



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ

Εθνικόν και Καποδιστριακόν
Πανεπιστήμιον Αθηνών

— ΙΔΡΥΘΕΝ ΤΟ 1837 —

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΧΗΜΕΙΑ – ΔΙΑΣΦΑΛΙΣΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ»

**«Η Ραδιογραφία ως μη καταστροφική τεχνική
ελέγχου ποιότητας υλικών»**

Δρ. Νεκτάριος Κ. Νασίκας

Επίκουρος Καθηγητής
Τομέας Μαθηματικών και Επιστημών Μηχανικού
Στρατιωτική Σχολή Ευελπίδων

Αθήνα, 2022

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

- ✓ Βασικές αρχές της Ραδιογραφίας
- ✓ Χαρακτηριστικά των ιοντιζουσών ακτινοβολιών
- ✓ Ακτίνες Χ
- ✓ Έλεγχος ποιότητας της ραδιογραφίας

Ραδιογραφία

Βασικές αρχές

Η ραδιογραφία βασίζεται στην ικανότητα της Η/Μ ακτινοβολίας μικρών μηκών κύματος (φωτόνια υψηλής ενέργειας) να διαπερνά την ύλη.

Η ποσότητα της ακτινοβολίας που εξέρχεται, εξαρτάται από το **πάχος διείσδυσης** και την **πυκνότητα** του υλικού.

Η **ένταση** της ακτινοβολίας αποτυπώνεται σε ένα ραδιογραφικό φίλμ το οποίο είναι τοποθετημένο πίσω από το υπο εξέταση υλικό.

Τι είναι η ραδιογραφία;

Η ραδιογραφική απεικόνιση ή ραδιογραφία, η οποία είναι ανάλογη του βαθμού απορρόφησης της ακτινοβολίας από το υ[πο εξέταση υλικό, είναι μια μέθοδος **ανίχνευσης ατελειών στο εσωτερικό των υλικών.**

Ραδιογραφία

Ιστορική αναδρομή

Οι ακτίνες X ανακαλύφθηκαν τον Νοέμβριο του 1895 από τον Roentgen, τότε Καθηγητής στο Πανεπιστήμιο Wuerzburg της Γερμανίας. Ο Roentgen καθώς πειραματιζόταν με ένα σωλήνα κενού ο οποίος ήταν καλυμμένος με μαύρο φωτογραφικό χαρτί, παρατήρησε φθορισμό σε παρακείμενο πίνακα ο οποίος ήταν επιστρωμένος με κρυστάλλους αλάτων Βαρίου με κυανιούχο λευκόχρυσο (Barium Platinocyanide).

Επίσης παρατήρησε ότι καθώς ο πίνακας μετακινούταν πλησιέστερα στον καθοδικό σωλήνα, ο φθορισμός είχε ακόμα μεγαλύτερη ένταση!

Τα πρώτα πειράματα του Roentgen έγιναν με τη βοήθεια της συζύγου του.

Οι ακτίνες X χρησιμοποιήθηκαν ιδιαίτερα στην Ιατρική αλλά και στον μη καταστροφικό έλεγχο των υλικών ιδιαίτερα με την έναρξη του ΒΠΠ

Ραδιογραφία



Ραδιογραφία

Ιστορική αναδρομή

Αμέσως μετά την ανακάλυψη των ακτίνων X με τη μορφή διεισδύουσας ακτινοβολίας. Το 1896 ο Γάλλος επιστήμονας Becquerel ανακάλυψε τη φυσική ραδιενέργεια, ερευνώντας τις ιδιότητες φθορισμού μεταλλευμάτων Ουρανίου.

Ο βρετανός Rutherford ανέπτυξε τη θεωρία ότι τα χημικά στοιχεία έχουν ισότοπα και σε αυτόν οφείλεται η αναγνώριση της ύπαρξης του νετρονίου.

Η Πολωνή ερευνήτρια Marie Curie και ο σύζυγος της Pierre, παρατήρησαν ότι το θόριο έδινε τις ίδιες ακτίνες όπως και το Ουράνιο. Οι Curie ανακάλυψαν επίσης το Πολώνιο (1898) και το ράδιο (1898). Το ράδιο έγινε η βιομηχανική πηγή ακτινοβολίας γ.

Σήμερα οι σύγχρονοι πυρηνικοί αντιδραστήρες είναι σε θέση να παράξουν τεχνητά ραδιοισότοπα όπως το Ιρίδιο 192 και το Κοβάλτιο 60. (έχουν απορροφήσει ένα νετρόνιο και έχουν αποκτήσει μεγαλύτερη μάζα). Έχουν καταστεί ασταθή και **συνεπώς ραδιενεργά**.

Ραδιογραφία

Χαρακτηριστικά ιοντιζουσών ακτινοβολιών

Ιοντίζουσες ακτινοβολίες είναι αυτές που μεταφέρουν αρκετή ενέργεια ικανή να διεισδύσει στην ύλη και να προκαλέσει ιοντισμό των ατόμων της.

Επίσης, έχει την ικανότητα να διασπά βίαια χημικούς δεσμούς και να προκαλεί βιολογικές βλάβες σε ζώντες οργανισμούς.

Οι γνωστότερες ιοντίζουσες ακτινοβολίες είναι:

Ακτίνες X οι οποίες παράγονται σε λυχνίες μηχανημάτων ραδιογραφίας.

