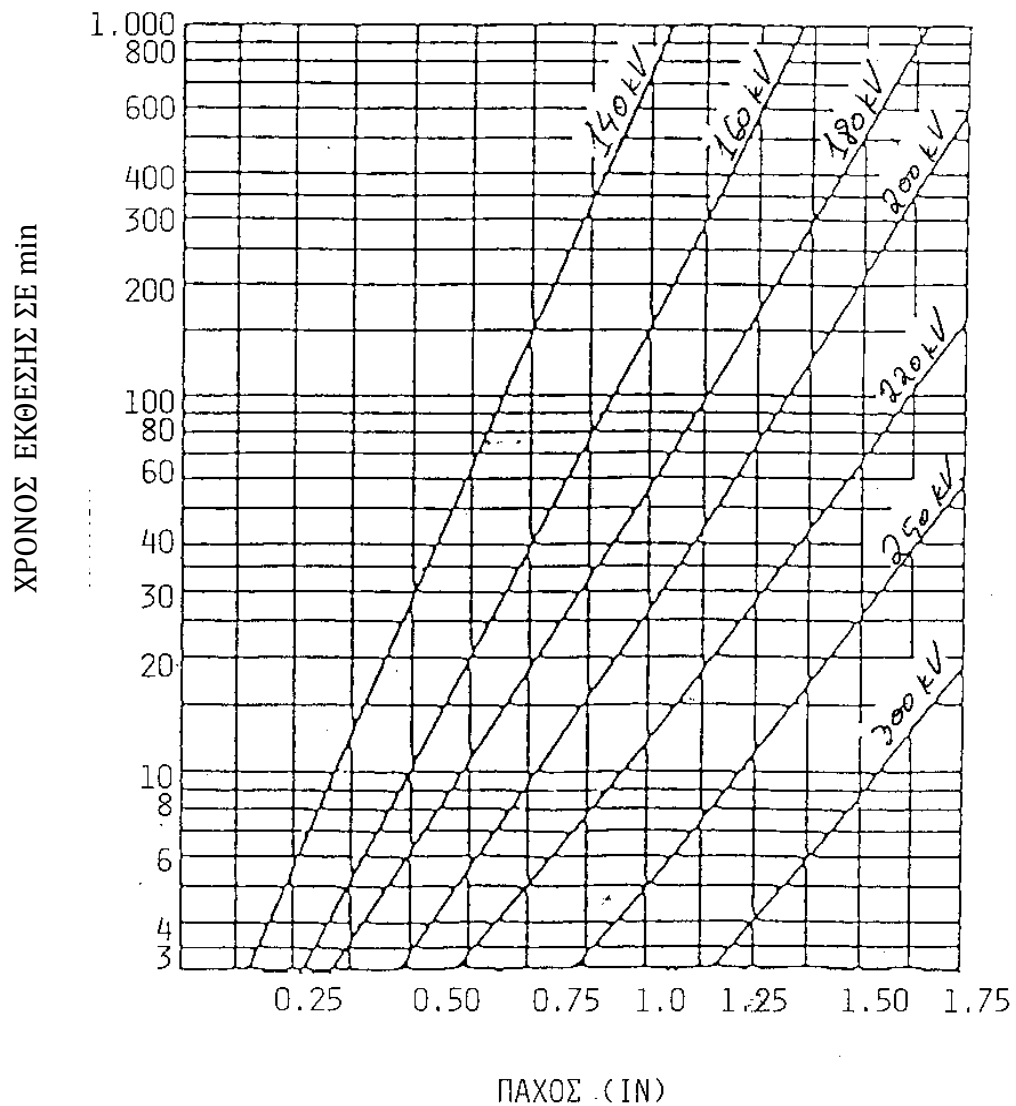
Πυκνότητα φιλμ: 2.0

Απόσταση: 36 inches

Επεξεργασία : Αυτόματη επεξεργασία, εμφάνιση, χρόνος εμβάπτισης

Πλάκες : Μόλυβδος

Εξοπλισμός : 300 kV CP



### ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΕΚΘΕΣΗΣ

ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ : ΑΚΤΙΝΕΣ Χ

Υλικό: ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ

ΦΙΛΜ: CRONEX NDT 35

