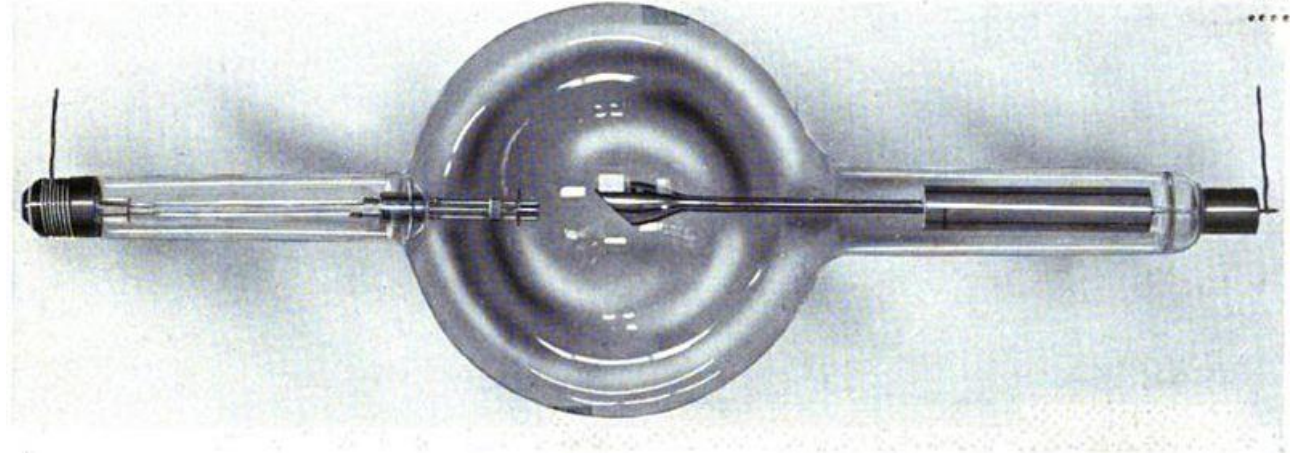
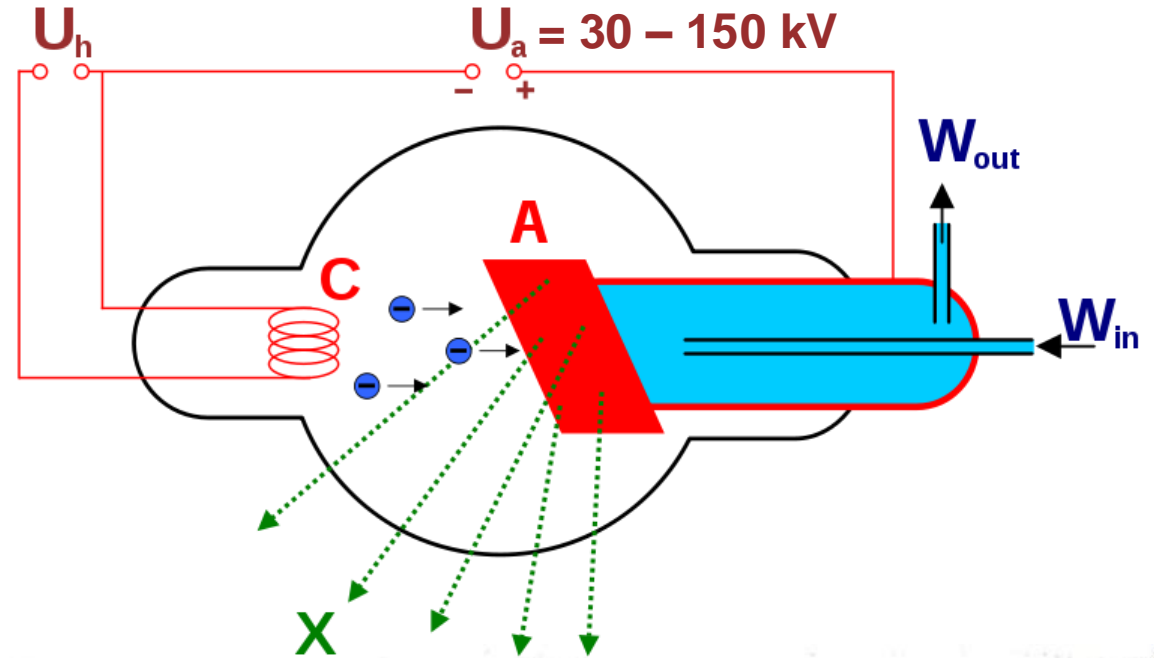
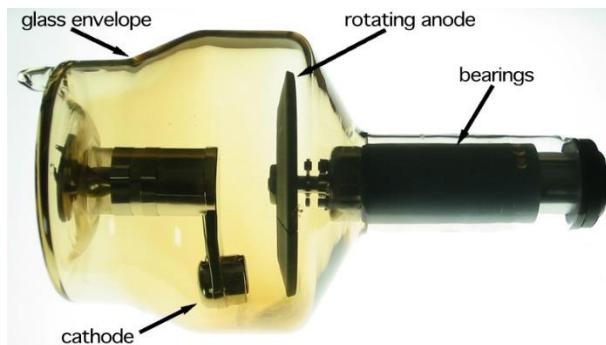
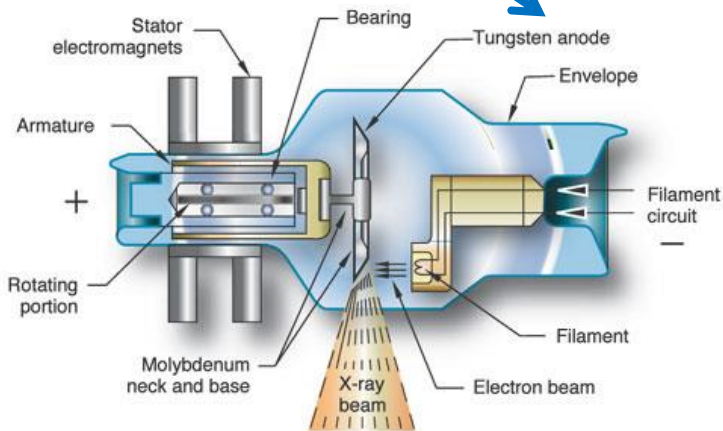


