

ΙΑΤΡΙΚΗ ΦΥΣΙΚΗ

Π. Παπαγιάννης & Ε. Στυλιάρης
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΝ ΑΘΗΝΩΝ
2013-2014

ΔΙΑΓΝΩΣΗ ΜΕ ΑΚΤΙΝΕΣ-X

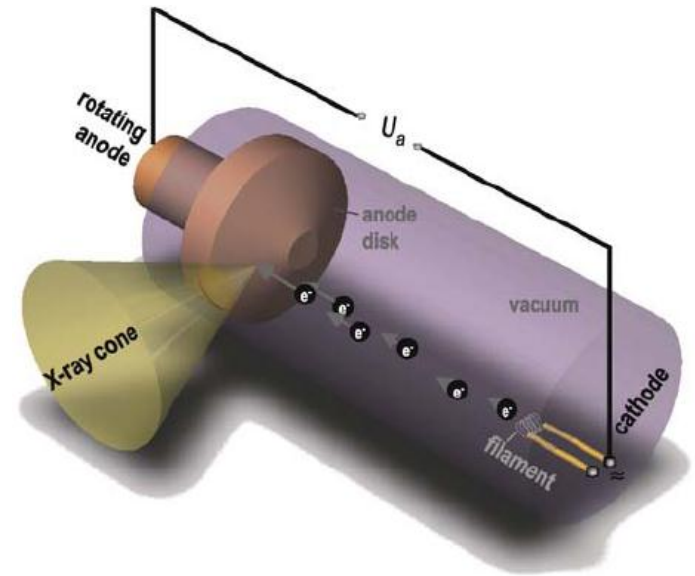
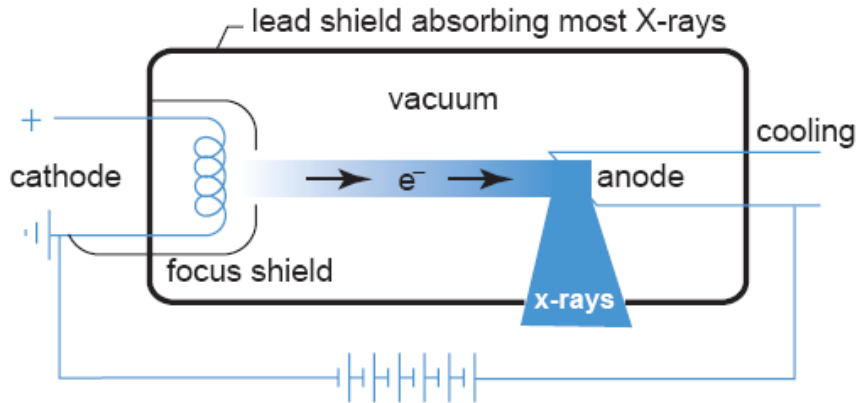
- Αρχή Λειτουργίας – Παραγωγή Ακτίνων X
- Απορρόφηση Ακτίνων X
- Ανίχνευση Ακτίνων X
- Κλινικές Συσκευές Ακτίνων X – Διάγνωση
- Αρχή της Μαστογραφίας

ΑΞΟΝΙΚΗ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑ

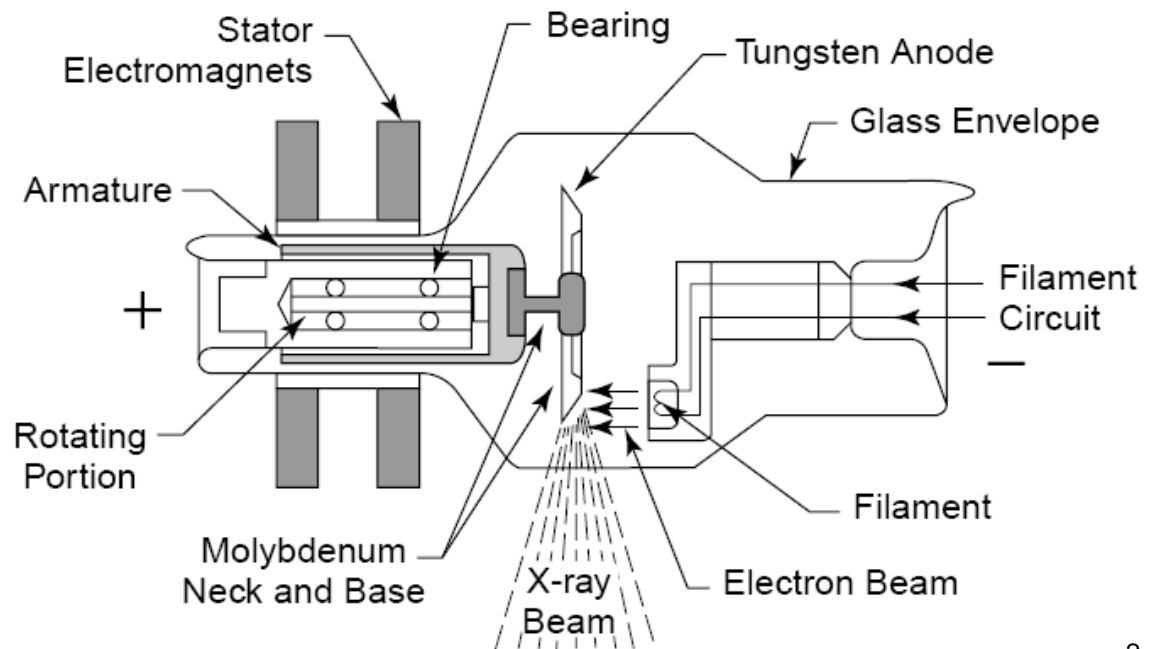
- Computed X-Ray Tomography: Αρχή Λειτουργίας
- Εξέλιξη Αξονικών Τομογράφων
- Αριθμός CT (Haunsfield Number)
- Η μέθοδος της Διπλής Ενέργειας

ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΑΚΤΙΝΩΝ Χ

Αρχή λειτουργίας λυχνίας ακτίνων Χ

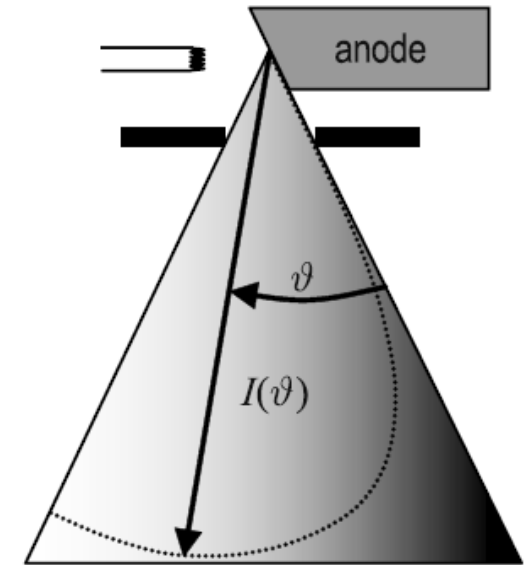
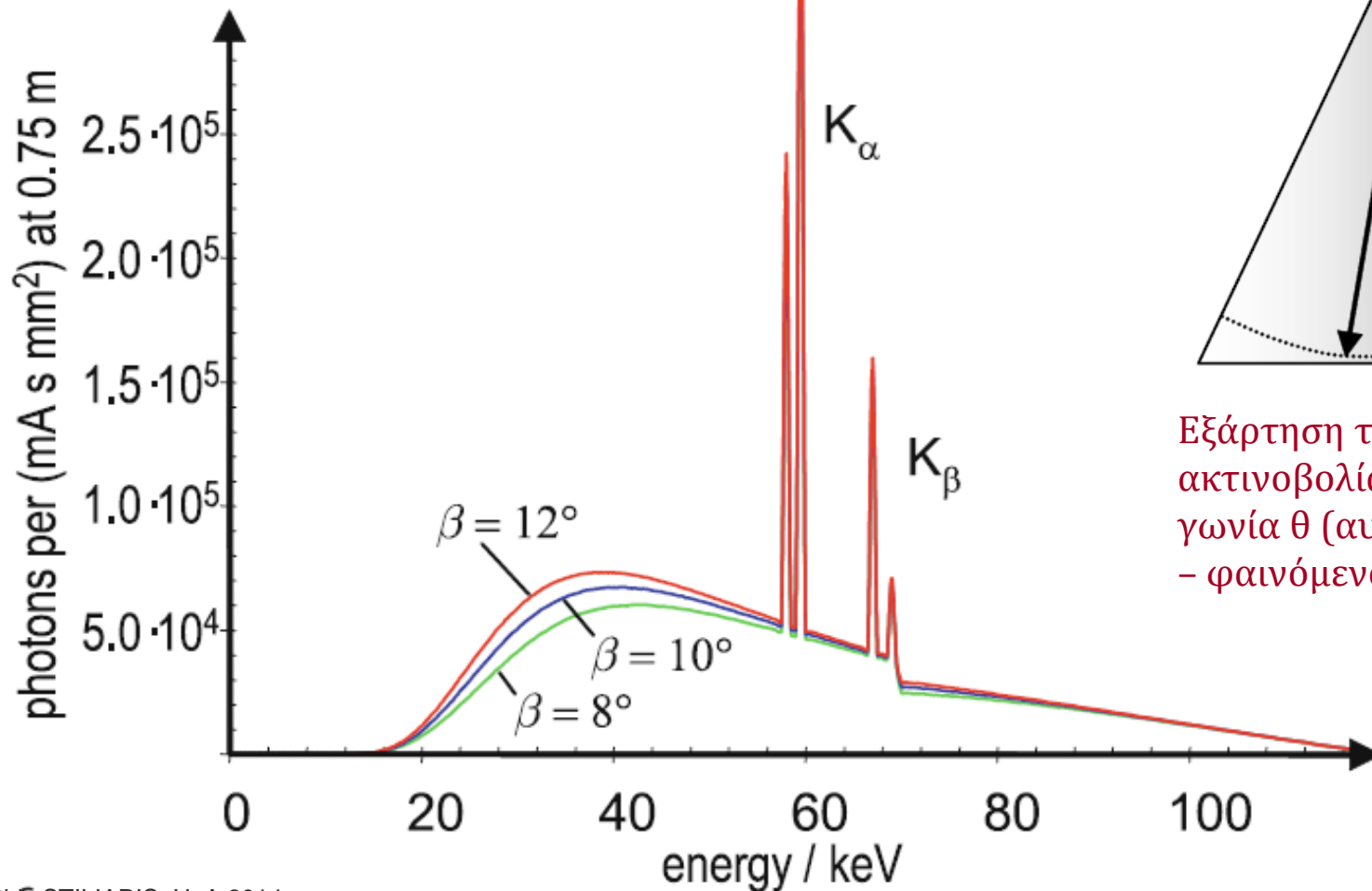


Απλοποιημένη διάταξη παραγωγής ακτίνων Χ με περιστρεφόμενη άνοδο



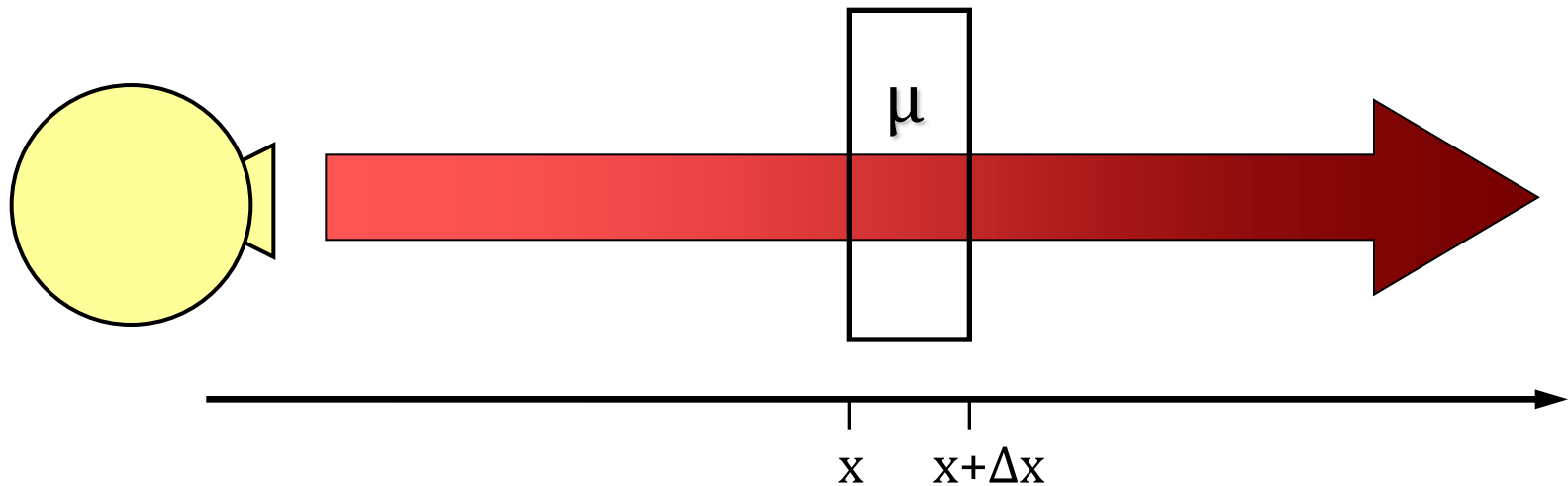
ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΑΚΤΙΝΩΝ Χ

Τυπικό φάσμα ακτίνων Χ από άνοδο Βολφραμίου (W)
σε ανοδική τάση $V_a = 120$ kV.



Εξάρτηση της έντασης της
ακτινοβολίας Χ από τη
γωνία θ (αυτοαπορρόφηση
- φαινόμενο Heel).

ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ ΑΚΤΙΝΩΝ Χ



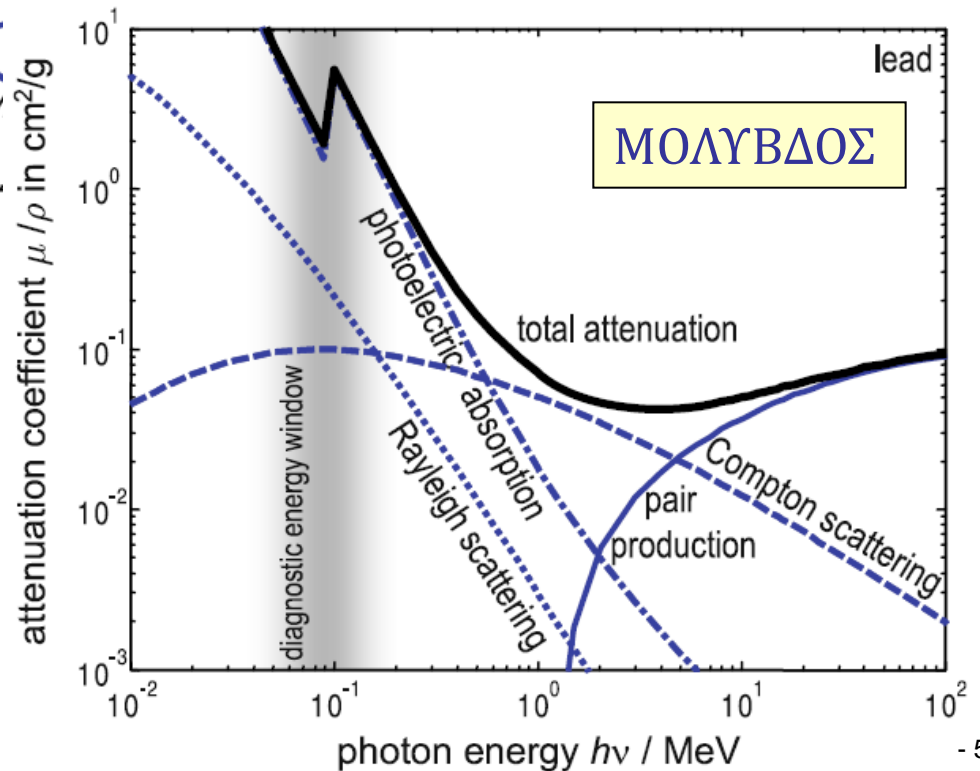
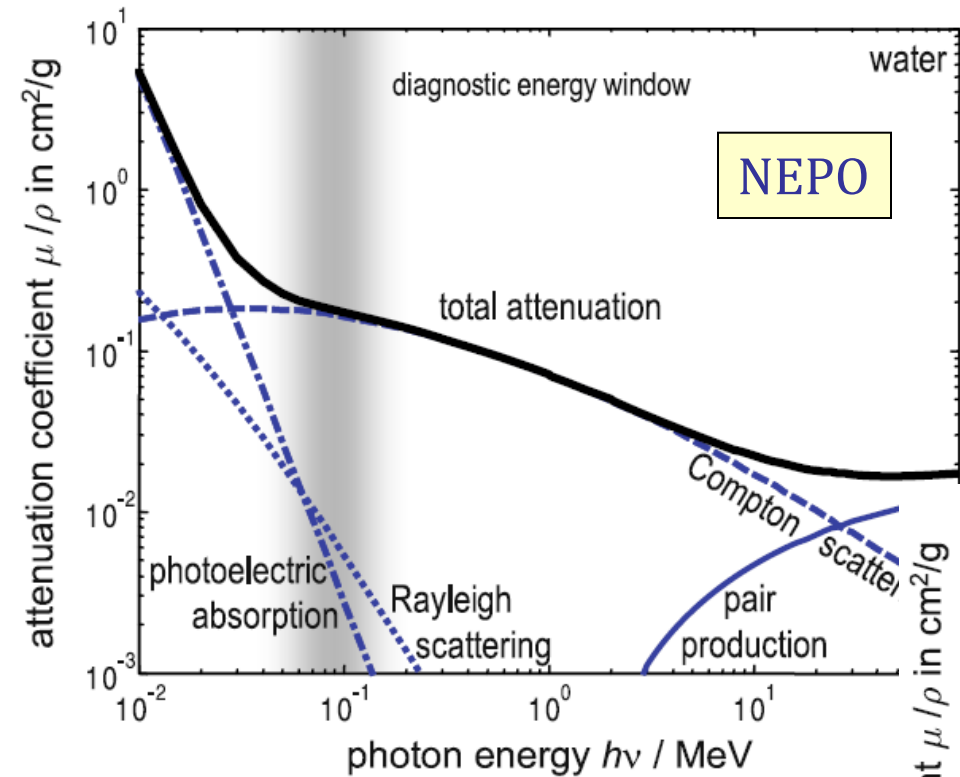
$$\frac{dI}{I(x)} = -\mu dx \Rightarrow \int \frac{dI}{I(x)} = -\mu \int dx \Rightarrow I(x) = I_0 e^{-\mu x}$$

μ : γραμμικός συντελεστής απορρόφησης

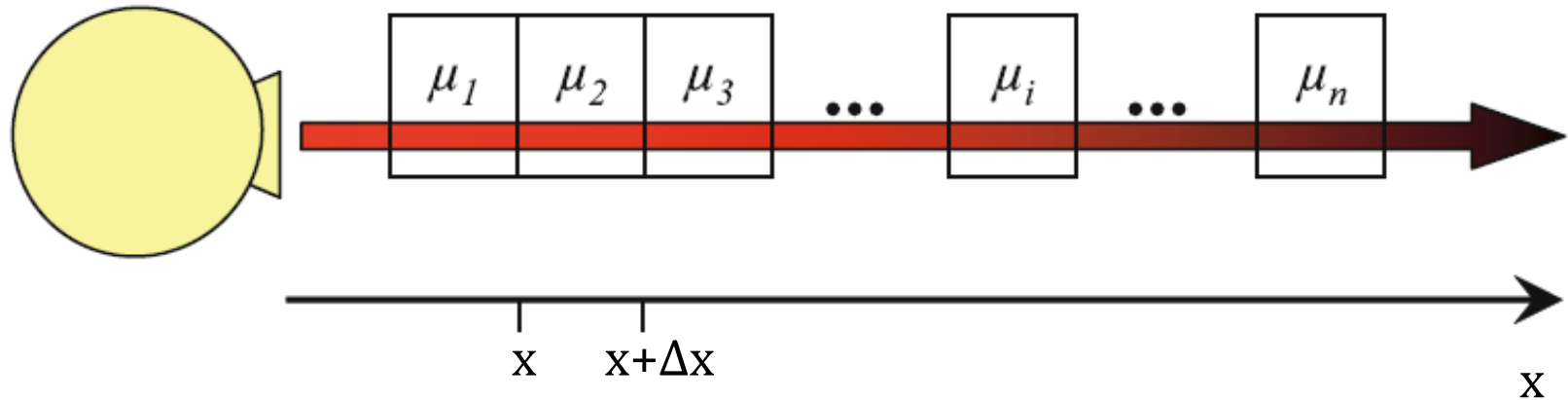
μ/ρ : μαζικός συντελεστής απορρόφησης

ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ ΑΚΤΙΝΩΝ Χ

Μαζικός συντελεστής απορρόφησης
 μ/ρ
 στην ενεργειακή περιοχή των
 ακτίνων Χ



ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ ΑΚΤΙΝΩΝ Χ

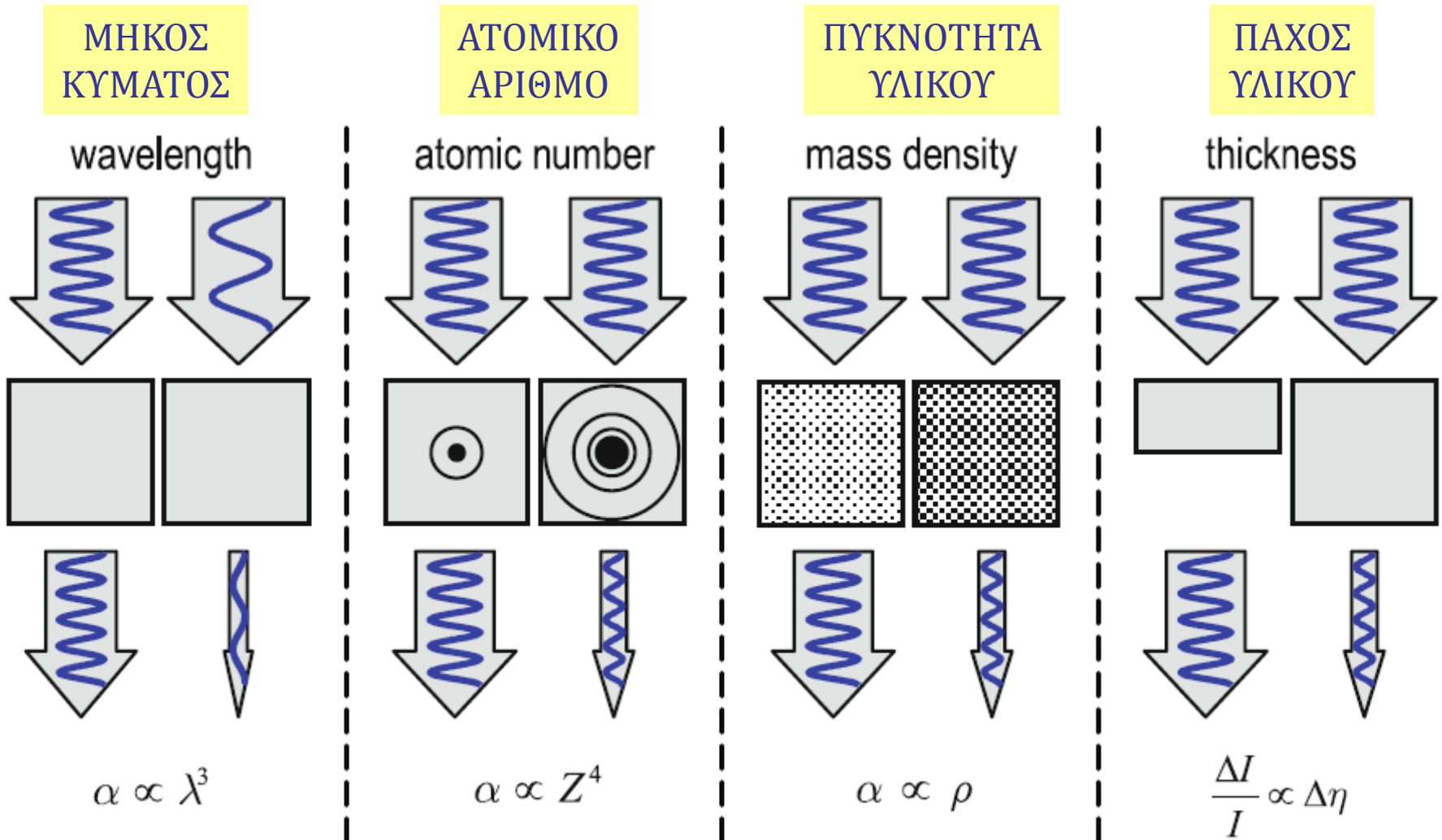


$$\frac{dI}{I(x)} = -\mu_1 \Delta x - \mu_2 \Delta x \cdots - \mu_n \Delta x \Rightarrow I(x) = I_0 e^{-\sum \mu_i \Delta x}$$

$$I(x) = I_0 e^{-\int \mu(x) dx}$$

ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ ΑΚΤΙΝΩΝ Χ

Εξάρτηση της απορρόφησης ακτινοβολίας Χ από:



T. Laubenberger and J. Laubenberger: «Technik der medizinischen Radiologie» (1999)

ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΑΚΤΙΝΩΝ Χ

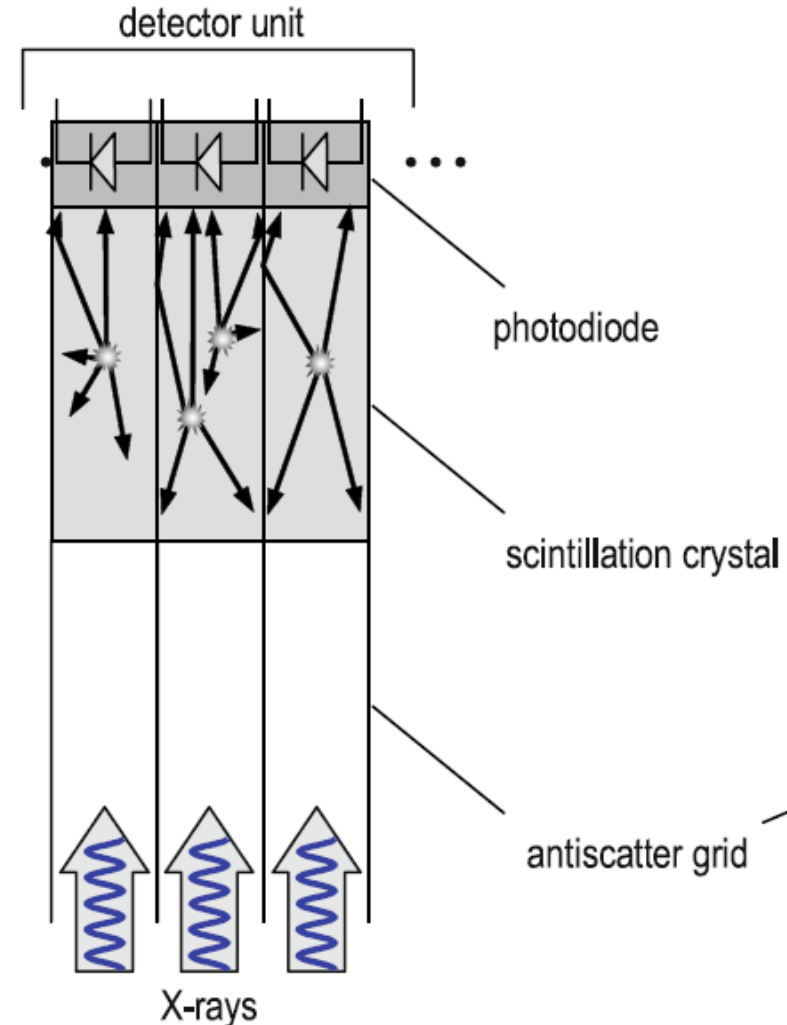
Σχηματική αναπαράσταση
ανίχνευσης ακτίνων Χ

Ακτίνες Χ → Οπτικό Φως
(Σπινθηριστής)