Πυκνότητα φιλμ: 2.0

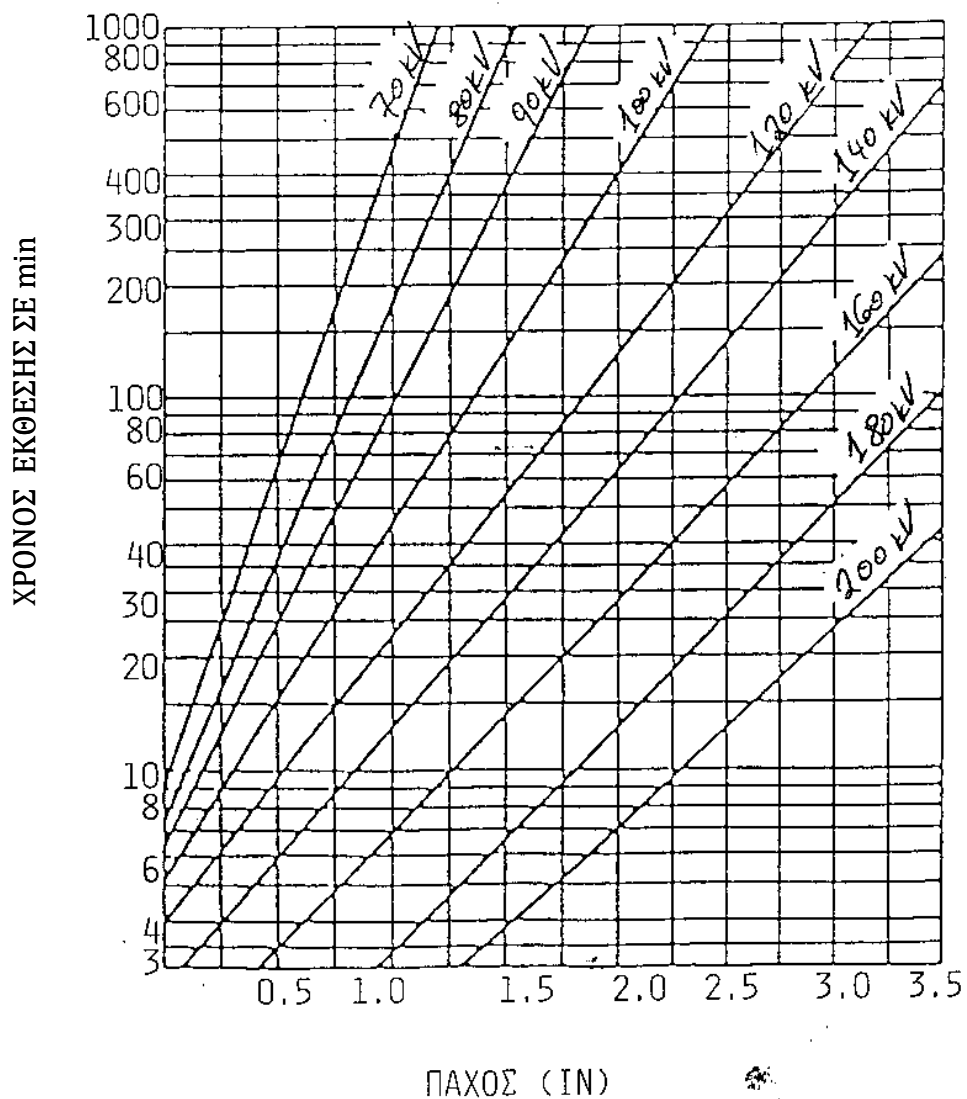
Απόσταση: 36 inches

Επεξεργασία : Αυτόματη επεξεργασία, εμφάνιση, χρόνος εμβάπτισης

Πλάκες : Κάτω από 150 kV – καμία

Πάνω από 150 kV – Μόλυβδος 0,05 εμπρός 0,010 πίσω

Εξοπλισμός : 300 kV CP



Στο διάγραμμα έκθεσης για ακτίνες – X, ένας χρήσιμος τύπος προσδιορισμού του σωστού KV για δοκίμια πάχους < 50 mm και με υποτιθέμενη έκθεση 20 min.