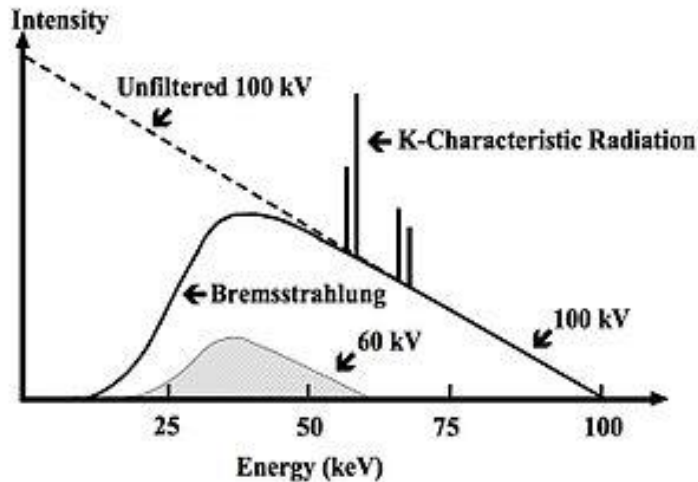
Rentgenka

- anoda Cu, Co, Mo, W
- ~1% energie → rtg. záření
- rotující anoda

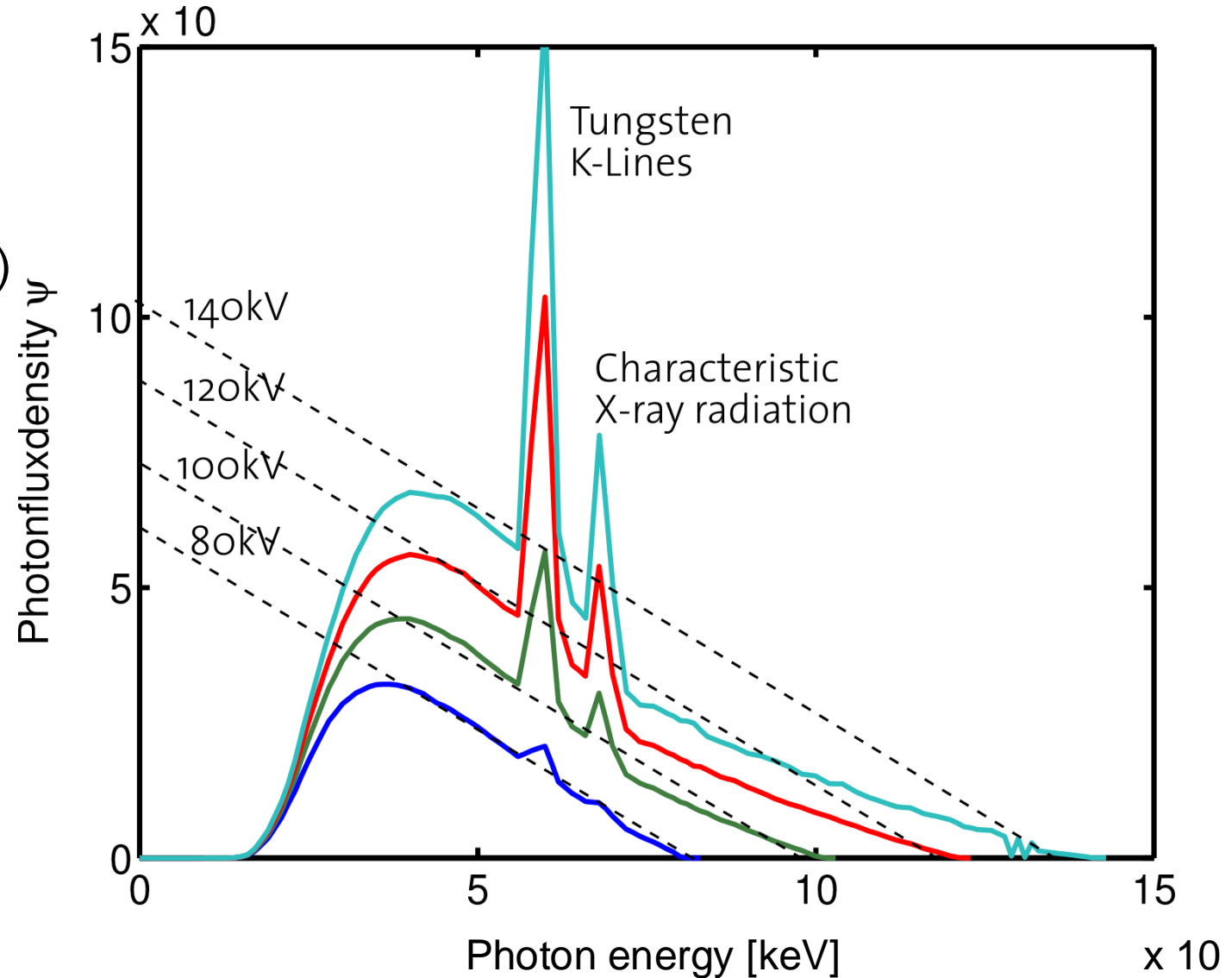


Spektrum rentgenového záření

1. brzdné záření
→ spojité
2. charakteristické záření
→ diskrétní (K, L, M,...)



[Kieranmaher - Own work, Public Domain](#)