Ανίχνευση με Φωτοδιόδους

ΣΠΙΝΘΗΡΙΣΤΕΣ

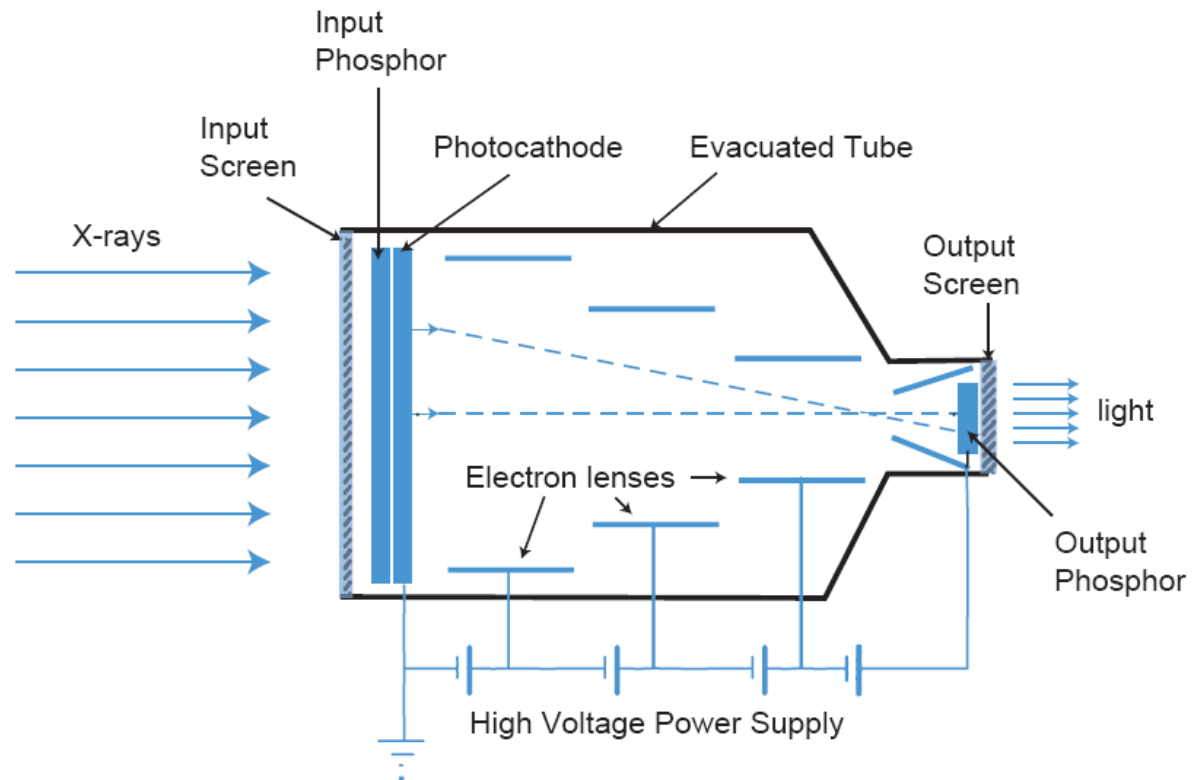
CsI
BGO
CdWO₄
Cd₂O₂S



ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΑΚΤΙΝΩΝ Χ

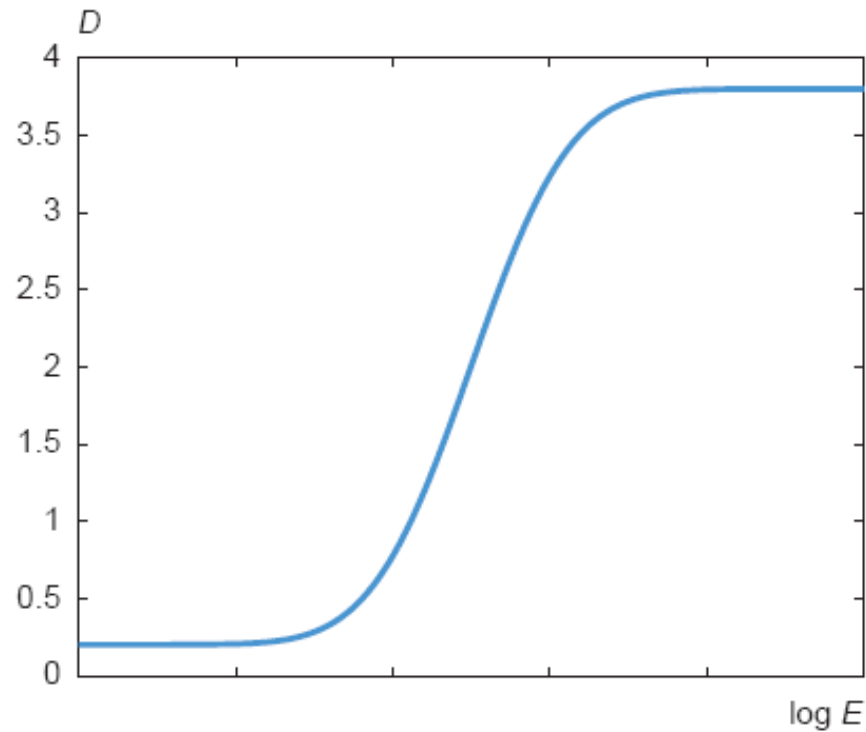
Ενισχυτής ραδιογραφικής εικόνας

Ακτίνες Χ → Οπτικό Φως → Ηλεκτρόνια (Φωτοκάθοδος)



ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΑΚΤΙΝΩΝ Χ

Καμπύλη ευαισθησίας για Ραδιογραφικό Φιλμ



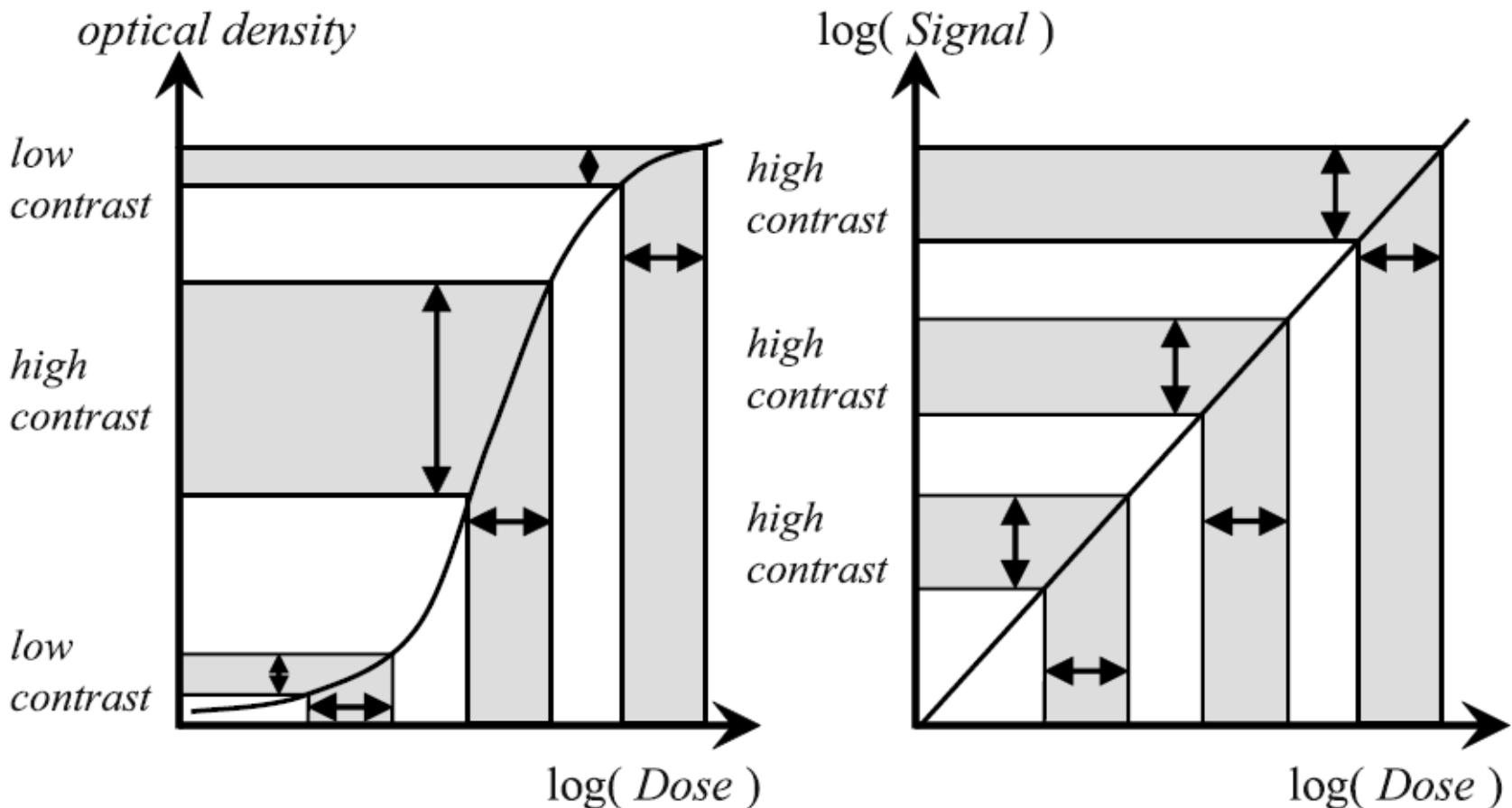
E: (Exposure) Έκθεση Ακτινοβολίας

D: (Optical Density) Οπτική Πυκνότητα

$$D = \log \frac{I_{in}}{I_{out}}$$

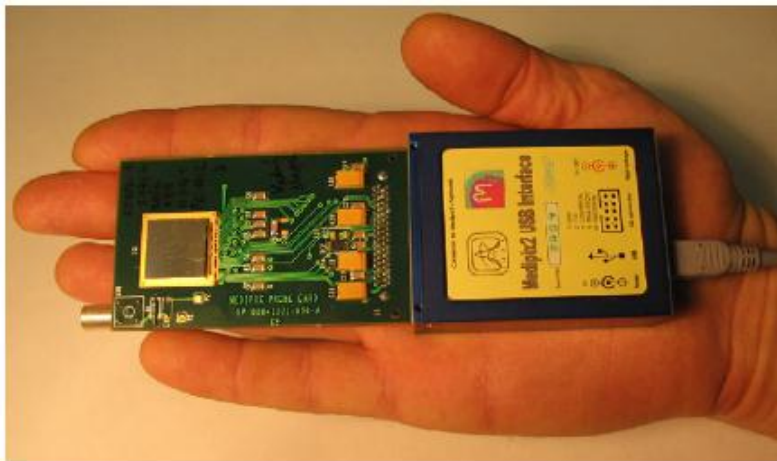
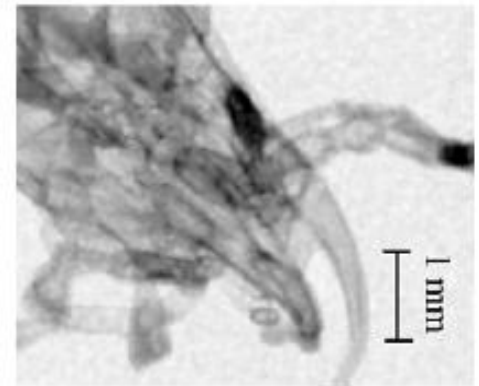
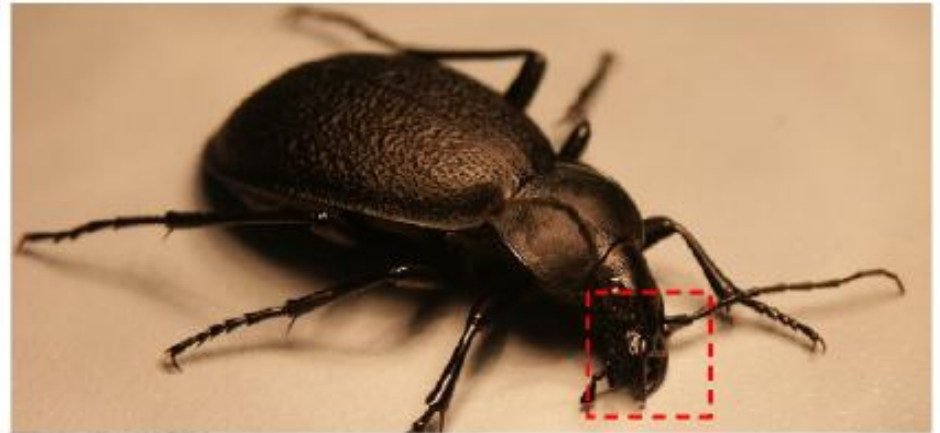
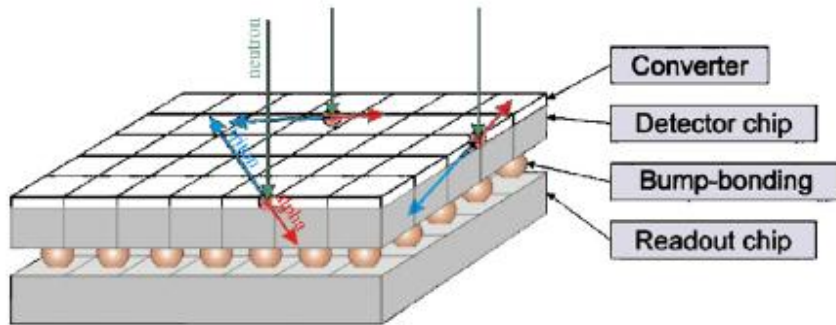
ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΑΚΤΙΝΩΝ Χ

Σύγκριση των δυναμικών χαρακτηριστικών ανιχνευτικής διάταξης ακτίνων Χ βασισμένης σε φιλμ και σε σπινθηριστή με ψηφιακή ανάγνωση δεδομένων.



ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΑΚΤΙΝΩΝ Χ

Medipix-2 Detector



Απεικόνιση με ακτινοβολία Χ

ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΑΚΤΙΝΩΝ Χ

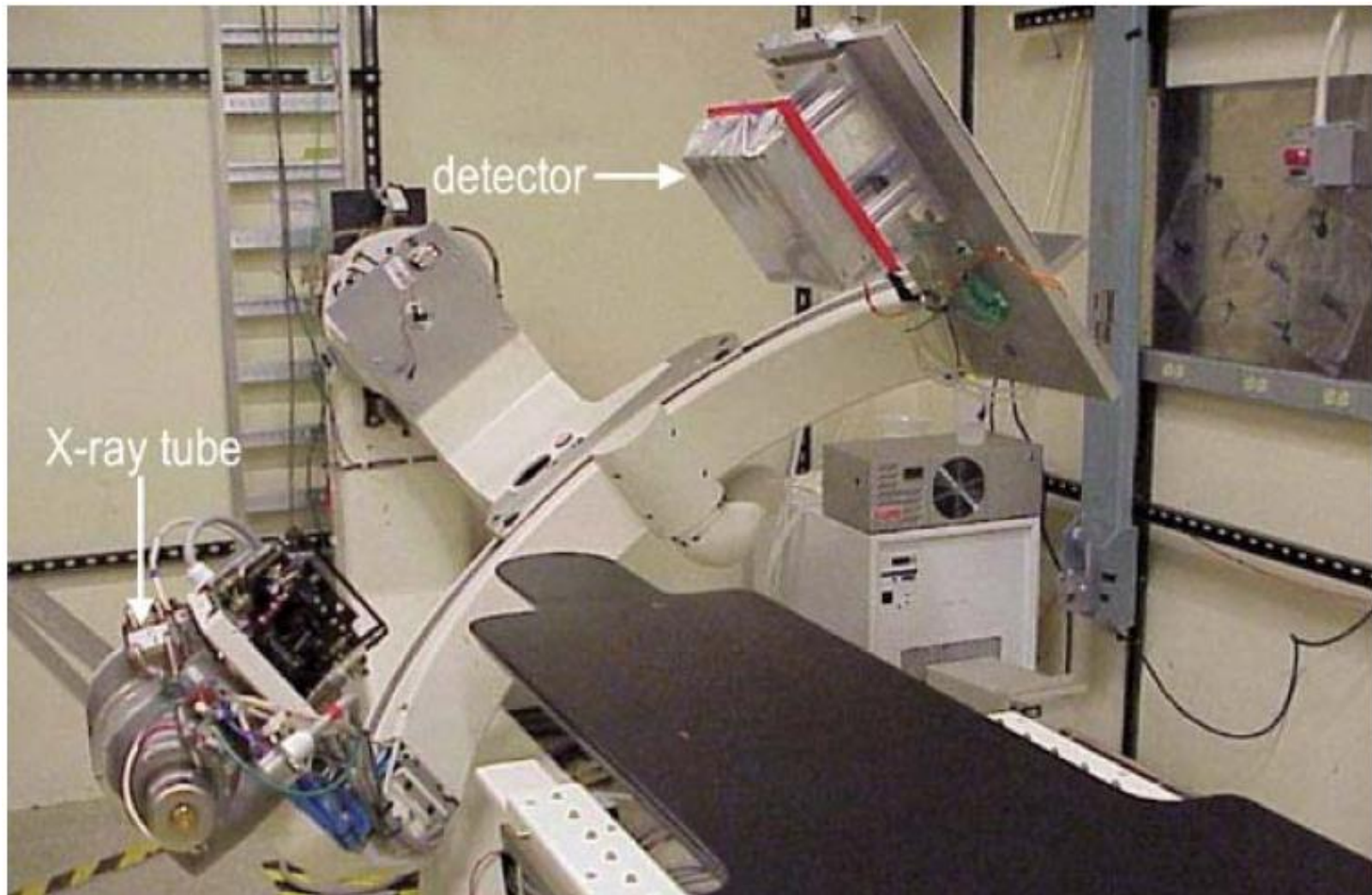


X-Ray System with Flat Panel Detector



C-Arm X-tube with Flat Panel Detector

ΔΙΑΓΝΩΣΗ ΜΕ ΑΚΤΙΝΕΣ Χ



C-Arm X-tube with Flat Panel Detector

ΔΙΑΓΝΩΣΗ ΜΕ ΑΚΤΙΝΕΣ Χ



Διπλό κάταγμα κάτω γνάθου με έντονη μετατόπιση προς τα αριστερά.



Αδιαφάνεια με αιχμηρά σύνορα στον δεξιό μαστό με ιστολογικά ελεγμένο καρκίνωμα.

ΔΙΑΓΝΩΣΗ ΜΕ ΑΚΤΙΝΕΣ Χ



Τρισδιάστατη απεικόνιση των εγκεφαλικών αιμοφόρων αγγείων. Ανακατασκευή από μια σειρά από προβολικών εικόνων με βραχίονα-C συσκευή ακτίνων Χ.



Εγκεφαλική αγγειογραφία που δείχνει ένα ανεύρυσμα ή σφαιρική διαστολή μιας εγκεφαλικής αρτηρίας.

ΑΡΧΗ ΤΗΣ ΜΑΣΤΟΓΡΑΦΙΑΣ

Αντίθεση Θέματος

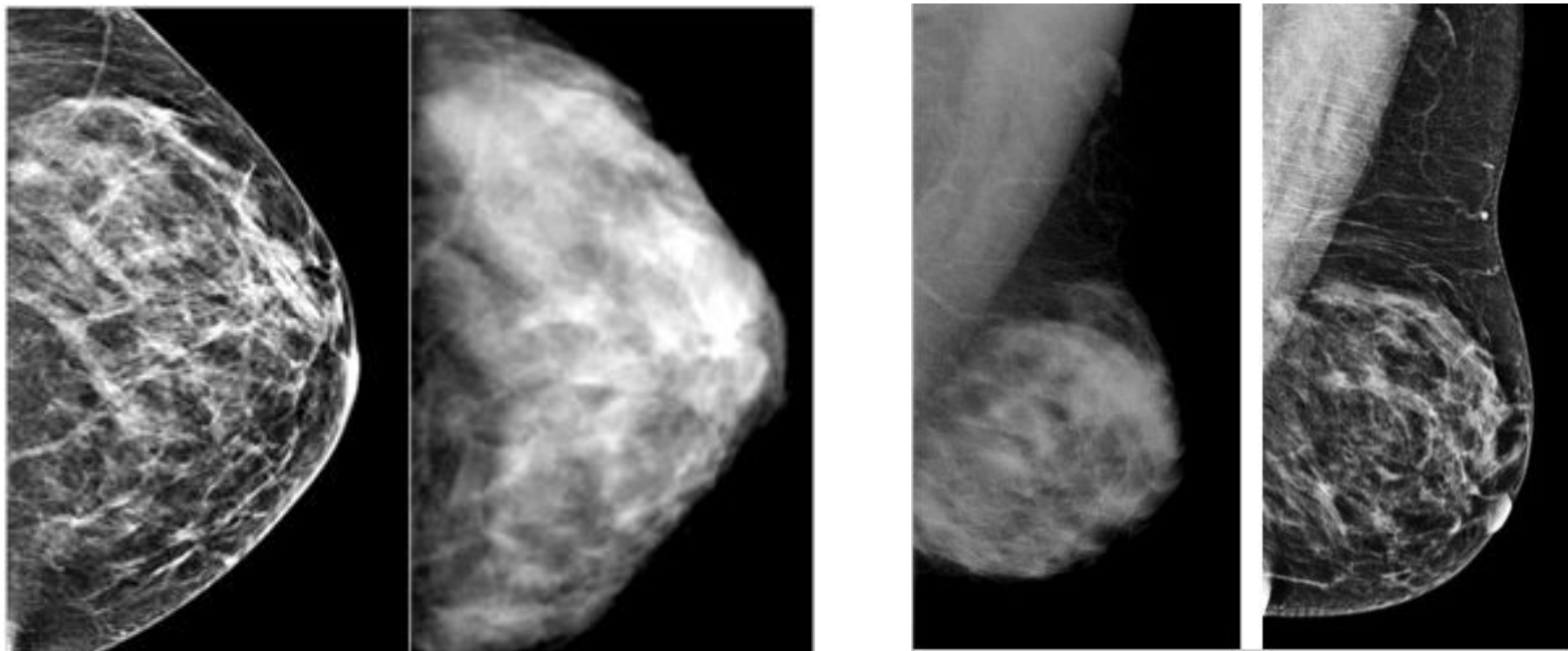
$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{I_0 \cdot e^{-\mu_1 x_1}}{I_0 \cdot e^{-\mu_2 x_2}} = e^{(\mu_2 x_1 - \mu_1 x_1)}$$

$$x_1 = x_2$$

$$\frac{I_1}{I_2} = e^{(\mu_2 - \mu_1)x}$$

Η αντίθεση εξαρτάται μόνο από τη διαφορά των συντελεστών εξασθένησης όταν το πάχος του απορροφητικού υλικού είναι το ίδιο.

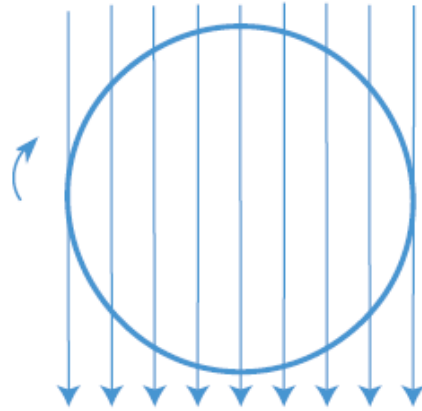
ΑΡΧΗ ΤΗΣ ΜΑΣΤΟΓΡΑΦΙΑΣ



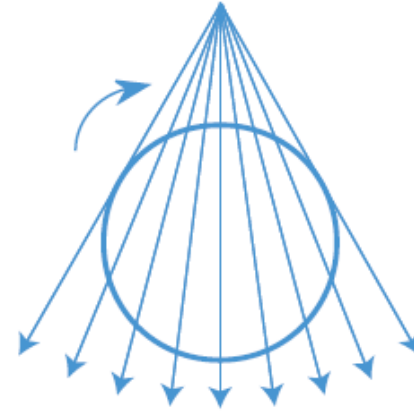
Διαφορές στην ευκρίνεια και την αντίθεση μεταξύ ψηφιακής μαστογραφίας και της αντίστοιχης απεικόνισης με φιλμ.

COMPUTED X-RAY TOMOGRAPHY

Parallel-Beam
Geometry

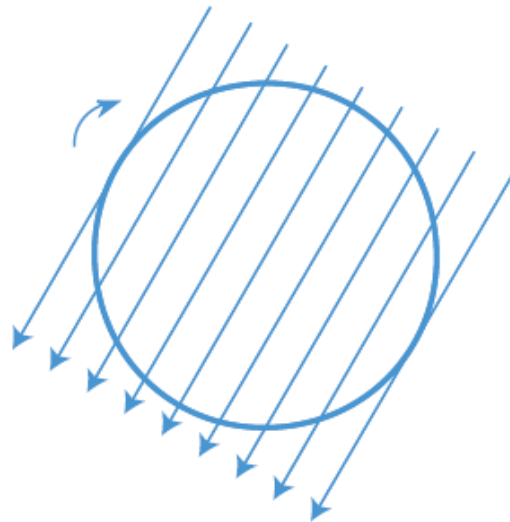


(a)

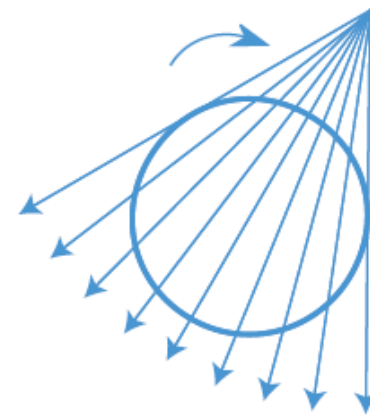


(b)

Fan-Beam
Geometry



(c)



(d)

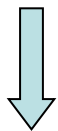
COMPUTED X-RAY TOMOGRAPHY

Parallel-Beam Geometry

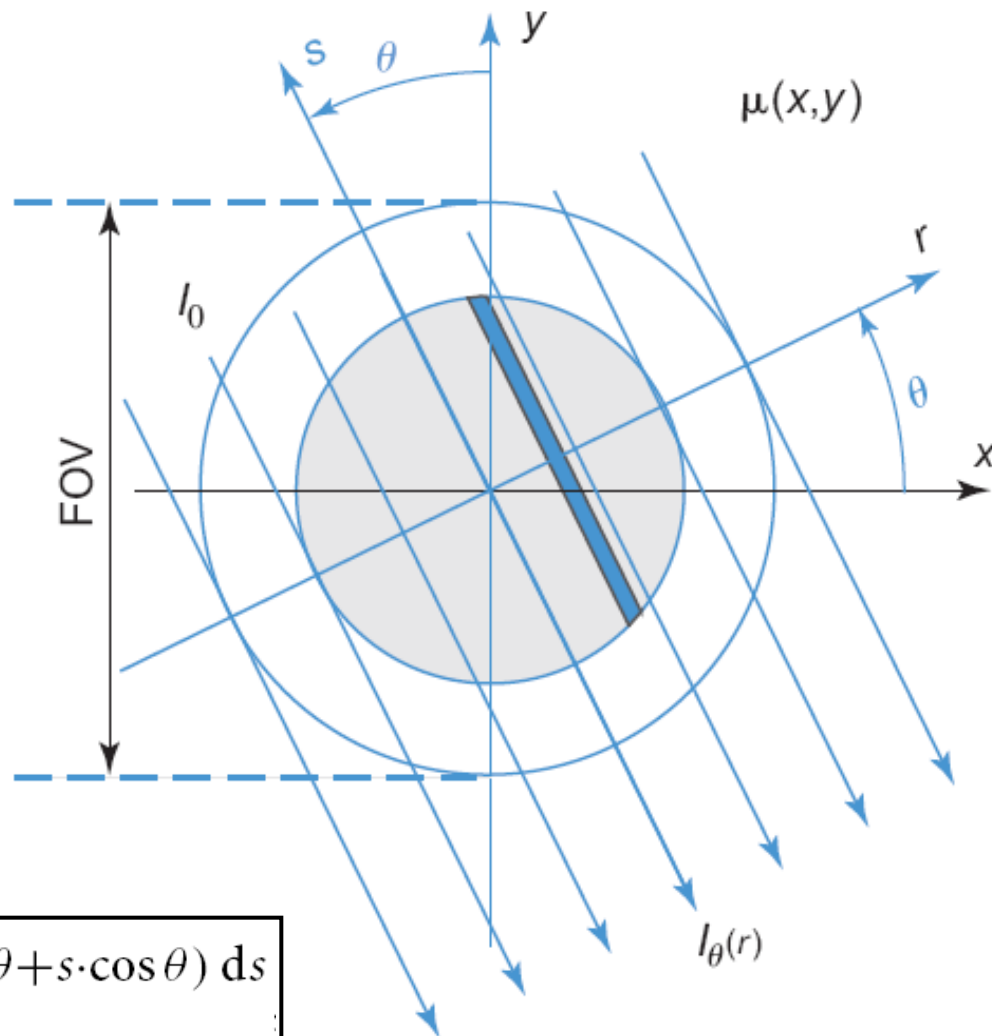
$$\begin{bmatrix} r \\ s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r \\ s \end{bmatrix}$$