Είναι ο εξής :

$$V = A + Bx$$

V = Kilonoltage

X = χιλιοστά, mm

A + B = σταθερές

Χάλυβας			Αλουμίνιο		
m Πάχος	0,5-5	5-50	m Πάχος	0,5-5	5-50
A	40	80		20	40
B	10	5		5	1,5

Παράδειγμα 1 : 30 mm χάλυβας

$$V = A + Bx \rightarrow V = 80 + 150 = 230 \text{ KV}$$

Παράδειγμα 2 : 30 mm αλουμινίου

$$V = A + Bx \rightarrow V = 40 + 45 = 85 \text{ KV}$$

Για εκθέσεις σε ακτίνες γ είναι χρήσιμο να έχουμε ένα κανόνα ( Slide rule ) για τους υπολογισμούς πυκνότητας και αντίθεσης, που παρέχεται από πολλούς κατασκευαστές.

## ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Η ραδιογραφία αποτελεί την πιο ρεαλιστικής μορφής μη καταστροφικού έλεγχου. αποτυπώνει μια εσωτερική “φωτογραφία” που ελεγχόμενου αντικείμενου και προβάλλει τα σφάλματα με την πραγματική τους μορφή και διάσταση. Αποτελεί μια προσφάτως εισαγόμενη μορφή μη καταστροφικού έλεγχου που εξαπλώθηκε με την εισαγωγή του φυσικού αερίου στην χώρα μας.

Η σύγχρονη ραδιογραφία (ιατρική ή βιομηχανική) θεωρητε πλέον ασφαλεις. Εξαιτίας της επικυδνδινοτητα ( ως γνωστον η ραδιενέργεια είναι ο αόρατος εχθρός κάθε κυτταρικού ιστού) έχουν δημιουργηθεί πρότυπα για την ασφάλεια των χρηστών και περιβαλλόμενων ατόμων ως προς την κατασκευή των πηγών ραδιενέργειας ( ακτίνες X ή γόμμα) αλλά και ως προς την χρήση των μηχανημάτων αυτών.

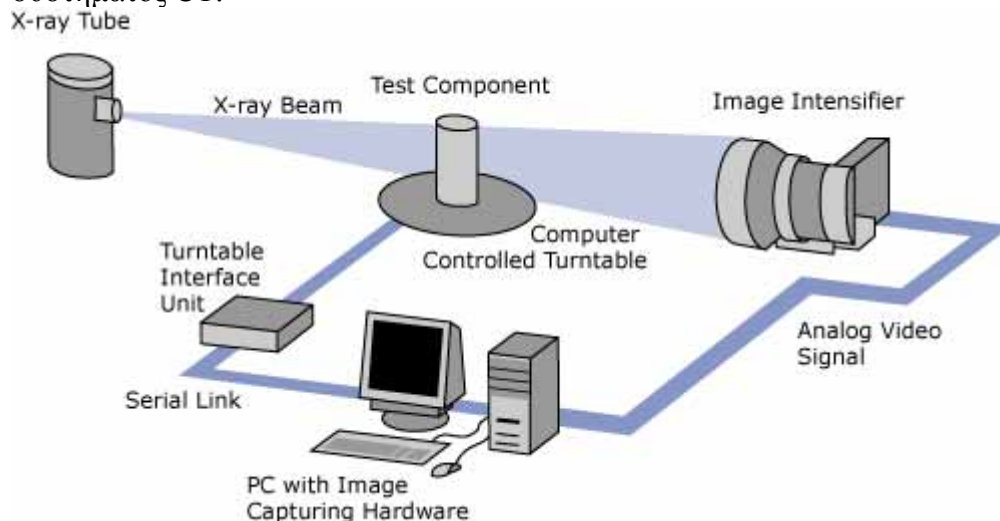
Η σύγχρονη βιομηχανική ραδιογραφία έχει οδηγήσει στην παράγωγη μικρών σε μέγεθος μηχανών ακτινών αλλά ταυτόχρονα αρκετά ισχυρών. Το μέγεθος των εξεταζόμενων υλικών ( αεροναυπηγική, δίκτυο σωληνώσεων, κτλ) είναι αρκετές φορές απαγορευτικό έτσι ώστε να ελέγχουν σε σταθερό θάλαμο εξετάσεις.