Spektrum rentgenového záření

- rentgenka

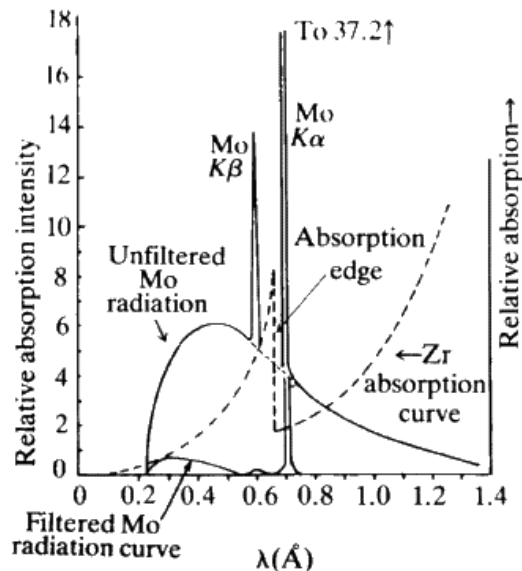
$$E = \frac{hc}{\lambda}$$

$$I_{cont} = AiZV^m$$

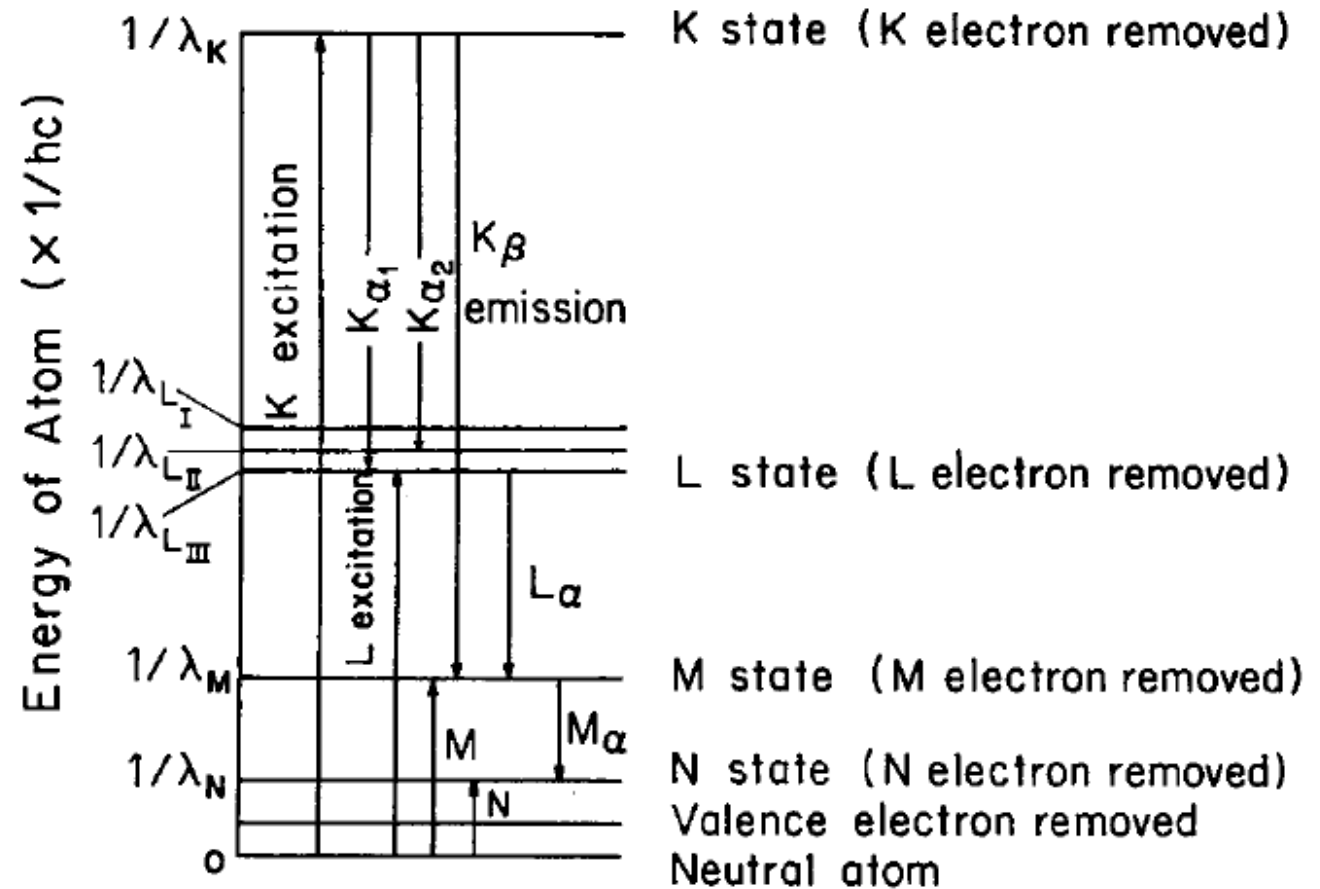
$$m \approx 2$$

$$I_{K-line} = Bi(V - V_k)^n$$

$$n \approx 2$$



Mo anoda + Zr β filtr



Absorpce rentgenového záření

- absorpce

$$\frac{dI}{dx} = -\mu I$$