Οι τρεις φυσικές ραδιενέργειες:

1. Ακτινοβολία α (πυρήνας Ηλίου)
2. Ακτινοβολία β (ηλεκτρόνια υψηλής ταχύτητας)
3. Ακτινοβολία γ (φωτόνια υψηλής ενέργειας, σαν τις ακτίνες X)

Ραδιογραφία

Χαρακτηριστικά ιοντιζουσών ακτινοβολιών

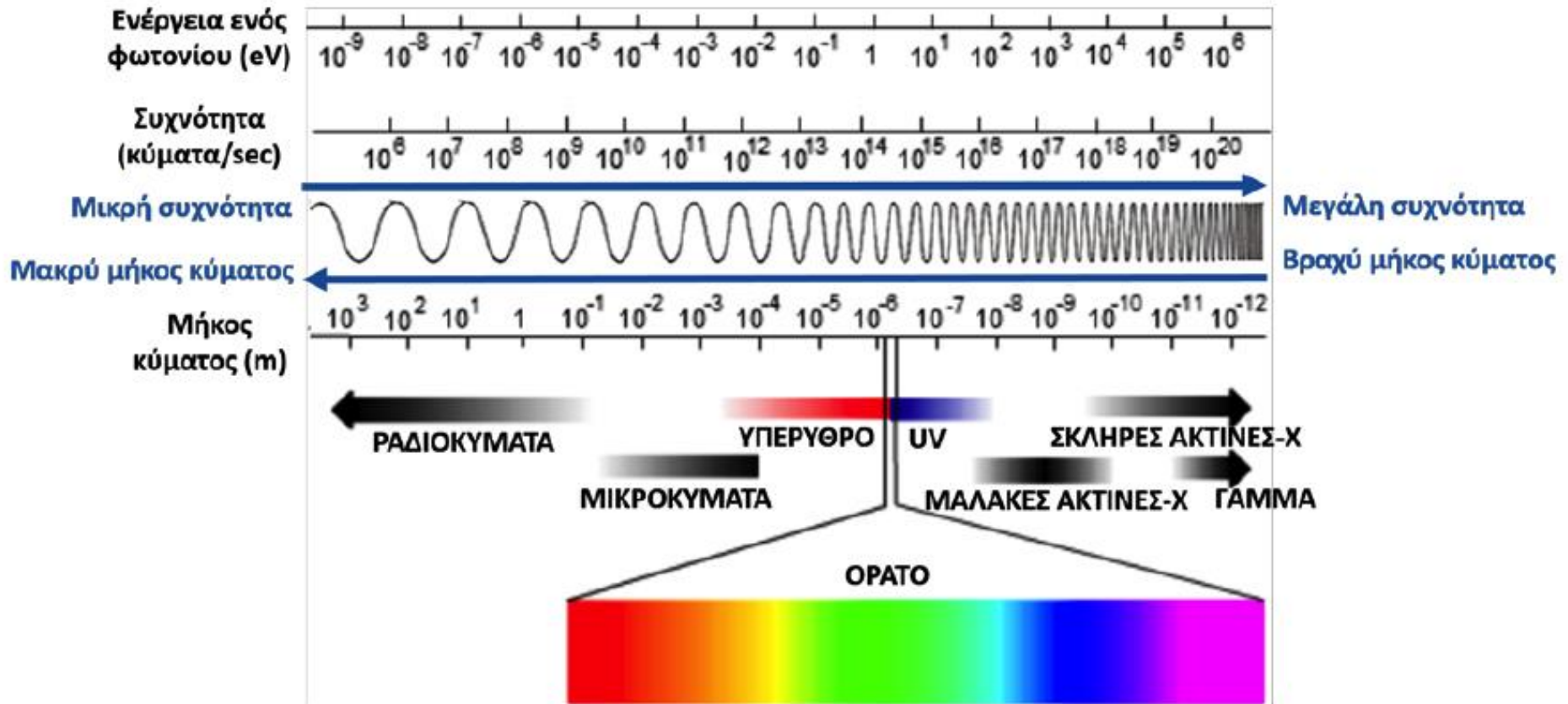
Οι ακτίνες X παράγονται από μια **λυχνία ακτίνων X** ενώ οι ακτίνες γ προέρχονται από **μια πηγή ραδιενέργειας**.

Οι ακτίνες X είναι μια **μορφή Η/Μ ακτινοβολίας** και παράγονται από ταχέως κινούμενα ηλεκτρόνια που προσκρούουν σε υλικά υψηλού ατομικού αριθμού. Το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό τους είναι το **ιδιαίτερα βραχύ (μικρό) μήκος κύματος** που τους δίνει τη δυνατότητα να **διαπεράσουν τα υλικά που απορροφούν ή ανακλούν το ορατό φως**.

Οι ακτίνες γ παράγονται από **ραδιοϊσότοπα και διάσπαση πυρήνων**

Στη βιομηχανική ραδιογραφία για τον έλεγχο της ποιότητας των υλικών χρησιμοποιείται σχεδόν αποκλειστικά η ακτινοβολία γ

Ραδιογραφία



Σχήμα 5.1 Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα.

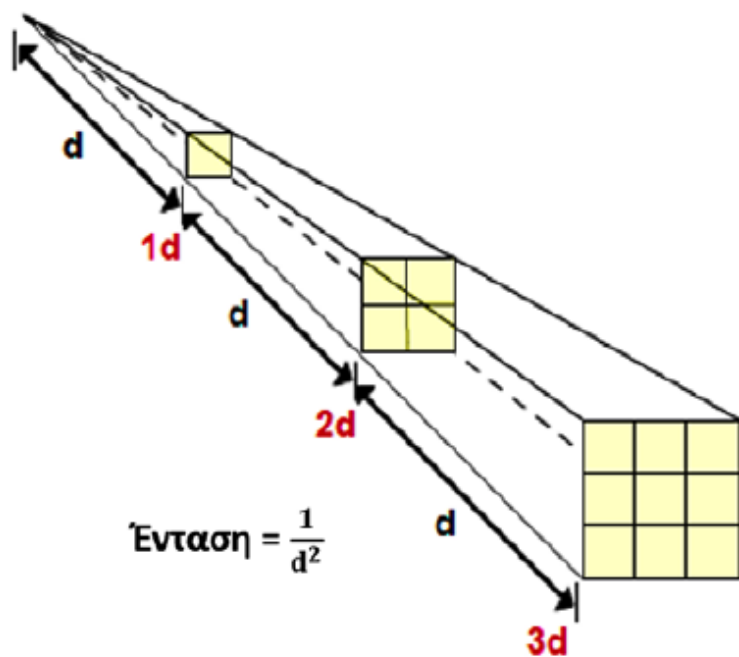
Ραδιογραφία

Χαρακτηριστικά ακτινοβολίας X και γ που χρησιμοποιούνται στον μη καταστροφικό έλεγχο υλικών

Ένταση της ακτινοβολίας: Η ένταση της ακτινοβολίας είναι η ποσότητα ενέργειας που διαπερνά μια συγκεκριμένη περιοχή του υλικού, η οποία είναι κάθετη στη διεύθυνση της ακτινοβολίας στη μονάδα του χρόνου.