Στην προσπάθεια μείωσης των “τεχνικών” σφαλμάτων η βιομηχανία της ραδιογραφίας εισέβαλε και αυτή στην ηλεκτρονική επανάσταση. Το μέλλον της ακτινογραφίας θα δει πιθανώς πολλές αλλαγές. Όπως σημειώνεται νωρίτερα, οι επιχειρήσεις εκτελούν πολλές επιθεωρήσεις χωρίς την ενίσχυση της ταινίας.

Οι ραδιογράφοι του μέλλοντος θα συλλάβουν τις εικόνες με μεταλλαγμένη μορφή και θα τις στείλουν μήνυμα με το ηλεκτρονικό ταχυδρομείο στον πελάτη όταν ολοκληρωθεί η επιθεώρηση. Η αξιολόγηση ταινιών θα αφηθεί πιθανώς στους υπολογιστές. Οι ραδιογράφοι μπορούν να συλλάβουν μια μεταλλαγμένη εικόνα, να τροφοδοτήσουν τους έναν υπολογιστή και να περιμένουν ένα έντυπο της εικόνας με αποδοχή ή όχι της έκθεση. Τα συστήματα θα είναι σε θέση να ανιχνεύσουν ένα μέρος και να παρουσιάσουν μια τρισδιάστατη εικόνα στο ραδιογράφο που τον βοηθά για να εντοπίσει την ατέλεια μέσα στο εξεταζόμενο υλικό.

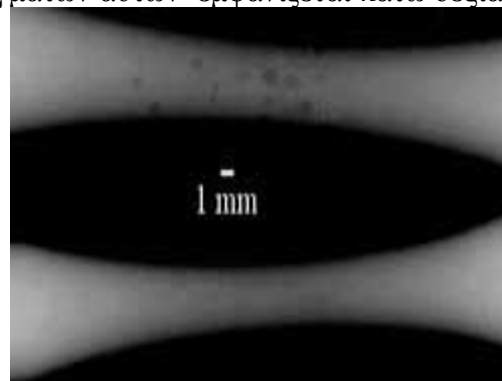
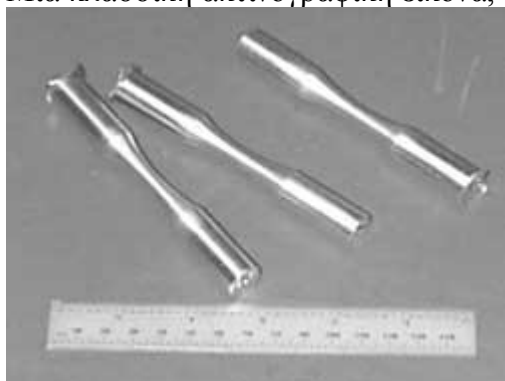
Οι εκπαιδευτικές τεχνικές και τα υλικά θα πρέπει να αναθεωρηθούν και να ενημερωθούν για να συμβαδίσουν με την τεχνολογία και να καλύψουν τις απαιτήσεις της βιομηχανίας. Αυτές οι ανάγκες μπορούν καλά να ικανοποιηθούν με τους υπολογιστές. Τα προγράμματα υπολογιστών μπορούν να μιμηθούν τις ακτινογραφικές επιθεωρήσεις χρησιμοποιώντας τα μοντέλα ενός με την βοήθεια υπολογιστή σχεδιασμού (CAD) ενός μέρους για να παραγάγουν τις φυσικά ακριβείς μιμούμενες ακτινογραφικές εικόνες των ακτίνων X. Τα προγράμματα επιτρέπουν στο χειριστή για να επιλέξουν τα διαφορετικά μέρη για να επιθεωρήσουν, να ρυθμίσουν την τοποθέτηση και τον προσανατολισμό του μέρους για να λάβουν τον κατάλληλο εξοπλισμό και να ρυθμίσουν όλες τις συνηθισμένες τιμές των παραμέτρων γεννητριών των ακτίνων X για να φθάσουν στην επιθυμητή ακτινογραφική έκθεση ταινιών.