- lineární absorpční koeficient μ

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

- hmotnostní absorpční koeficient μ/ρ

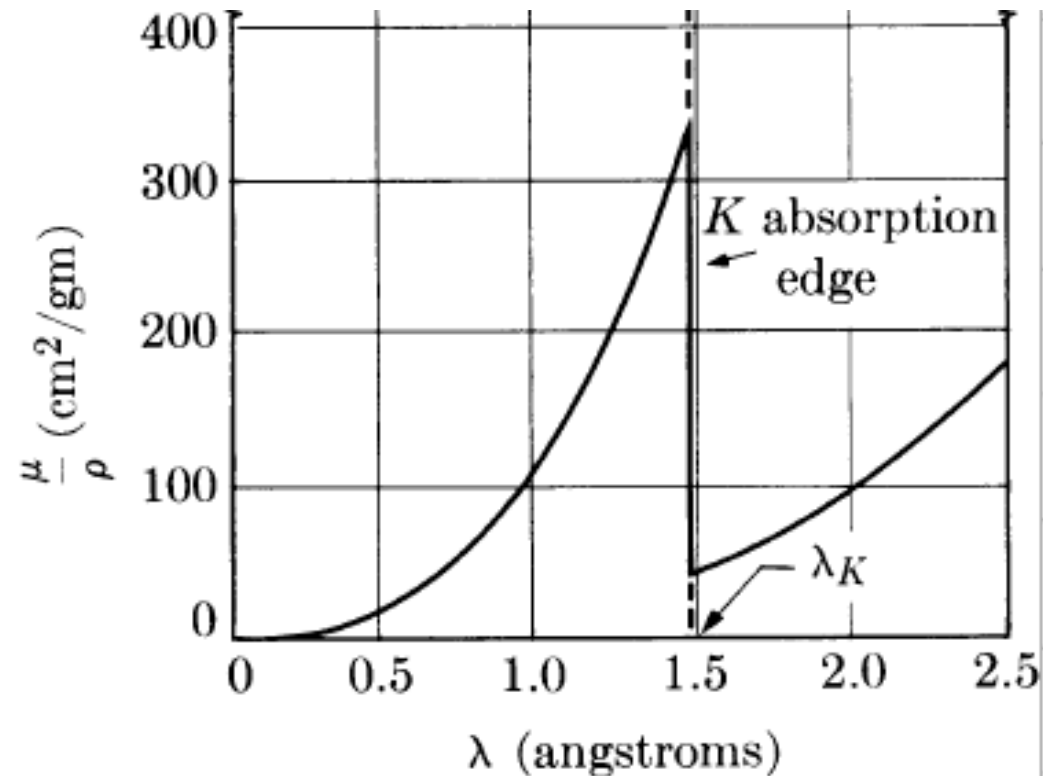
$$I(x) = I_0 e^{-\frac{\mu}{\rho} \rho x}$$

$$\frac{\mu}{\rho} = k \lambda^3 Z^3$$

- látka složená z více typů atomů (w_i hmotnostní koncentrace)