Η μονάδα μέτρησης της έντασης των ακτίνων X ή γ είναι το 1 R (Roentgen) και ορίζεται ως η ένταση της ακτινοβολίας που απαιτείται για να παράγει φορτίο ιοντισμού 0.000258 Coulomb ανα χιλιόγραμμο αέρα.

Ραδιογραφία



Σχήμα 5.2 Ο νόμος του αντίστροφου τετραγώνου της απόστασης.

Συνεπώς, η σχέση ανάμεσα στην ένταση και την απόσταση εκφράζεται ως:

$$I_2 = I_1 \left(\frac{d_1}{d_2} \right)^2 \quad (5.1)$$

όπου, I_1 και I_2 είναι οι εντάσεις στις αποστάσεις d_1 και d_2 από την πηγή, αντίστοιχα. Πρακτικά, όταν η απόσταση από την πηγή ακτινοβολίας διπλασιάζεται, η ένταση μειώνεται στο ένα τέταρτο.

Ραδιογραφία

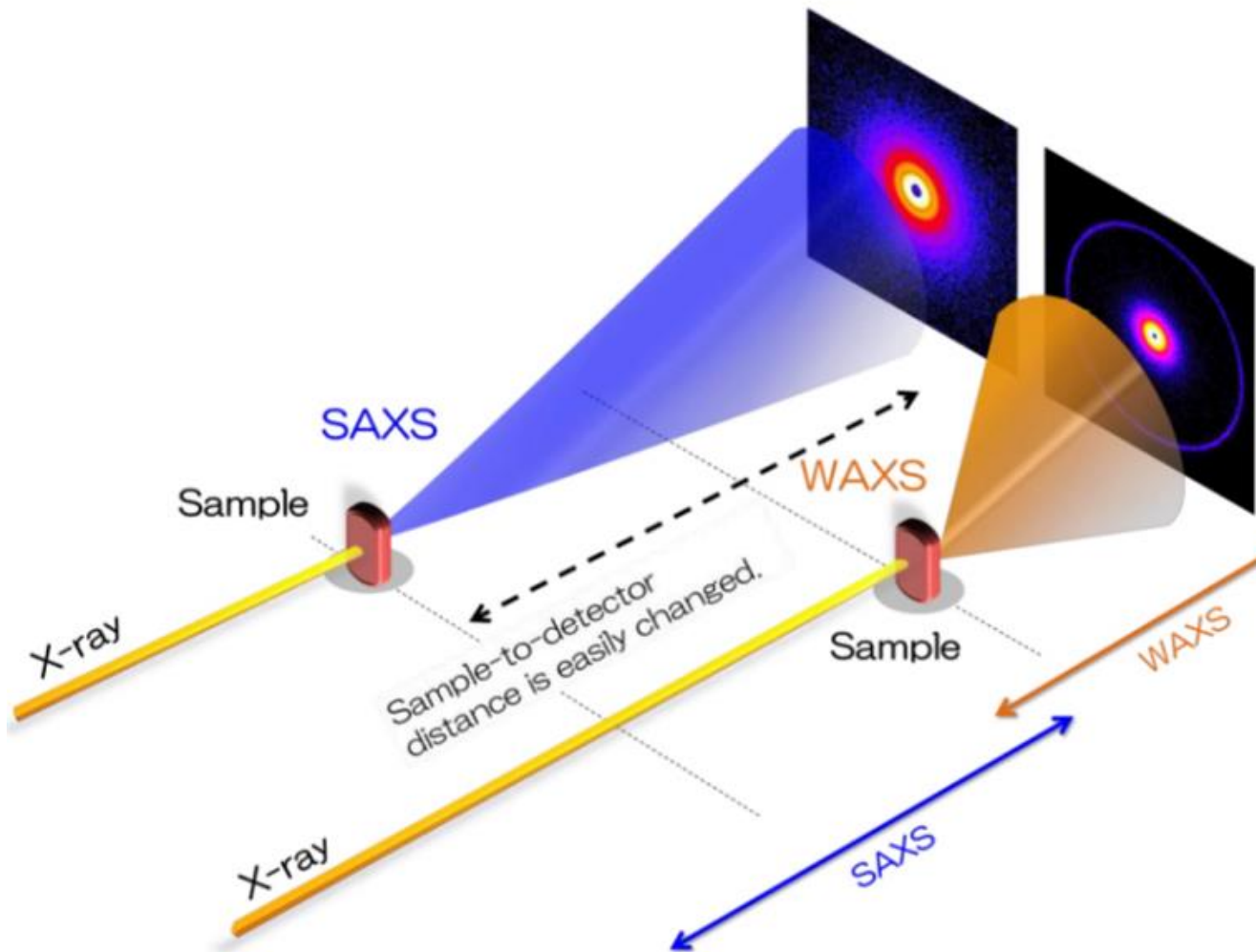
Χαρακτηριστικά ακτινοβολίας X και γ που χρησιμοποιούνται στον μη καταστροφικό έλεγχο υλικών

Απορροφούνται και σκεδάζονται από την ύλη: Ο αριθμός των φωτονίων που τελικά διαπερνούν ένα υλικό εξαρτάται από το πάχος, την πυκνότητα και τον ατομικό αριθμό του υλικού, καθώς και την ενέργεια των μεμονομένων φωτονίων.