Υπολογισμένη τομογραφία (Computed Tomography ) (CT) είναι μια ισχυρή μη καταστρεπτική τεχνική αξιολόγησης (NDE) για τις δυσδιάστατες και τρισδιάστατες διατομικές εικόνες ενός αντικειμένου από τις επίπεδες εικόνες των ακτίνων X. Τα χαρακτηριστικά της εσωτερικής δομής ενός αντικειμένου όπως οι διαστάσεις, η μορφή, οι εσωτερικές ατέλειες, και η πυκνότητα είναι εύκολα διαθέσιμα από τις εικόνες CT. Η παρακάτω εικόνα είναι μια σχηματική αναπαράσταση ενός συστήματος CT.

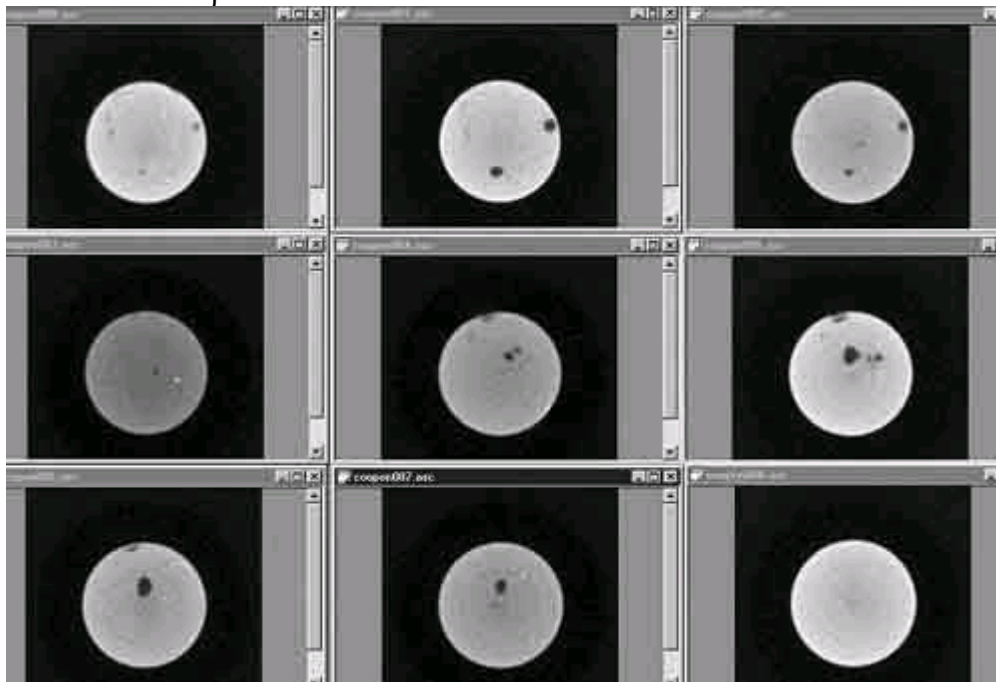


Το τμήμα δοκιμής τοποθετείται σε ένα στάδιο περιστροφικών πλακών που είναι μεταξύ μιας πηγής ακτινοβολίας και ενός συστήματος απεικόνισης. Η περιστροφική πλάκα και το σύστημα απεικόνισης συνδέονται με έναν υπολογιστή έτσι ώστε οι εικόνες των ακτίνων X συλληφθείσες μπορούν να συσχετιστούν στη θέση του τμήματος δοκιμής. Το σύστημα απεικόνισης παράγει μια δυσδιάστατη εικόνα γραφικών παραστάσεων σκιών του δείγματος ακριβώς όπως μια ακτινογραφία ταινιών. Το εξειδικευμένο λογισμικό υπολογιστών το καθιστά πιθανό να παραγάγει τις διατομικές εικόνες του τμήματος δοκιμής σαν τεμαχίζοντας το επάνω