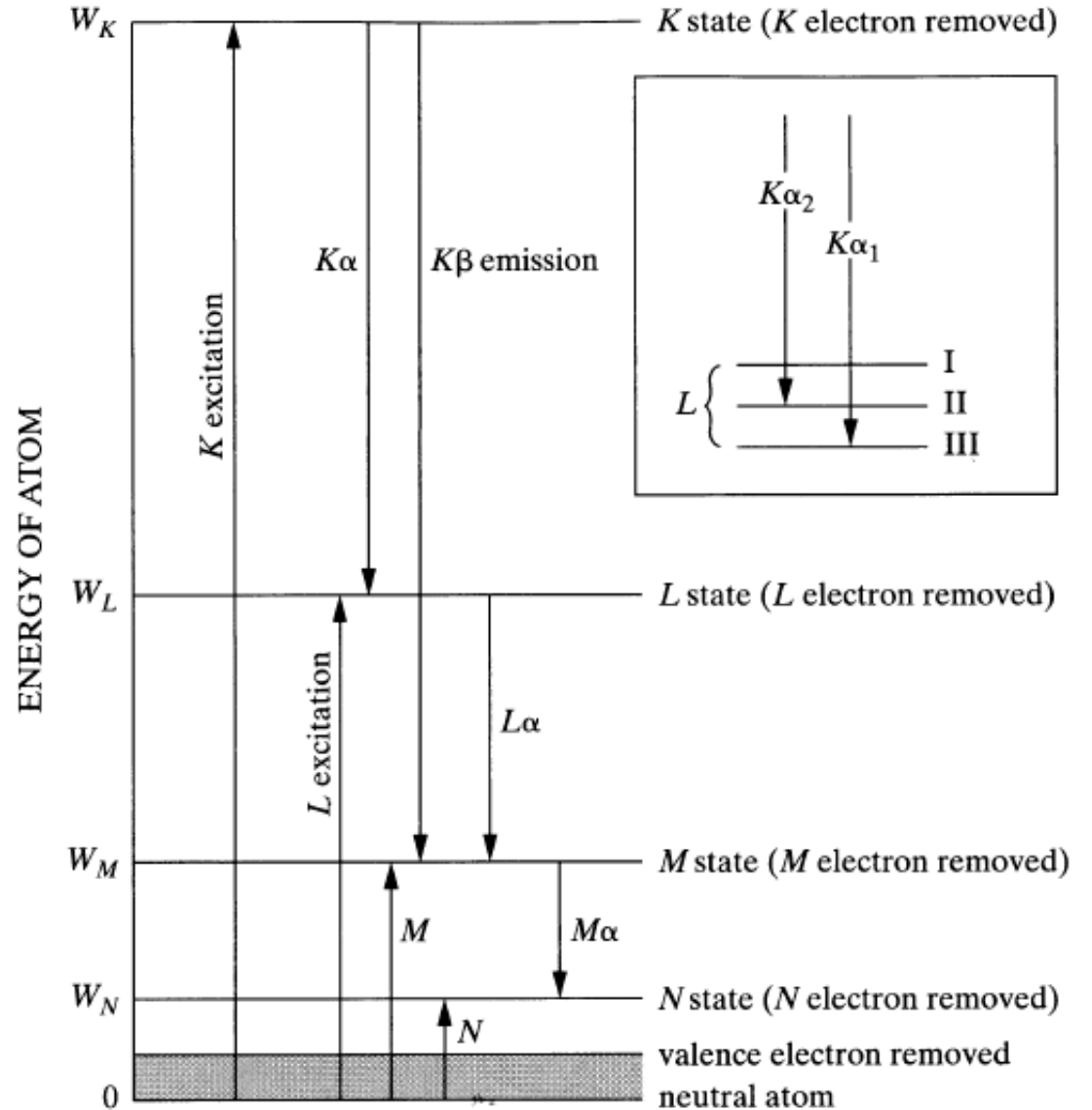
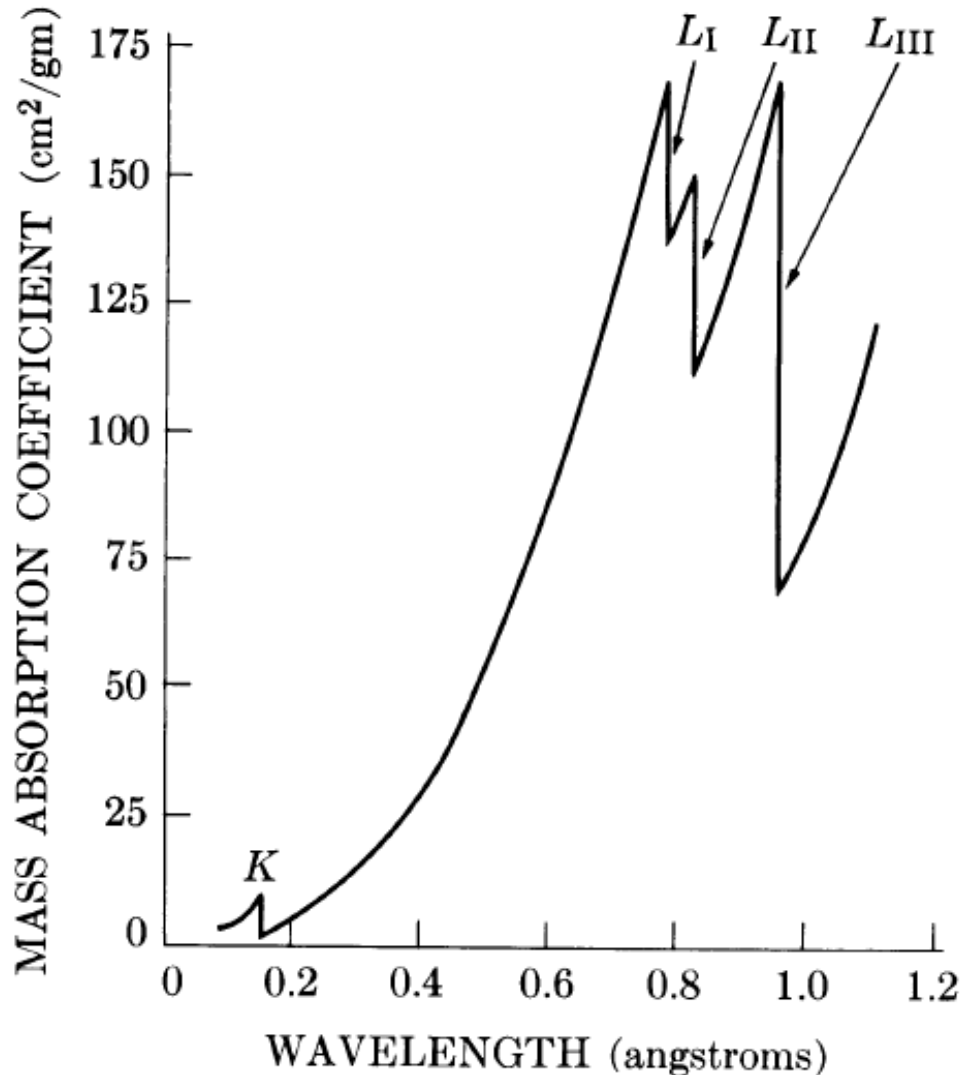
$$\frac{\mu}{\rho} = \sum_i w_i \frac{\mu_i}{\rho_i}$$