Απο την σκέδαση των ακτίνων X μπορούμε να εξάγουμε πολύ χρήσιμα συμπεράσματα για τα υπο μελέτη υλικά.
(Δομή, χαρακτηριστικά κτλ)

Ραδιογραφία

Χαρακτηριστικά ακτινοβολίας X και γ που χρησιμοποιούνται στον μη καταστροφικό έλεγχο υλικών



Ραδιογραφία

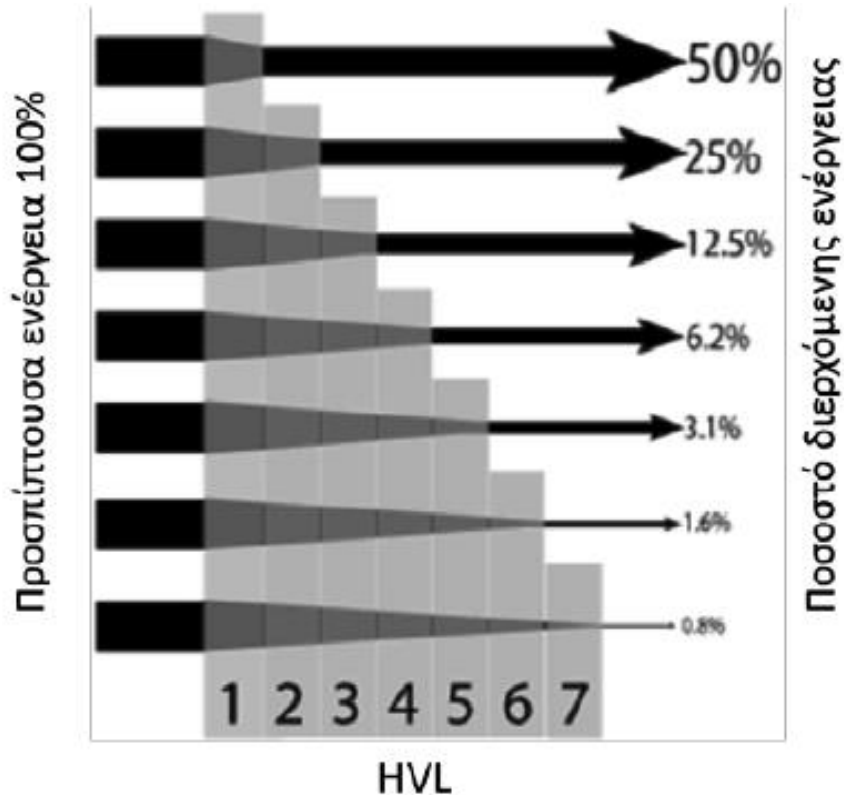
Χαρακτηριστικά ακτινοβολίας X και γ που χρησιμοποιούνται στον μη καταστροφικό έλεγχο υλικών

Διεισδύουν στα υλικά: Οι ακτίνες X και γ έχουν πολύ μικρότερα μήκη κύματος συγκριτικά με άλλες ακτινοβολίες του Η/Μ φάσματος. Όταν αυξάνει η ενέργεια της ακτινοβολίας τότε παράγονται βραχύτερα μήκη κύματος τα οποία παρέχουν μεγαλύτερη διείσδυση στο υπο έλεγχο υλικό.

Η ικανότητα διείσδυσης μιας δέσμης ακτινοβολίας μετράται με το πάχος υποδιπλασιασμού (Half Value Layer HVL). Το πάχος δηλαδή στο οποίο η ένταση γίνεται η μισή.

Ραδιογραφία

Χαρακτηριστικά ακτινοβολίας X και γ που χρησιμοποιούνται στον μη καταστροφικό έλεγχο υλικών



Σχήμα 5.3 Το πάχος υποδιπλασιασμού προσδιορίζει το ποσοστό διείσδυσης δέσμης ακτινοβολίας σε ένα υλικό.

Ραδιογραφία

Χαρακτηριστικά ακτινοβολίας X και γ που χρησιμοποιούνται στον μη

Τάση λυχνίας ακτίνων X (keV)	HVL (mm)	
	Μόλυβδος	Σκυρόδεμα
50	0,06	4,32
100	0,27	15,10
150	0,30	22,32
200	0,52	25,00
250	0,88	28,00
300	1,47	31,21
400	2,50	33,00
1000	7,90	44,45

Πίνακας 5.1 Τιμές του HVL, κατά προσέγγιση, για διάφορα υλικά όταν μειώνεται η ακτινοβολία που προέρχεται από πηγή ακτίνων X.

Ραδιογραφία

Χαρακτηριστικά ακτινοβολίας X και γ που χρησιμοποιούνται στον μη καταστροφικό έλεγχο υλικών

Δεν διαθέτουν ηλεκτρικό φορτίο και μάζα

Δεν εστιάζονται (όπως το ορατό φώς)