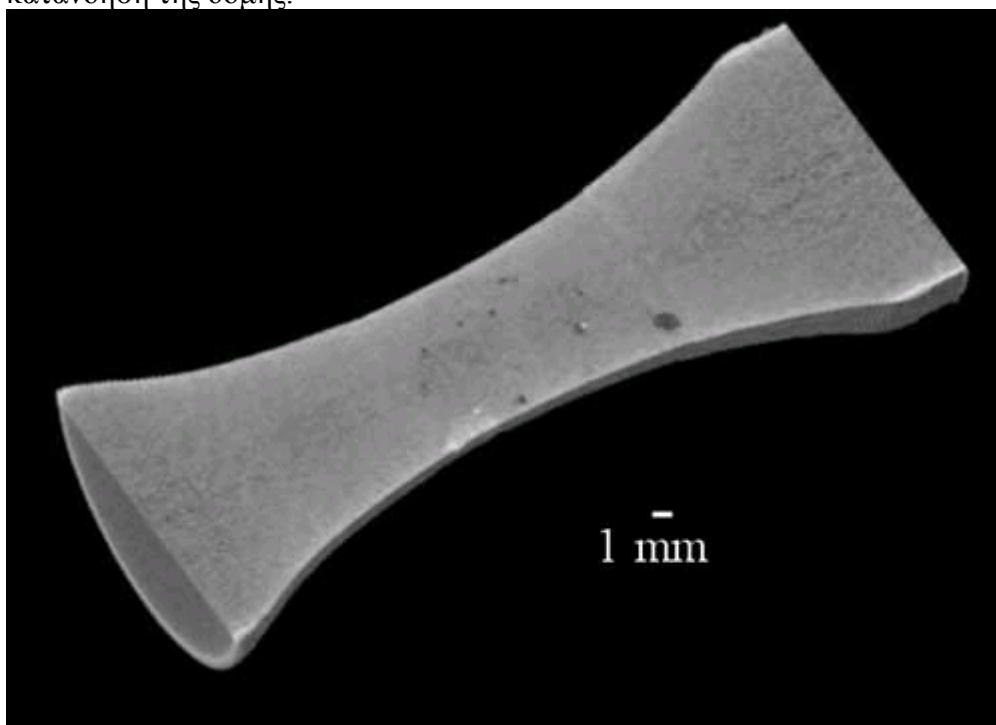
Στην εικόνα κάτω από το αριστερό είναι ένα σύνολο χυτών δειγμάτων αλουμινίου. Μια κλασική ακτινογραφική εικόνα, των δειγμάτων αυτών εμφανίζεται κάτω δεξιά.



Οι φέτες CT μέσω διάφορων θέσεων ενός δείγματος εμφανίζονται στο σύνολο εικόνων κατωτέρω.



Διάφορες φέτες μέσω του αντικειμένου μπορούν να αναδημιουργηθούν για να παρέχουν μια τρισδιάστατη όψη των εσωτερικών και εξωτερικών δομικών λεπτομερειών. Όπως εμφανίζεται κατωτέρω, η τρισδιάστατη εικόνα μπορεί έπειτα να χειριστεί και να τεμαχιστεί με τους διάφορους τρόπους να παρασχεθεί η λεπτομερής κατανόηση της δομής.



## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ:

- “Radiography in Modern Industry” John J. Callinan, Jr.  
*Director of Industrial Radiology*
- “Συγκολλήσεις Μετάλλων” Θ.Α. Παπαδημητρίου
- “Στοιχεία Συγκολλήσεων “ Ν. Κάτσικα –Χ.Κοτσανάδα
- [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)
- [www.radiography.com](http://www.radiography.com)
- [www.ndt-ed.org](http://www.ndt-ed.org)
- [www.sor.org](http://www.sor.org)
- [www.radiologyinfo.org](http://www.radiologyinfo.org)
- [ndt.oxfordjournals.org](http://ndt.oxfordjournals.org)
- [www.ndt.net/](http://www.ndt.net/)
- [www.e-radiography.net/](http://www.e-radiography.net/)
- [www.kodak.com](http://www.kodak.com)
- [www.agfa.com](http://www.agfa.com)
- [www.fujindt.com](http://www.fujindt.com)
- [www.medical.philips.com](http://www.medical.philips.com)
- [www.medical.siemens.com](http://www.medical.siemens.com)
- [www.etsu.edu](http://www.etsu.edu)
- [www.rsna.org/](http://www.rsna.org/)
- [www.isort.org/](http://www.isort.org/)
- [www.arrt.org/](http://www.arrt.org/)
- [www.asrt.org/](http://www.asrt.org/)
- [www.sonotech-inc.com](http://www.sonotech-inc.com)