Ni – hmotnostní absorpční koeficient



Absorpce rentgenového záření

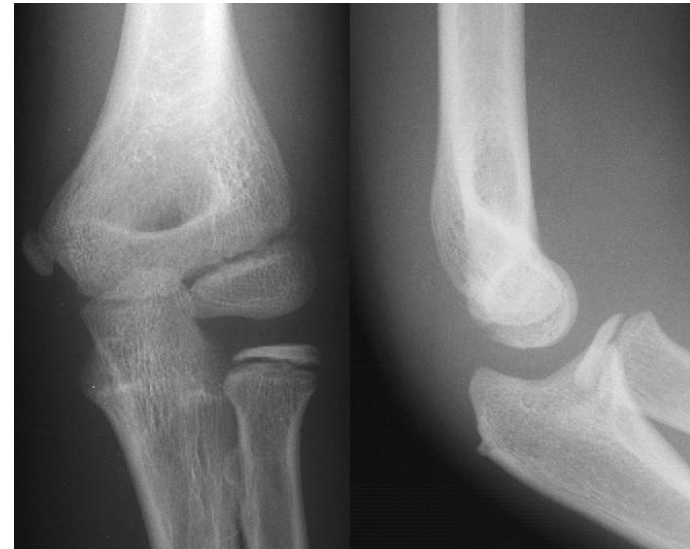
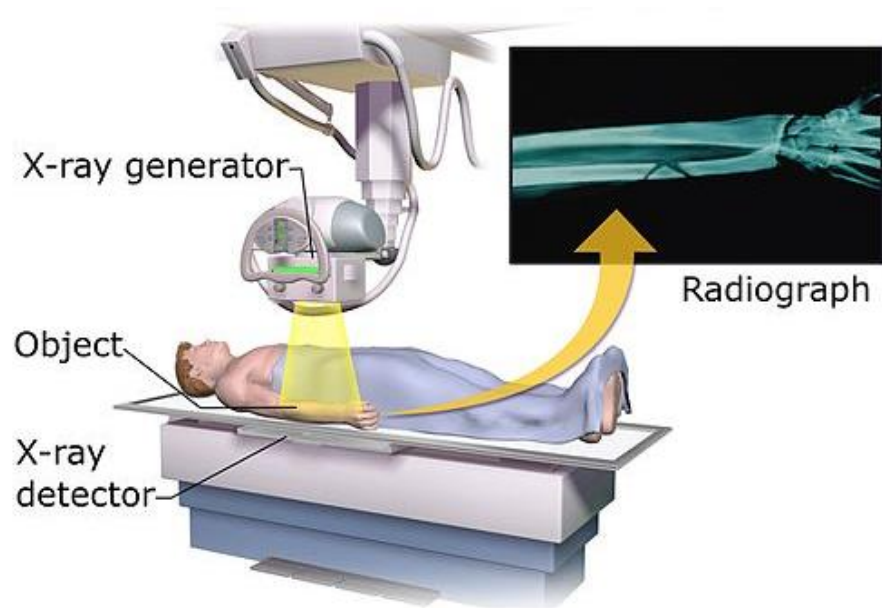
Pb – hmotnostní absorpční koeficient