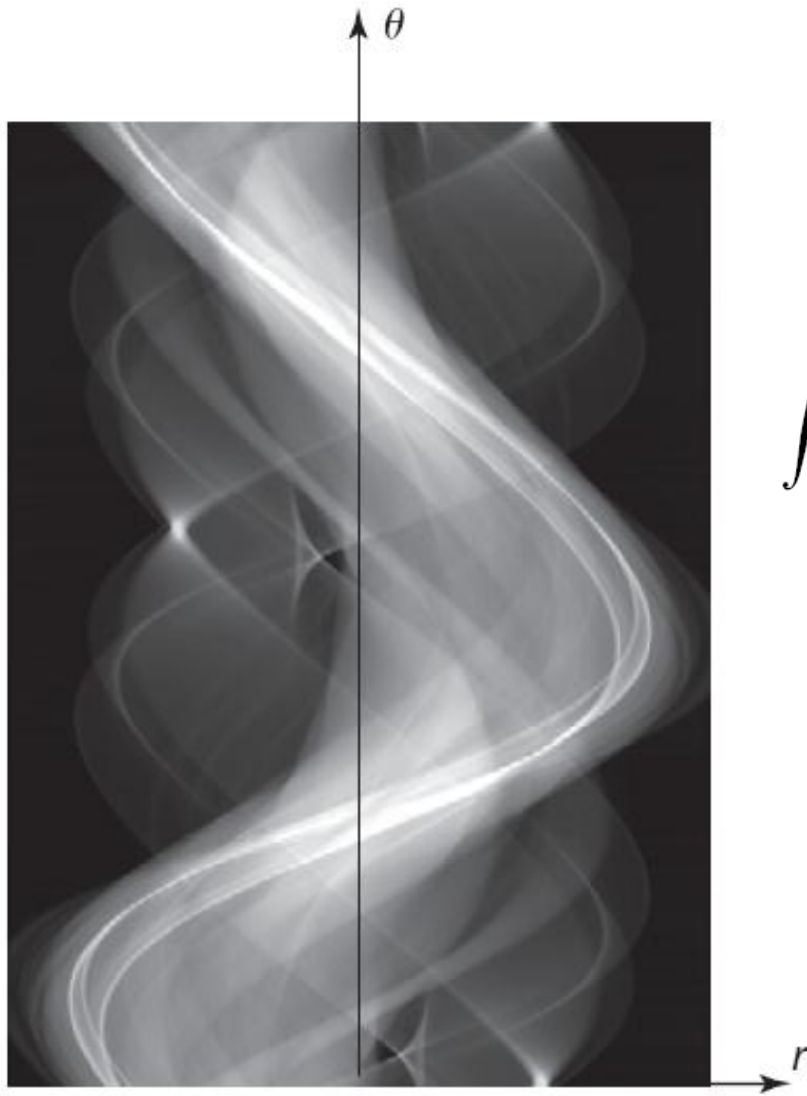
$$I_{\theta}(r) = I_0 \cdot e^{-\int_{L_{r,\theta}} \mu(x,y) ds}$$



$$I_0 \cdot e^{-\int_{L_{r,\theta}} \mu(r \cdot \cos \theta - s \cdot \sin \theta, r \cdot \sin \theta + s \cdot \cos \theta) ds}$$



COMPUTED X-RAY TOMOGRAPHY



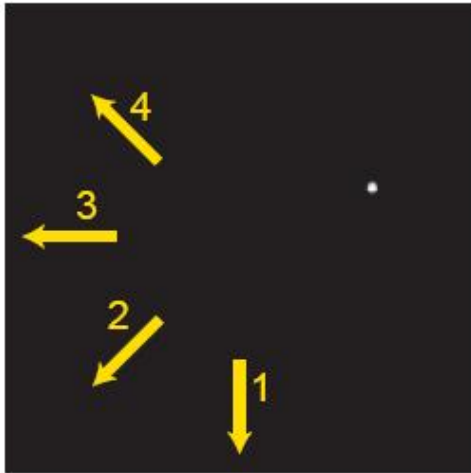
Radon Transform

$$p(r, \theta) = \mathcal{R}\{f(x, y)\}$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} f(r \cdot \cos \theta - s \cdot \sin \theta, r \cdot \sin \theta + s \cdot \cos \theta) ds$$

Sinogram

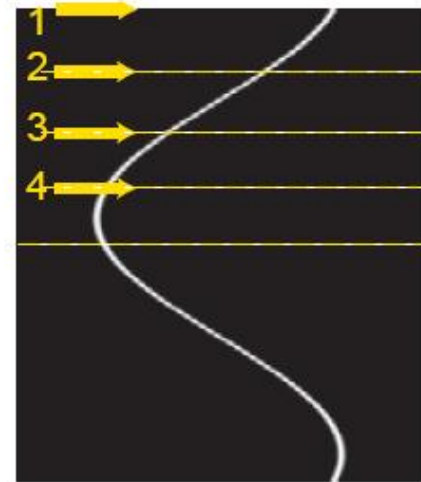
COMPUTED X-RAY TOMOGRAPHY



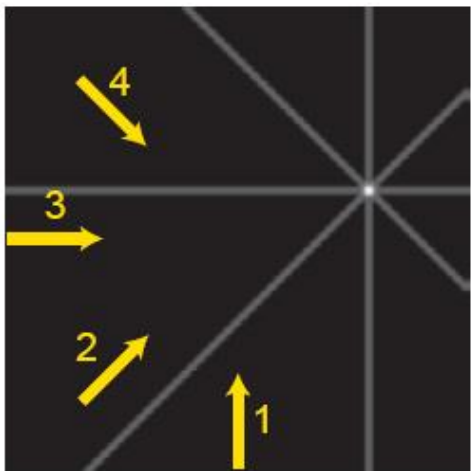
(a)



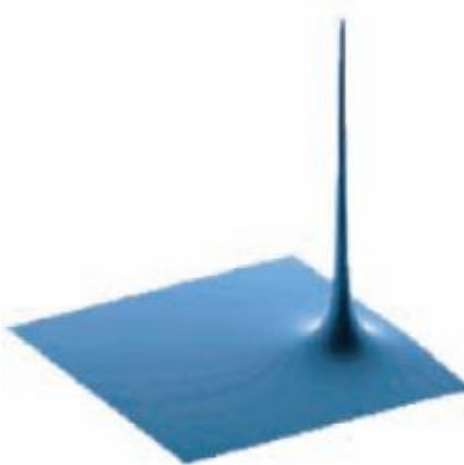
(b)



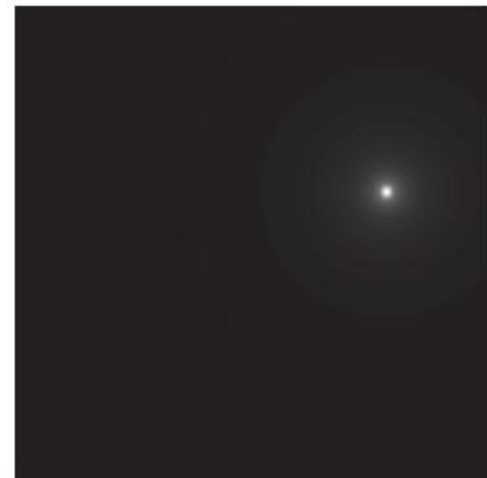
(c)



(d)

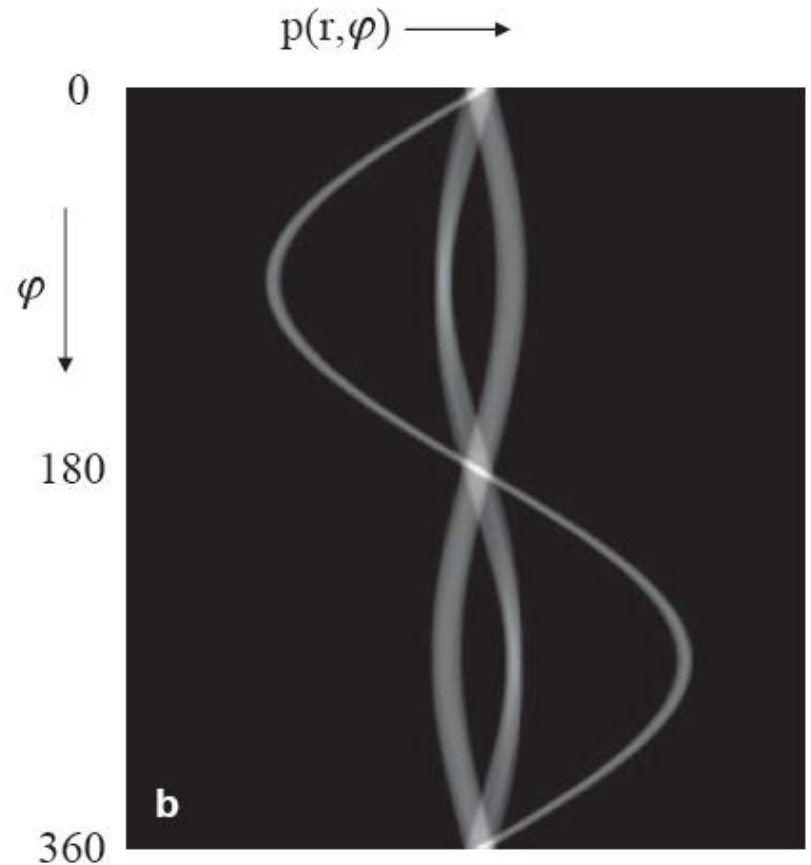
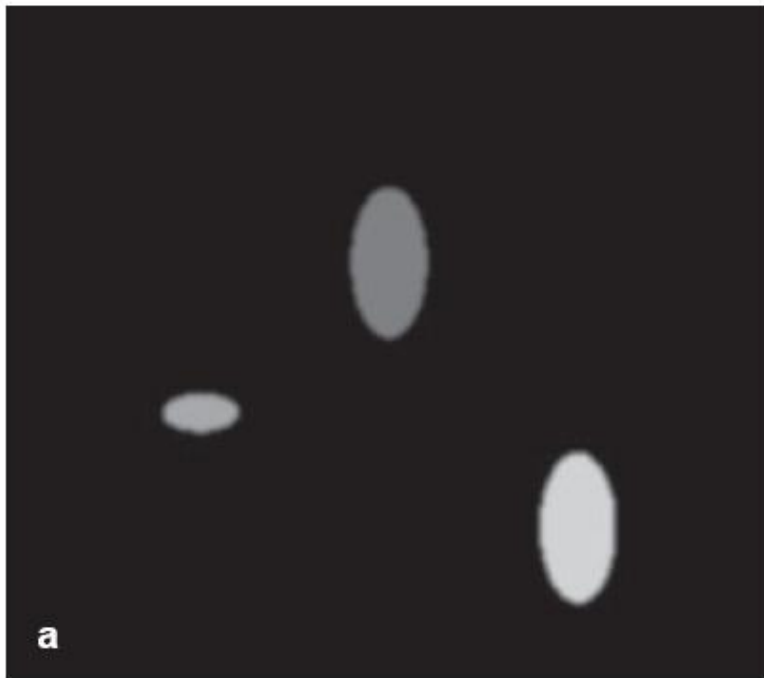


(e)



(f)

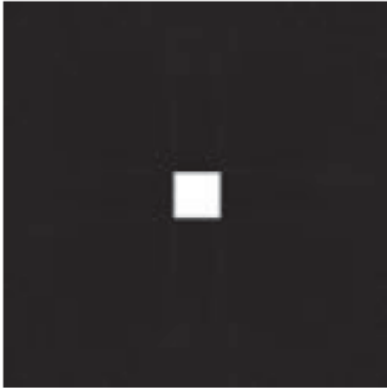
COMPUTED X-RAY TOMOGRAPHY



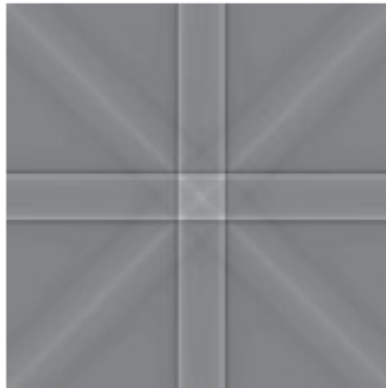
Γιατί το ημιτονόγραμμα b (δεξιά) δεν αντιστοιχεί σε προβολικές λήψεις της εικόνας a;