Δεν ανιχνεύονται με τις αισθήσεις

Προκαλούν φθορισμό σε μερικά υλικά

Προκαλούν ιονισμό της ύλης

Ραδιογραφία

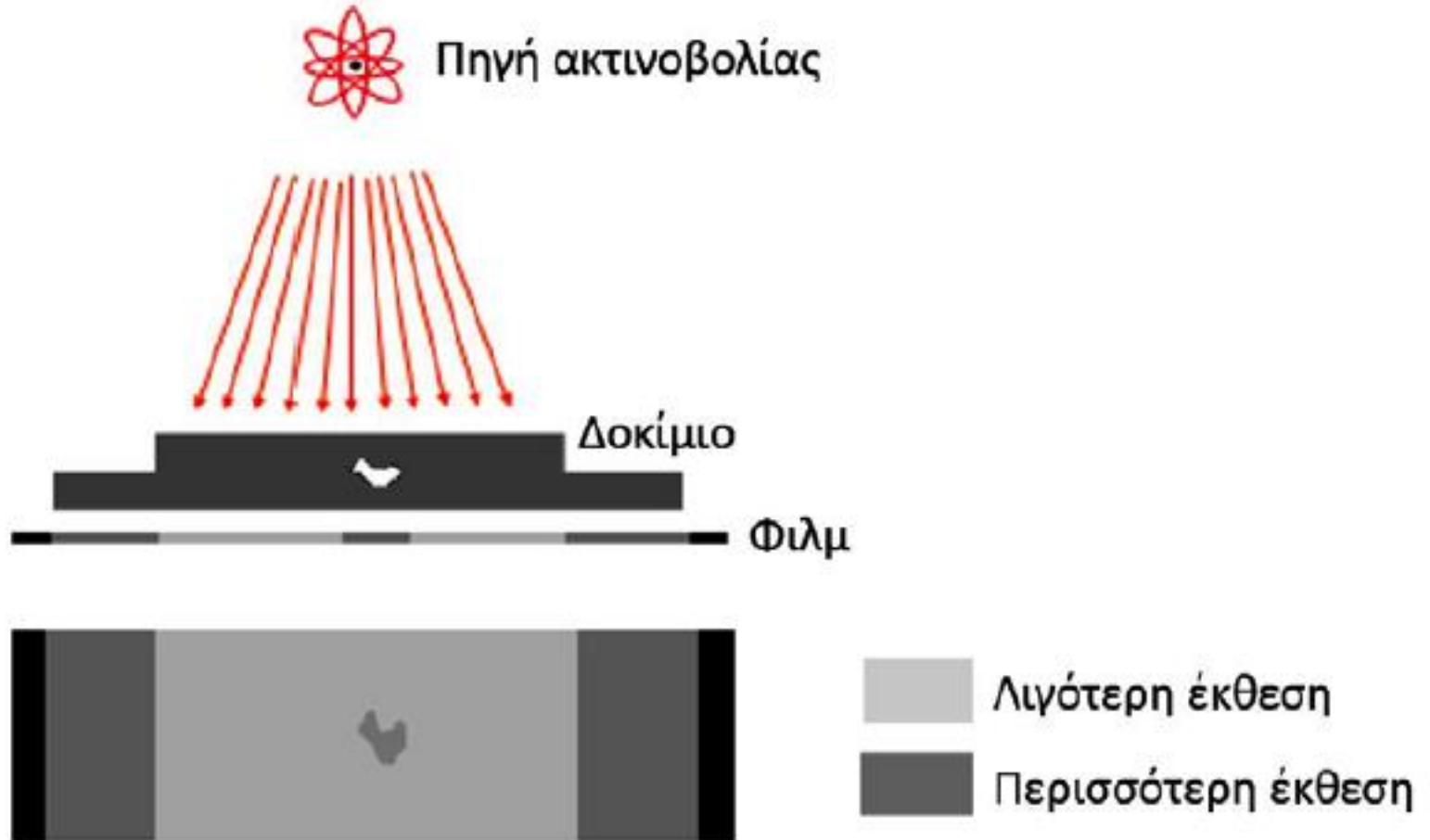
Βασικές αρχές και διατάξεις της ραδιογραφίας

Κατά τον μη καταστροφικό έλεγχο των υλικών με ραδιογραφία το υπο εξέταση υλικό τοποθετείται ανάμεσα στην πηγή της ακτινοβολίας και σε ευαίσθητο φιλμ στην ακτινοβολία. Η πηγή της ακτινοβολίας μπορεί να είναι είτε ακτίνες Χ ή ραδιενεργός πηγή Ιριδίου 192 ή Κοβαλτίου 60. Το υπο έλεγχο υλικό θα απορροφήσει μέρος της ακτινοβολίας. Οι παχύτερες και πυκνότερες περιοχές του υλικού θα «σταματήσουν» απορροφήσουν περισσότερη ακτινοβολία. Η ακτινοβολία που θα διαπεράσει το υλικό θα εκθέσει το φιλμ και θα σκιαγραφήσει το υλικό.

Οι σκοτεινότερες περιοχές του φιλμ σημαίνουν μεγάλη έκθεση στην ακτινοβολία (μικρή απορρόφηση) ενώ οι πιο φωτεινές, σημαίνουν το αντίθετο.

Ραδιογραφία

Βασικές αρχές και διατάξεις της ραδιογραφίας



Κάτοψη του φιλμ που εκτέθηκε στην ακτινοβολία

Σχήμα 5.4 Αρχή του ελέγχου υλικών με ραδιογραφία.