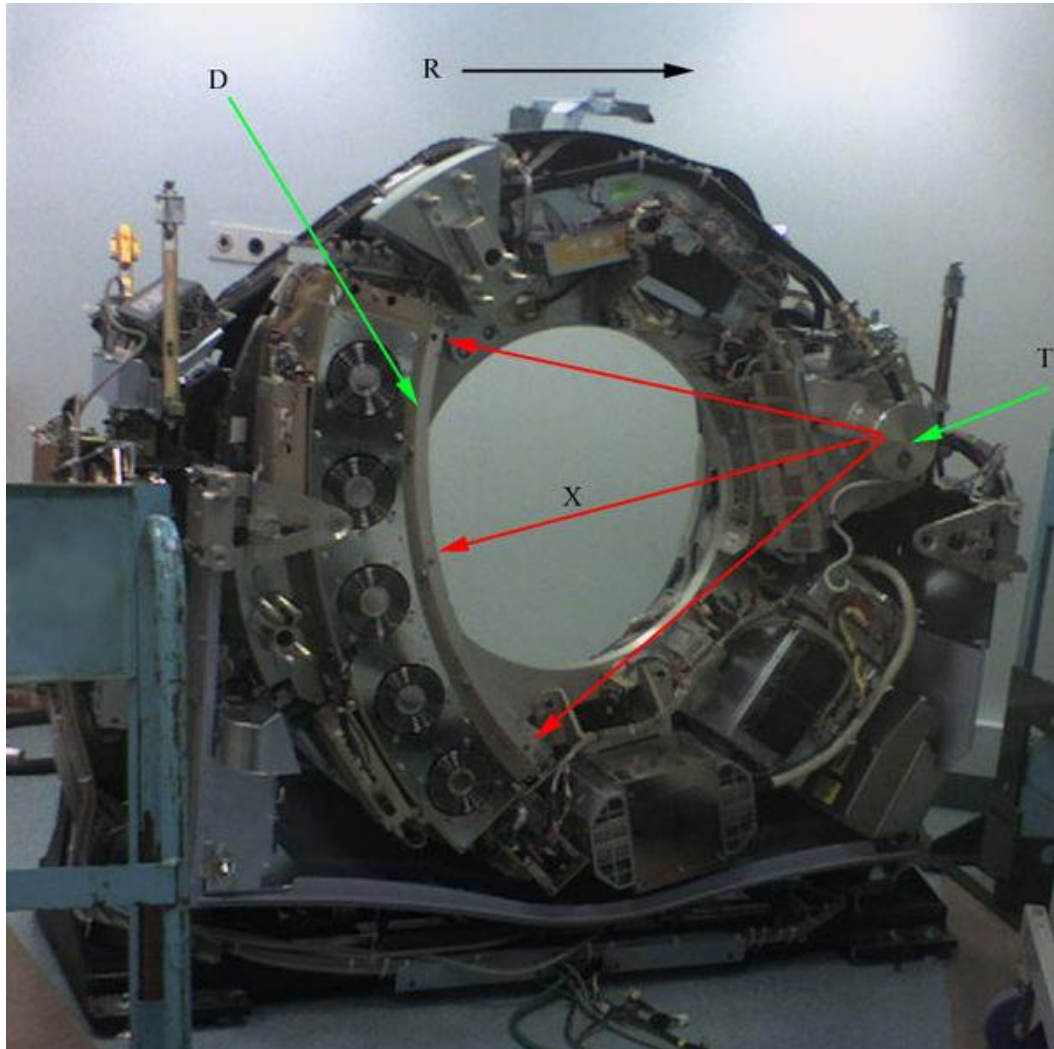
Rentgenografie (radiografie)