COMPUTED X-RAY TOMOGRAPHY

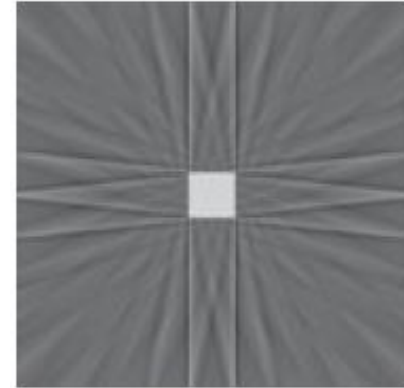
Original



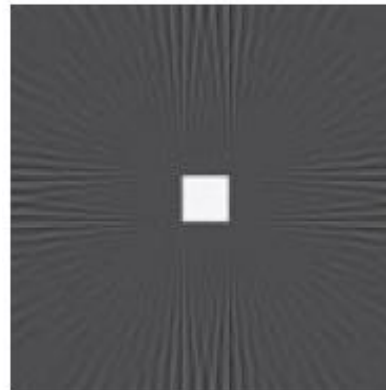
N=8



N=30



N=90

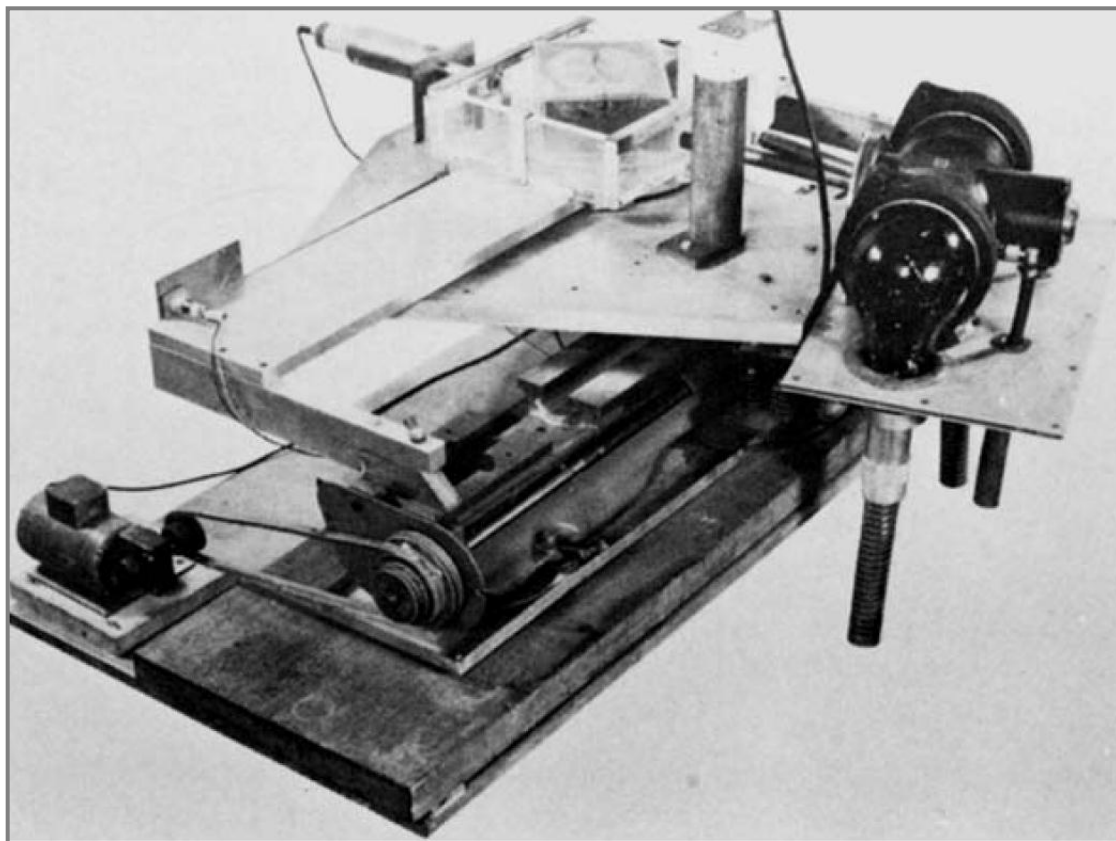


N=360



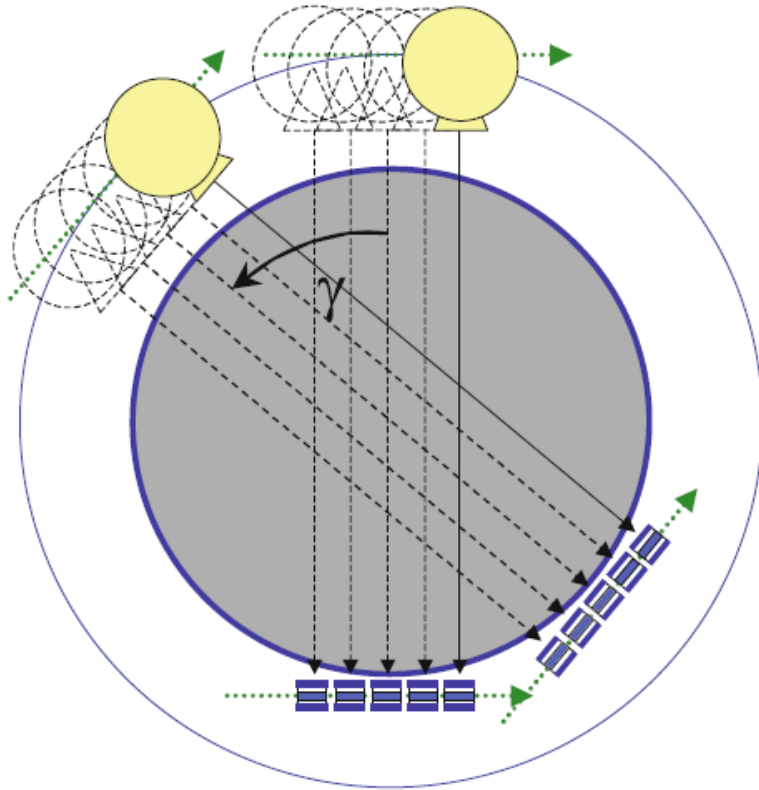
Εξάρτηση της ποιότητας ανακατασκευής από τον αριθμό N των προβολικών λήψεων.

ΕΞΕΛΙΞΗ ΑΞΟΝΙΚΩΝ ΤΟΜΟΓΡΑΦΩΝ



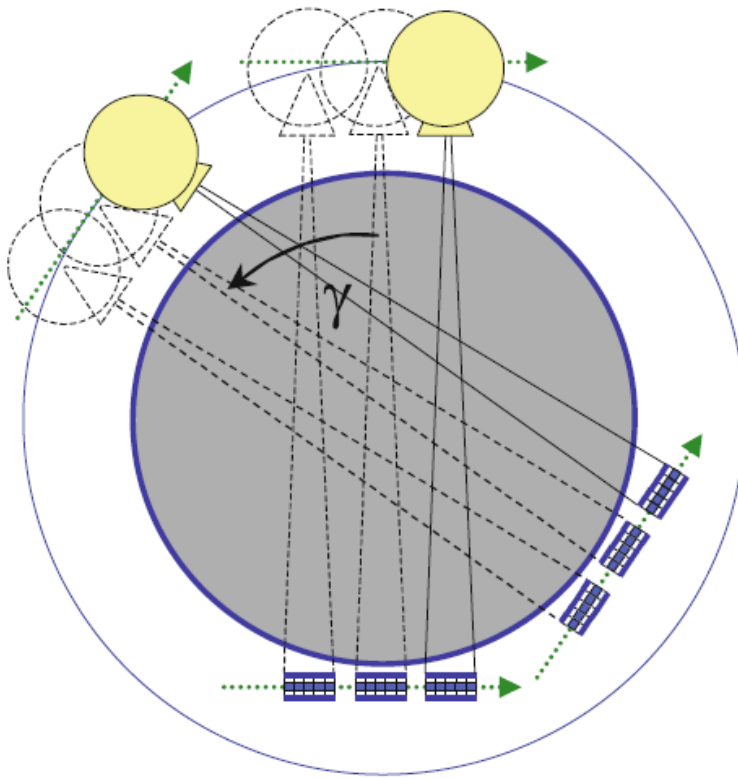
Ο πρώτος πειραματικός Αξονικός Τομογράφος κατασκευασμένος από τον Haunsfield στη δεκαετία του 1960 μαζί με την πρώτη ιστορική απεικόνιση του εγκεφάλου. (**Haunsfield & Cormack, Βραβείο Nobel Ιατρικής 1979**).

ΕΞΕΛΙΞΗ ΑΞΟΝΙΚΩΝ ΤΟΜΟΓΡΑΦΩΝ



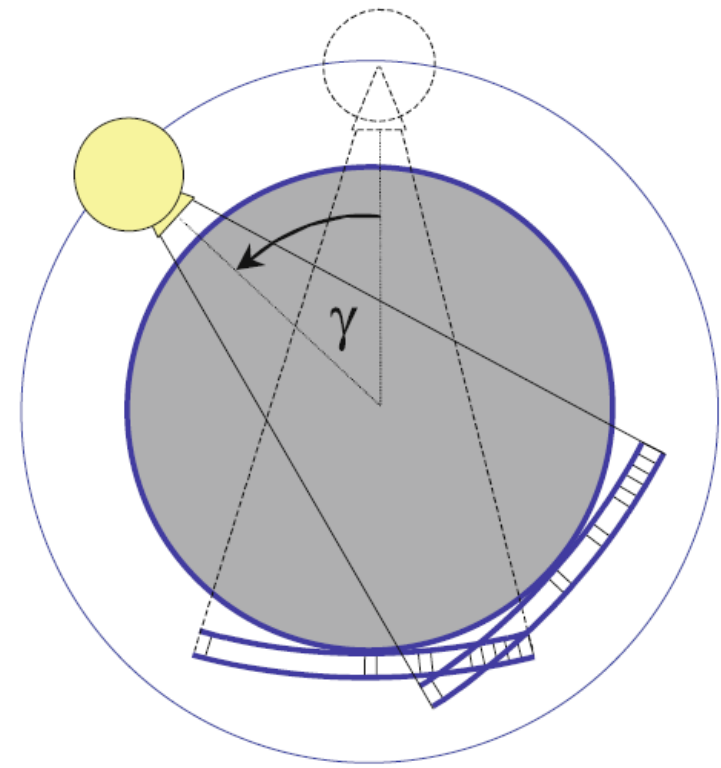
Αξονικοί Τομογράφοι Πρώτης Γενιάς: Παράλληλη δέσμη (pencil beam) από την πηγή των ακτίνων X με έναν μόνο ανιχνευτή. Σε κάθε γωνία, το σύστημα σαρώνει με μετατόπιση τον υπό εξέταση χώρο. **Δεξιά:** Ο πρώτος κλινικός τομογράφος (EMI Central Research Laboratories, London, 1972).

ΕΞΕΛΙΞΗ ΑΞΟΝΙΚΩΝ ΤΟΜΟΓΡΑΦΩΝ



2^η ΓΕΝΙΑ

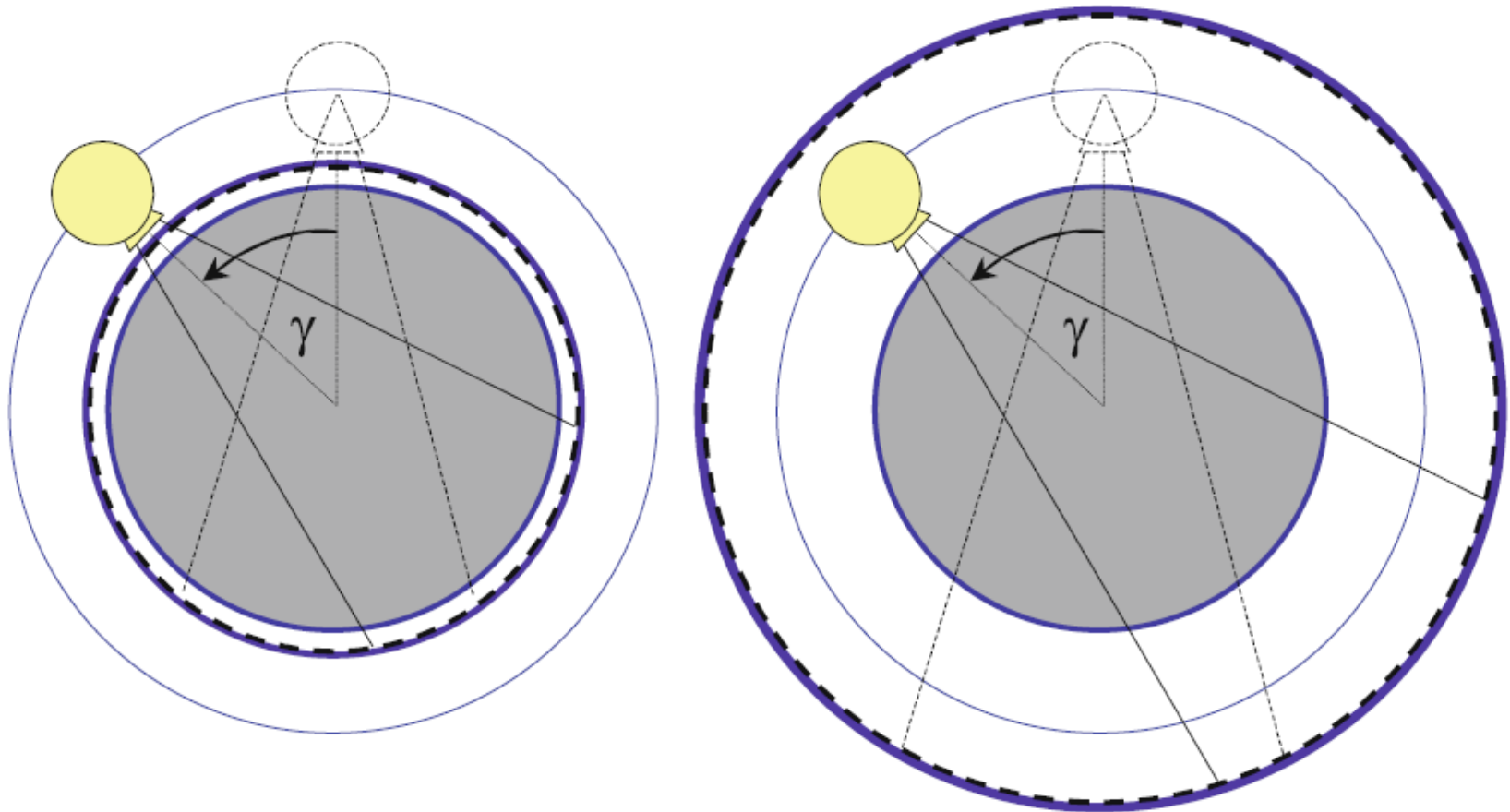
Η πηγή των ακτίνων X κινείται κυκλικά αλλά και με μετατόπιση, η δέσμη είναι κωνικά αποκλίνουσα με άνοιγμα $\sim 10^\circ$, ενώ ο ανιχνευτής αποτελείται από 10 περίπου στοιχεία.