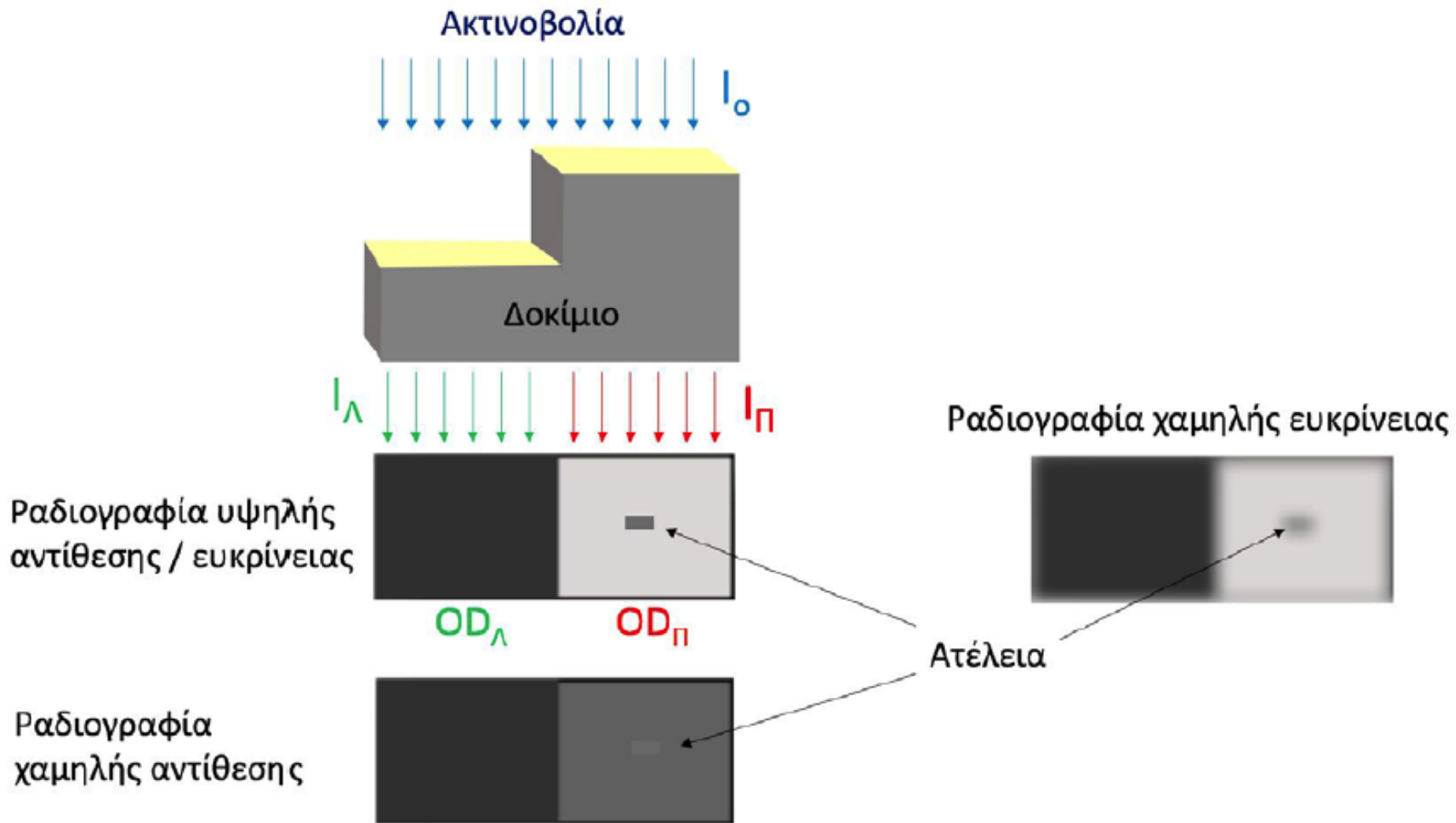
Ραδιογραφία

Παράμετροι και τεχνικές ραδιογραφίας

Η ραδιογραφική ευαισθησία (sensitivity) είναι ένα μέτρο της ποιότητας της εικόνας αναφορικά με την παραμικρή ατέλεια ή ασυνέχεια που μπορεί να εντοπιστεί και εξαρτάται από την αντίθεση (contrast) και την ασάφεια (blur) της εικόνας

Ραδιογραφία

Παράμετροι και τεχνικές ραδιογραφίας



Σχήμα 5.8 Ο ρόλος της αντίθεσης και της ευκρίνειας στην ποιότητα μιας ραδιογραφίας.

Ραδιογραφία

Ακτινοπροστασία

Η ραδιογραφία, όπως είναι αναμενόμενο συνδέεται και με μεγάλους κινδύνους για όσους την χρησιμοποιούν.

Ο χρόνος έκθεσης, η δόση που λαμβάνεται και τα μέρη του σώματος που εκτίθενται στην ακτινοβολία είναι παράγοντες που σχετίζονται με την πιθανότητα εμφάνισης καρκίνου.



Σχήμα 5.12 Ραδιολογική σήμανση.

Ραδιογραφία


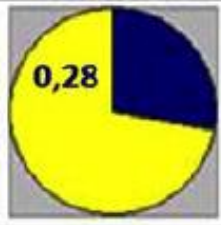
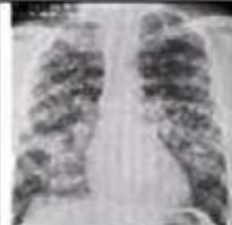
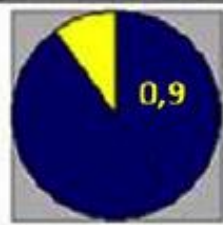

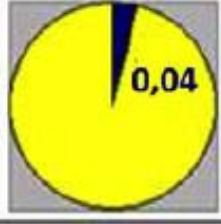

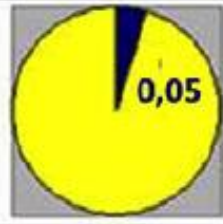

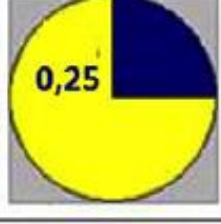

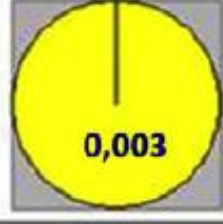

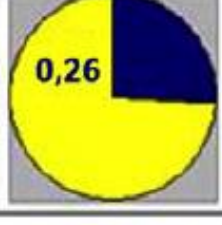

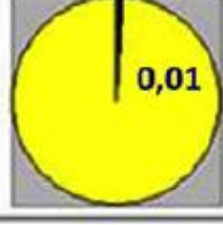
Ακτινοπροστασία



Σχήμα 5.13 Τρεις βασικοί τρόποι ελέγχου της έκθεσης σε επιβλαβή ακτινοβολία.

Ραδιογραφία

Ακτινοπροστασία

Φυσικές πηγές		Ετήσια Δόση (mSv/έτος)	Ανθρωπογενείς πηγές		Ετήσια Δόση (mSv/έτος)
	Κοσμικές ακτίνες (ακτινοβολία από τον ήλιο και απώτερο σύμπαν)	 0,28		Ιατρικές (κυρίως από διαγνωστικές ακτίνες Χ)	 0,9
	Υλικά κατασκευών	 0,04		Νέφος από ατομικές δοκιμές	 0,05
	Ανθρώπινο σώμα	 0,25		Παραγωγή πυρηνικής ενέργειας	 0,003
	Γη	 0,26		Καταναλωτικά προϊόντα (κυρίως από έγχρωμες τηλεοράσεις)	 0,01

Ραδιογραφία

Πλεονεκτήματα της μεθόδου

1. Δεν περιορίζεται από τον τύπο του υλικού ή την πυκνότητα
2. Παρέχει την δυνατότητα επιθεώρησης συναρμολογημένων εξαρτημάτων
3. Απαιτεί ελάχιστη επιφανειακή προετοιμασία
4. Ευαίσθητη σε μεταβολές του πάχους, στη διάβρωση, στην παρουσία κενών και ρωγμών καθώς και σε μεταβολές πυκνότητας του υλικού.
5. Ανιχνεύει επιφανειακά και εσωτερικά ελαττώματα των υλικών
6. Παρέχει μόνιμη καταγραφή της επιθεώρησης
7. Καλή φορητότητα, ειδικά των πηγών ακτίνων γ