3^η ΓΕΝΙΑ

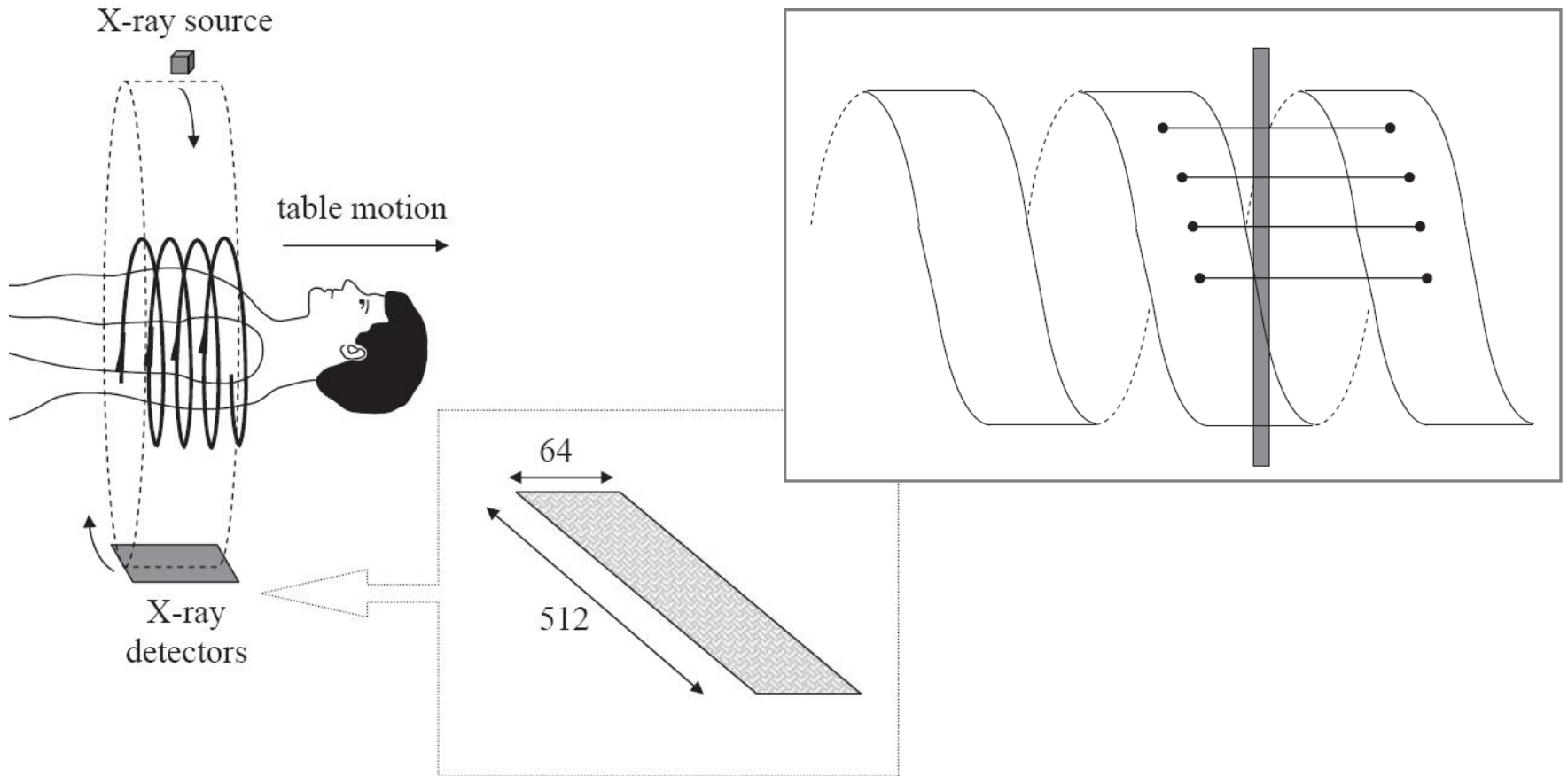
Η πηγή των ακτίνων X κινείται κυκλικά χωρίς μετατόπιση, η δέσμη είναι αποκλίνουσα (fan beam) με αισθητά μεγαλύτερο άνοιγμα (40° - 60°), ενώ ο ανιχνευτής αποτελείται από 1000 περίπου στοιχεία.

ΕΞΕΛΙΞΗ ΑΞΟΝΙΚΩΝ ΤΟΜΟΓΡΑΦΩΝ



Αξονικοί Τομογράφοι Τέταρτης Γενιάς: Η πηγή των ακτίνων X κινείται κυκλικά χωρίς μετατόπιση, η δέσμη είναι αποκλίνουσα (fan beam), ενώ υπάρχει σταθερός δακτύλιος ανιχνευτών (~5000 στοιχεία) εσωτερικά ή εξωτερικά της πηγής.

ΕΛΙΚΟΕΙΔΗΣ ΑΞΟΝΙΚΟΣ ΤΟΜΟΓΡΑΦΟΣ



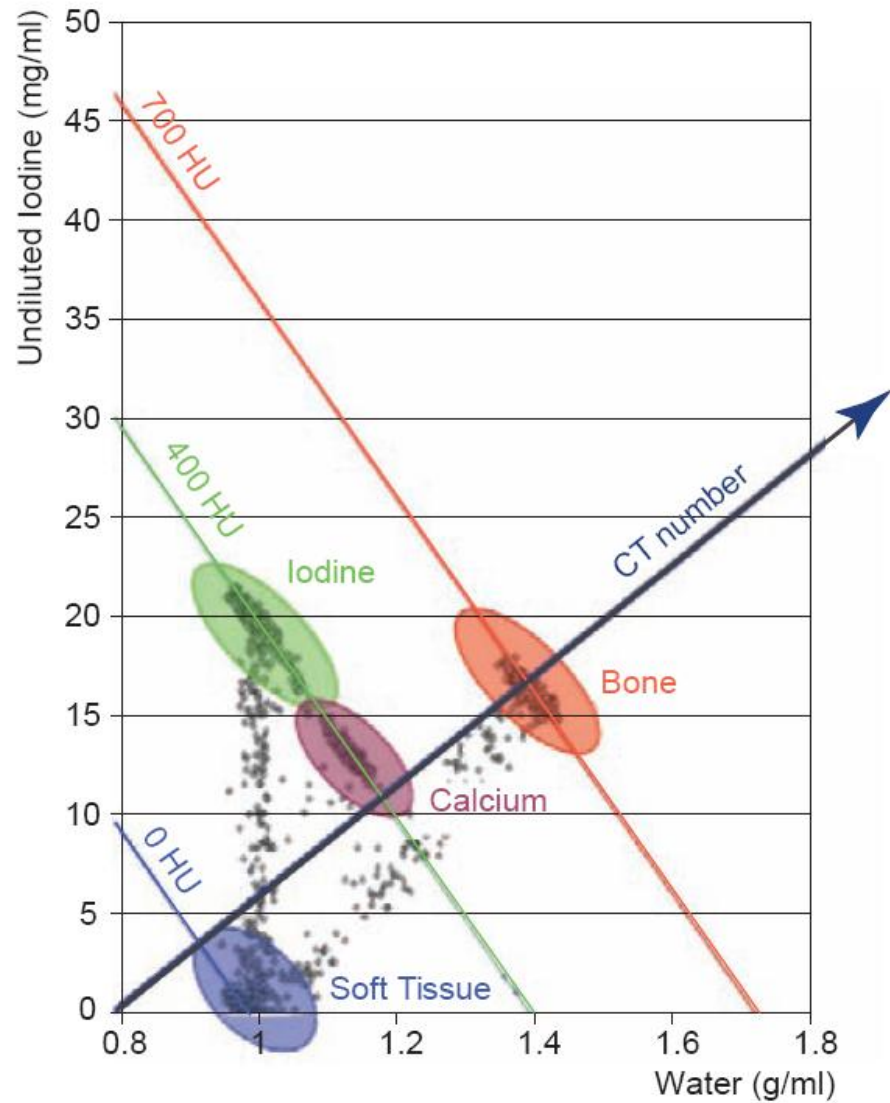
Ελικοειδής Αξονικός Τομογράφος: Η πηγή των ακτίνων X κινείται κυκλικά ενώ υπάρχει ταυτόχρονη ομαλή γραμμική μετακίνηση του εδράνου. Η σύνθετη κίνηση ισοδυναμεί με ελικοειδή κίνηση καταγραφής.

ΑΡΙΘΜΟΣ CT (Haunsfield Number)

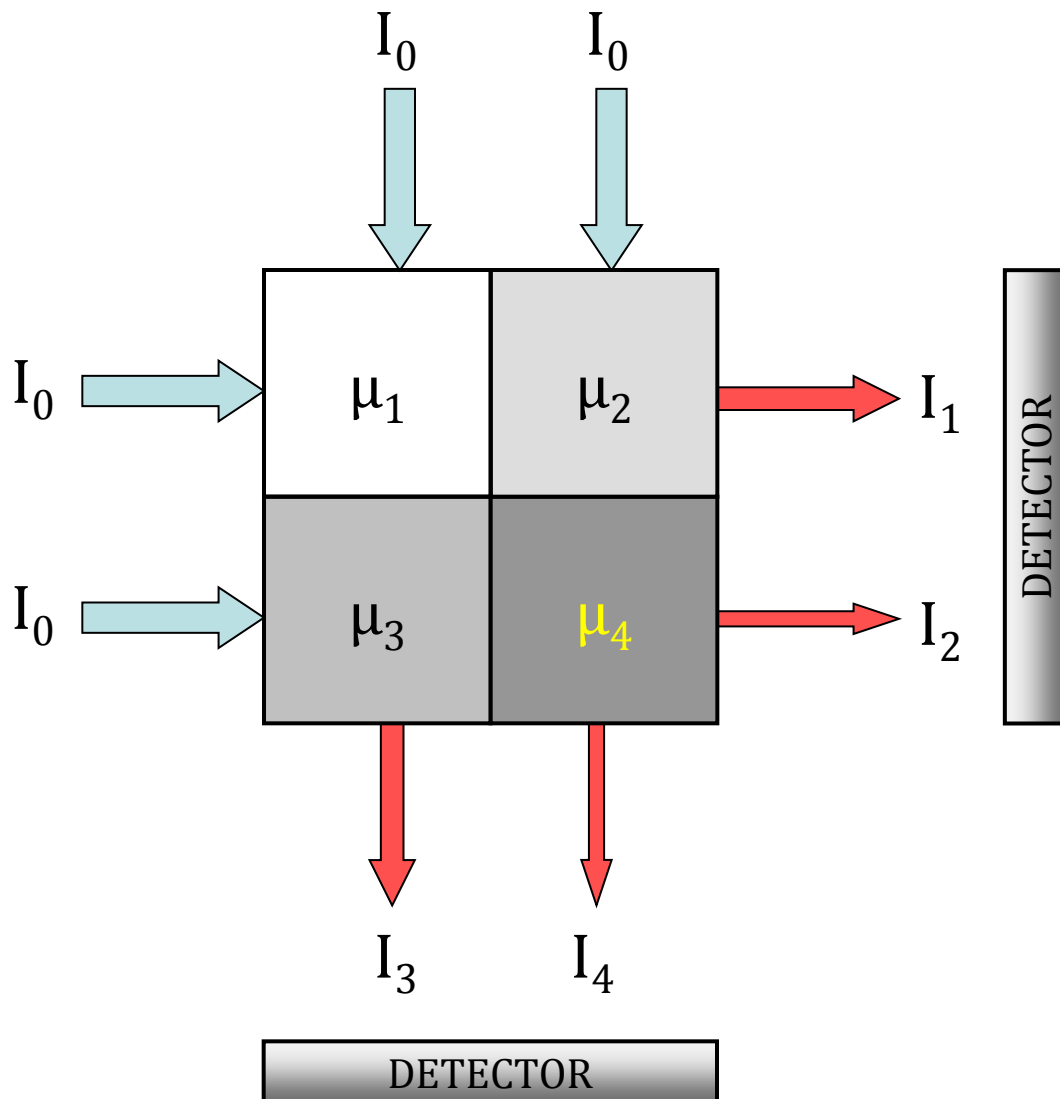
$$CT_o = 1000 \frac{\mu_o - \mu_{H_2O}}{\mu_{H_2O}}$$

Tissue	CT number (Hounsfield units)
Bone	1000–3000
Muscle	10–40
Water	0
Lipid	–50 to –100
Air	–1000
Brain (white matter)	20 to 30
Brain (grey matter)	35 to 45
Blood	40

ΑΡΙΘΜΟΣ CT (Haunsfield Number)



ΑΡΙΘΜΟΣ CT (Haunsfield Number)

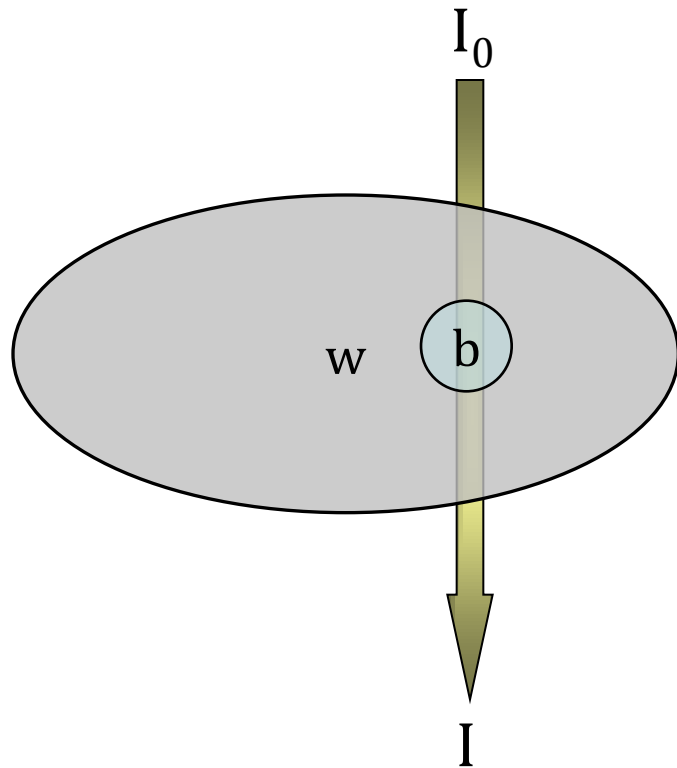


$$I_j = I_0 e^{-\sum_{i=1}^N \mu_i x}$$

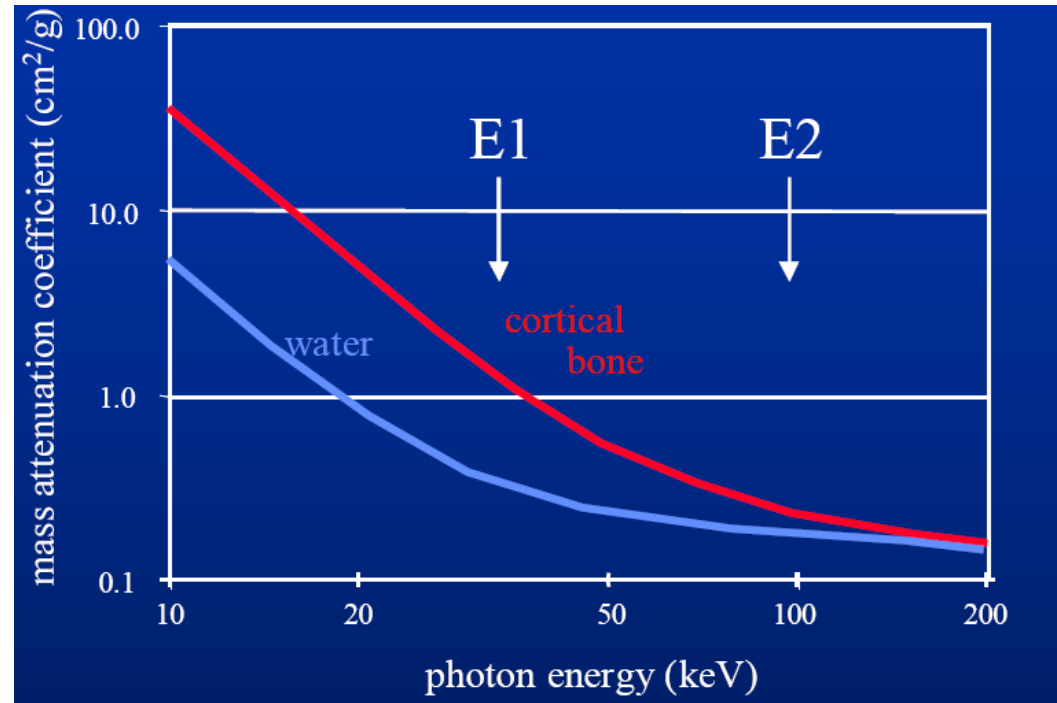
$$\left\{ \begin{array}{l} I_1 = I_0 e^{-(\mu_1 + \mu_2)x} \\ I_1 = I_0 e^{-(\mu_3 + \mu_4)x} \\ I_1 = I_0 e^{-(\mu_1 + \mu_3)x} \\ I_1 = I_0 e^{-(\mu_2 + \mu_4)x} \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \mu_1 + \mu_2 = \ln(I_0 / I_1) / x \\ \mu_3 + \mu_4 = \ln(I_0 / I_2) / x \\ \mu_1 + \mu_3 = \ln(I_0 / I_3) / x \\ \mu_2 + \mu_4 = \ln(I_0 / I_4) / x \end{array} \right.$$

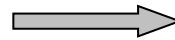
ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΗΣ ΔΙΠΛΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ



Dual Energy CT



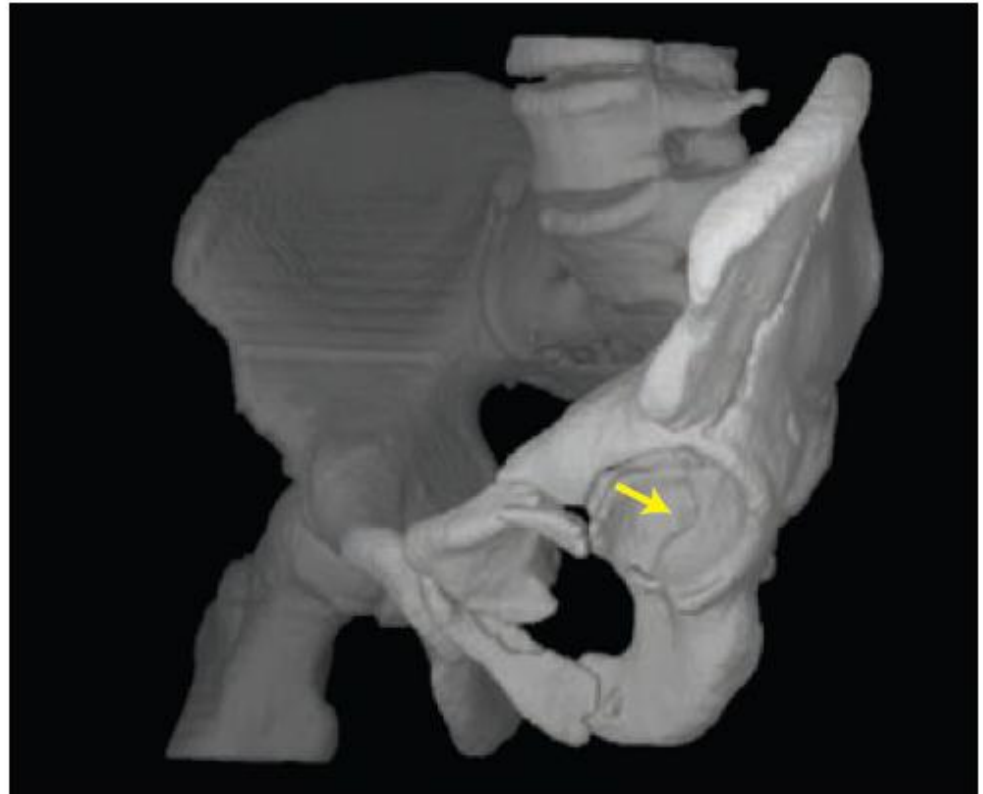
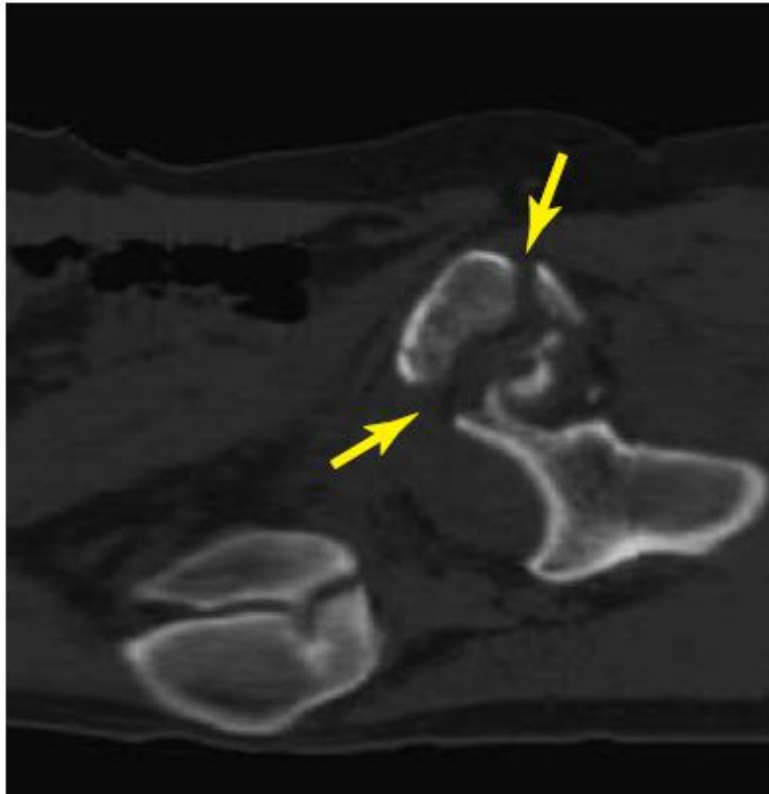
$$\begin{cases} I_1 = I_0 e^{-w_1 x_1 - b_1 x_2} \\ I_2 = I_0 e^{-w_2 x_1 - b_2 x_2} \end{cases}$$



$$\begin{cases} w_1 x_1 + b_1 x_2 = \ln(I_0 / I_1) \\ w_2 x_1 + b_2 x_2 = \ln(I_0 / I_2) \end{cases}$$

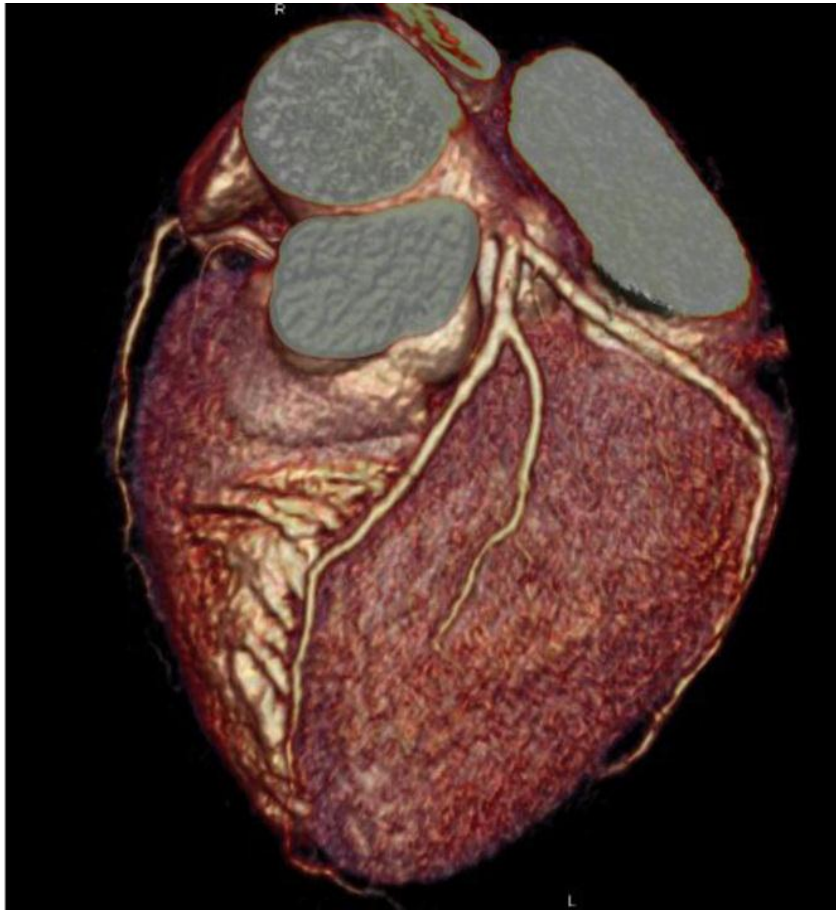
Οι συντελεστές απορρόφησης w_i , b_i είναι εξαρτώμενοι από την ενέργεια E_i .

COMPUTED X-RAY TOMOGRAPHY

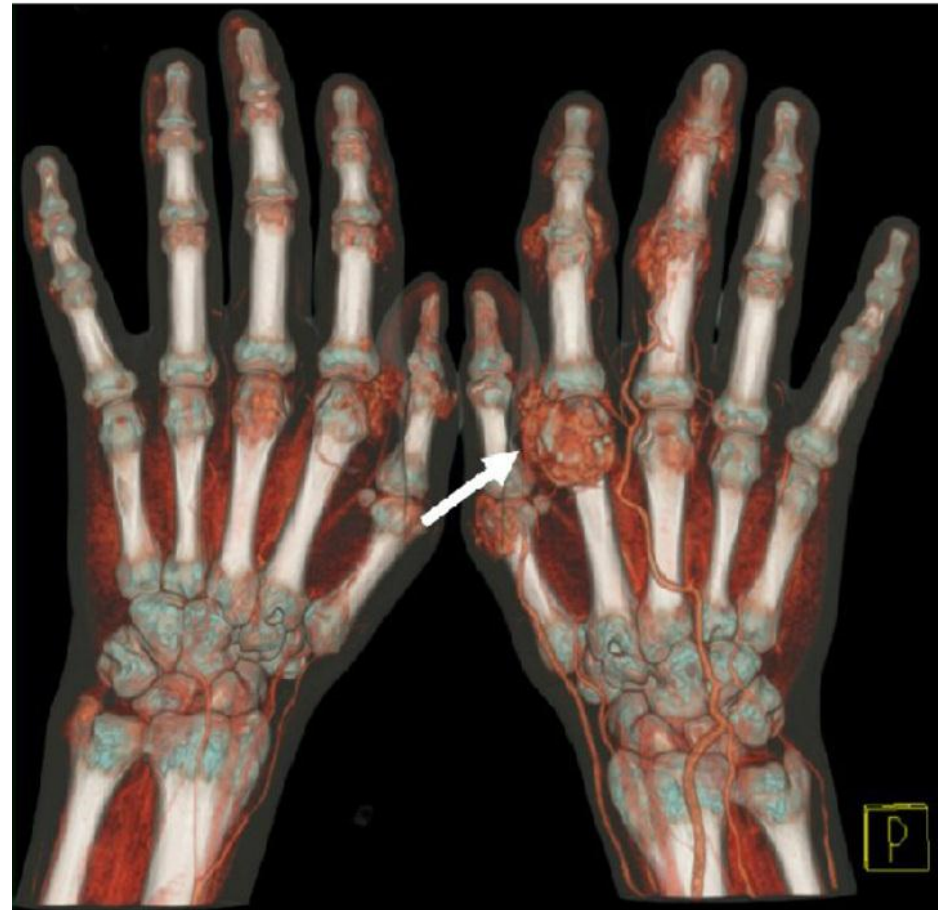


Εικόνα αξονικής Τομογραφίας (X-Ray CT): Ένα ορατό **κάταγμα κοτύλης** όπως προσδιορίζεται με την τρισδιάστατη ανακατασκευή (δεξιά).

COMPUTED X-RAY TOMOGRAPHY



Καρδιακή απεικόνιση διπλής ενέργειας (Dual Source CT) με εμφανείς **στενώσεις** των κεντρικών αρτηριών.



Σπειροειδής σάρωση διπλής ενέργειας (Dual Source CT), όπου απεικονίζεται σύμπτωμα **ουρικής αρθρίτιδας** στον δείκτη του δεξιού χεριού.