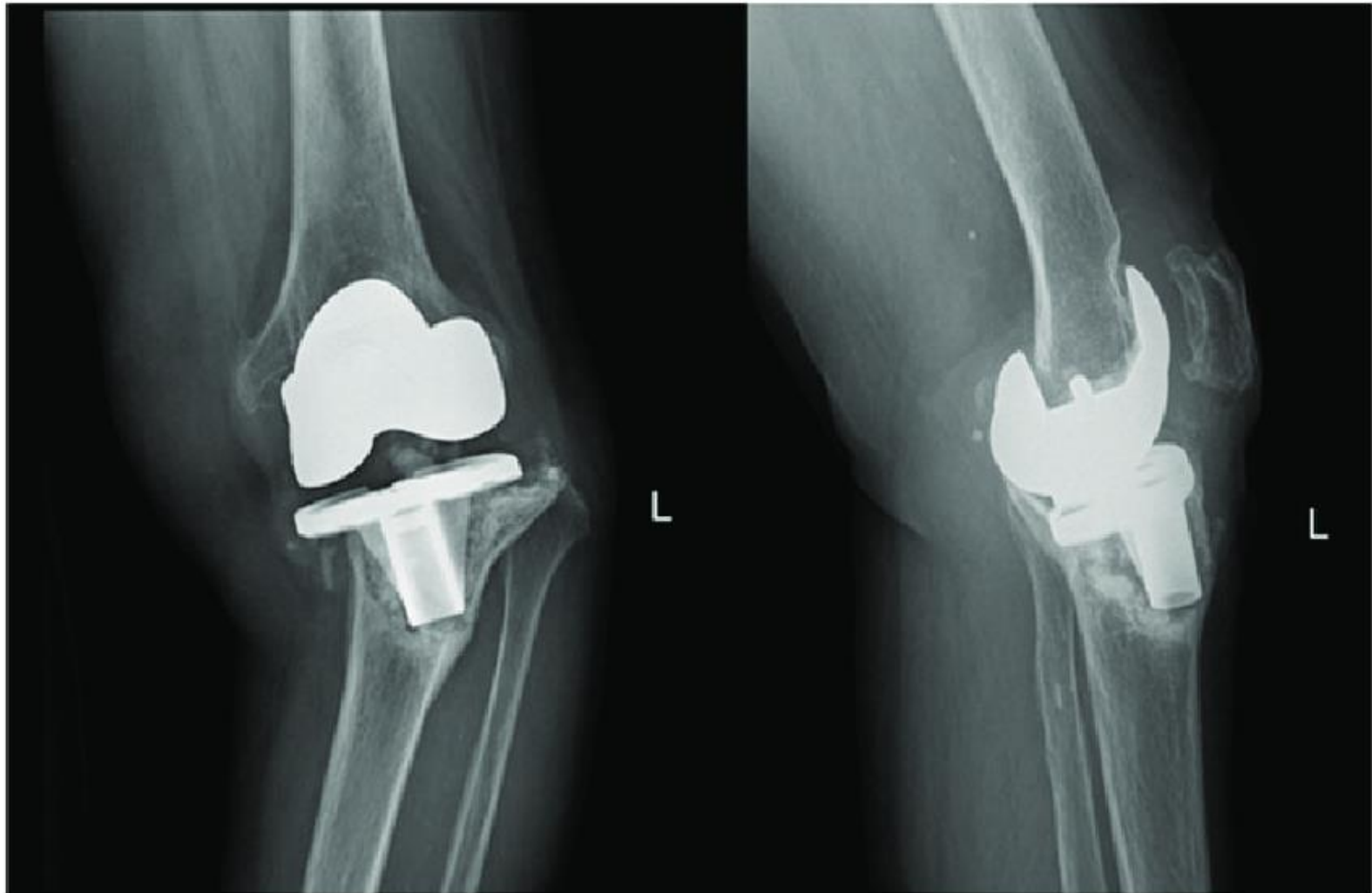
Ραδιογραφία

Μειονεκτήματα της μεθόδου

1. Πολλές προφυλάξεις ασφαλείας για τη χρήση ακτινοβολίας υψηλής έντασης
2. Πολλές ώρες εκπαίδευσης του τεχνικού πριν από τη χρήση
3. Απαιτείται πρόσβαση και στις δυο πλευρές του δείγματος
4. Η διαδικασία επιθεώρησης είναι σχετικά αργή
5. Υψηλά κατευθυντική τεχνική (ευαίσθητη στον προσανατολισμό της ατέλειας)
6. Ο προσδιορισμός του βάθους της ατέλειας είναι αδύνατος χωρίς πρόσθετες γωνίες έκθεσης
7. Μεγάλο αρχικό κόστος εξοπλισμού.

Ραδιογραφία

Ειδικές περιπτώσεις



Ραδιογραφία

Ειδικές περιπτώσεις



Ραδιογραφία

Ειδικές περιπτώσεις



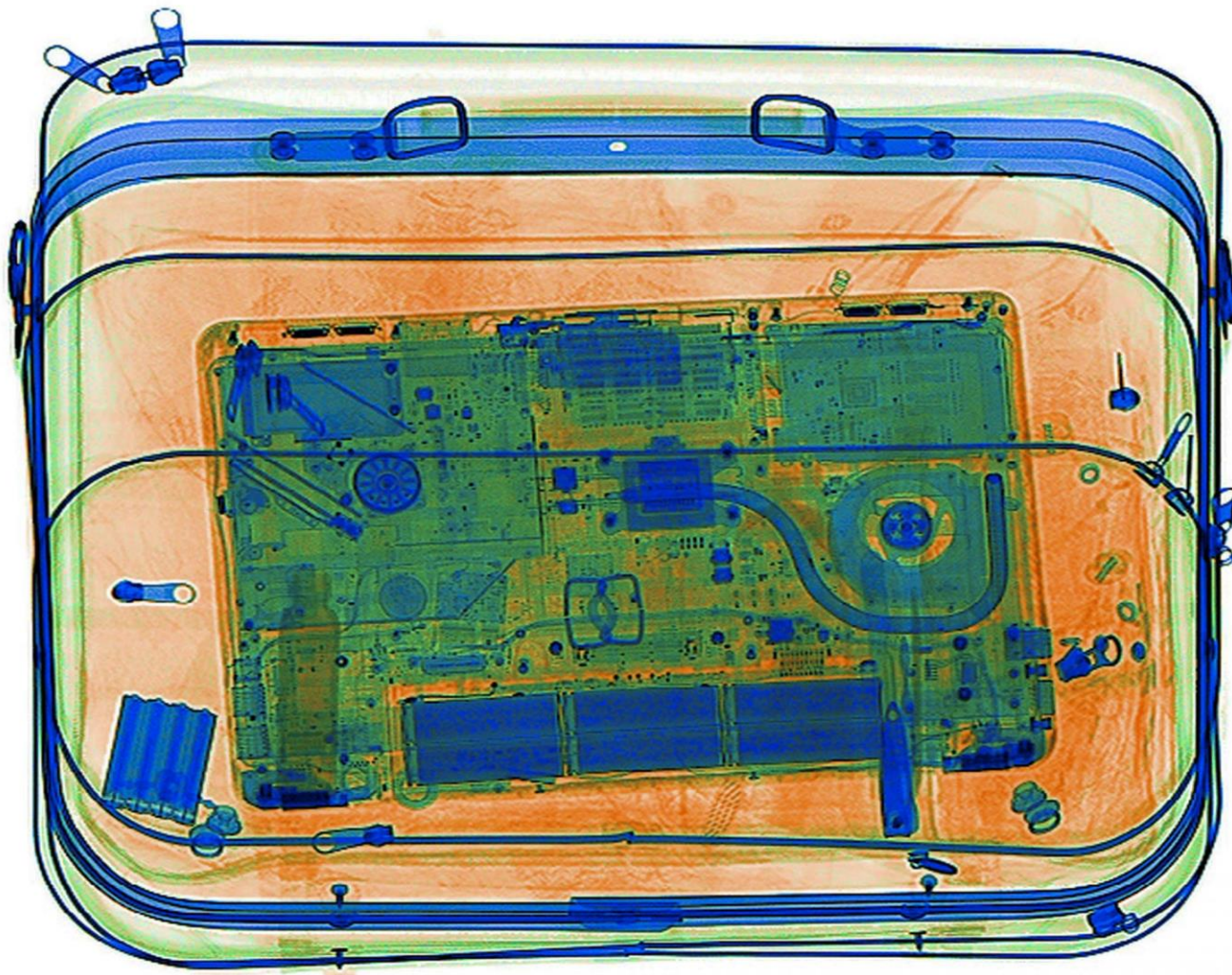
Ραδιογραφία

Ειδικές περιπτώσεις



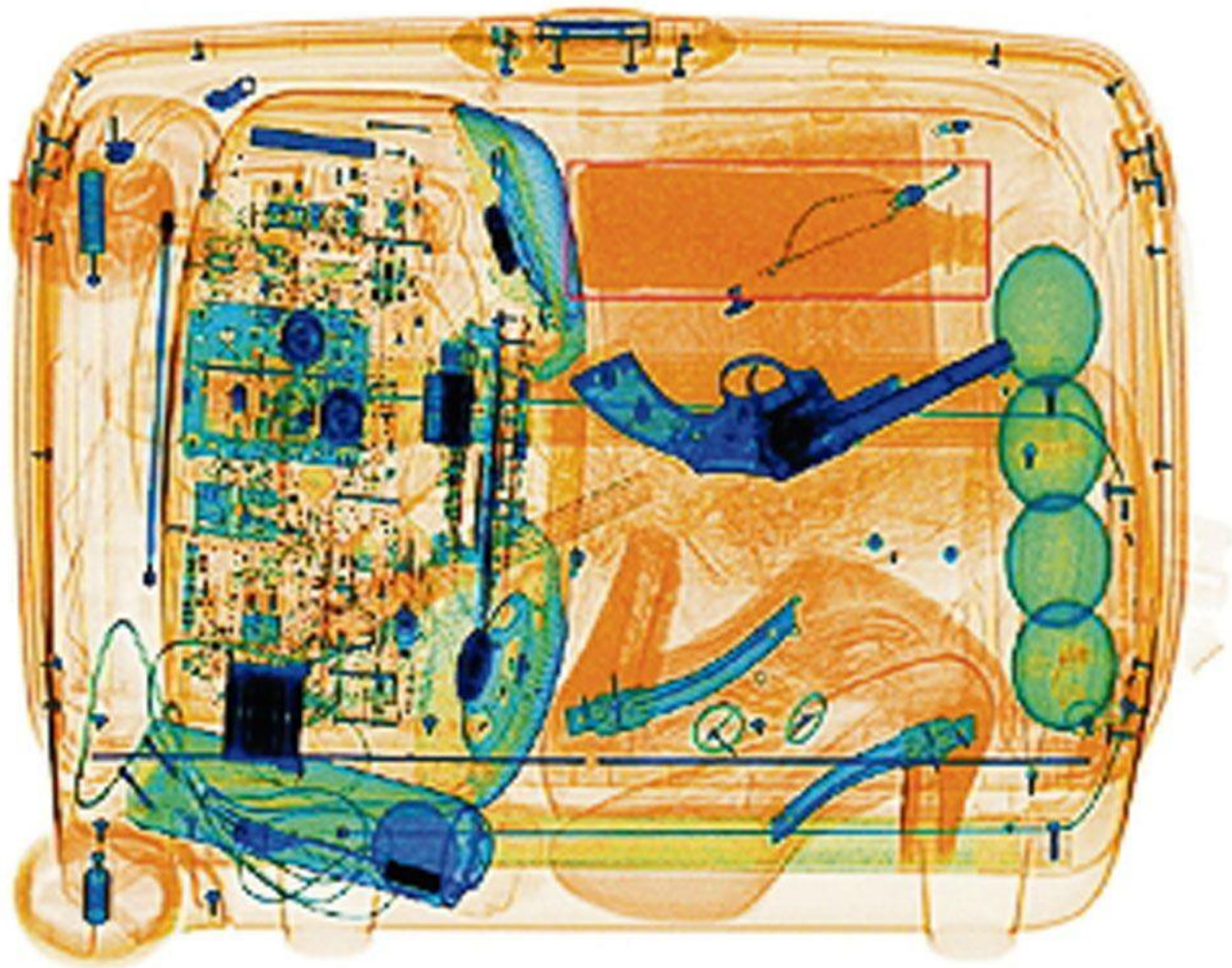
Ραδιογραφία

Ειδικές περιπτώσεις



Ραδιογραφία

Ειδικές περιπτώσεις



Ευχαριστώ για την προσοχή σας.