- hmotnostní absorpční koeficient

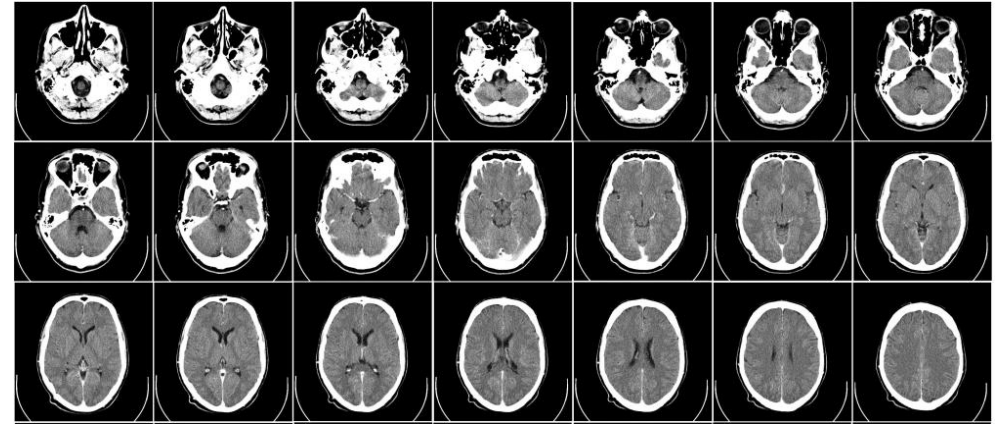
$$\frac{\mu}{\rho} = k\lambda^3 Z^3$$



CT (X-ray computed tomography)



T – rentgenka, D – detektory rtg. záření,
X – rtg. svazky, R - rotace



Radonova transformace

- absorpce vzorku $f(x, y)$

$$I = I_0 \exp\left(-\int_{-\infty}^{\infty} f(x, y) ds\right)$$

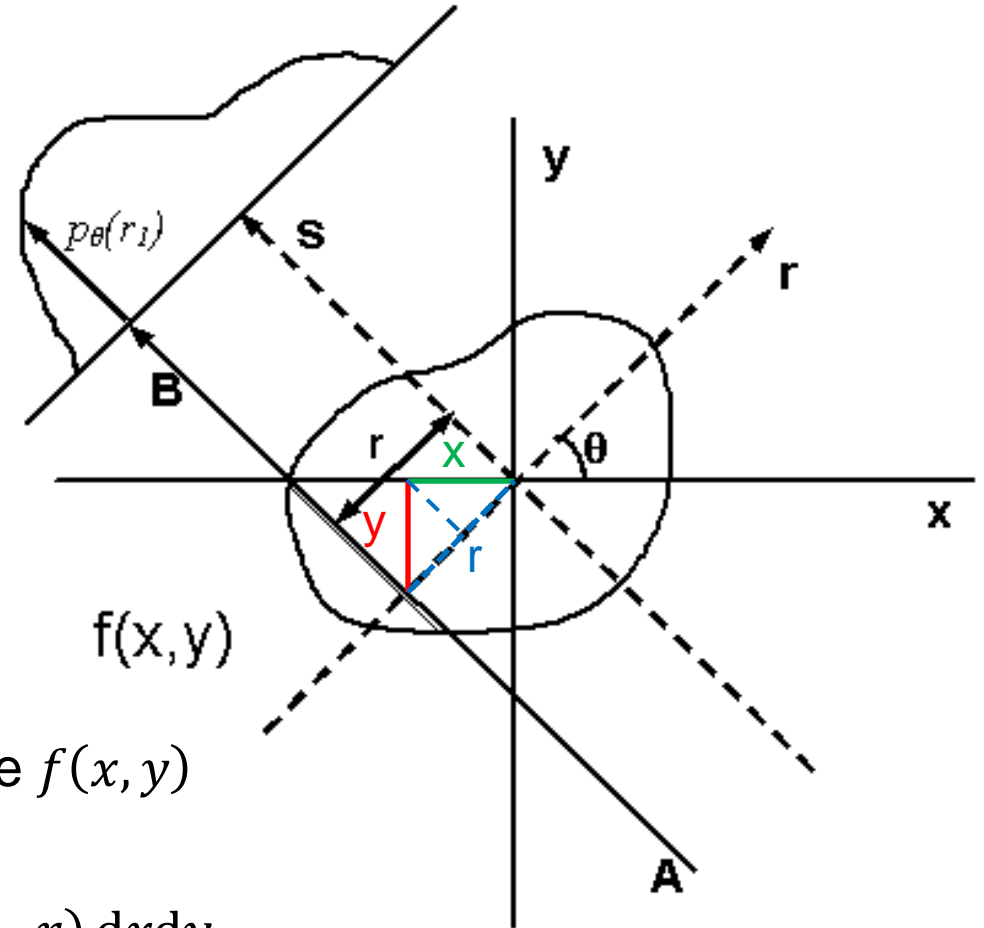
- celkové zeslabení signálu

$$p_{\theta}(r) = \ln\left(\frac{I}{I_0}\right) = -\int_{-\infty}^{\infty} f(x, y) ds$$

$$r = x \cos \theta + y \sin \theta$$

- **Radonova transformace** (sinogram) funkce $f(x, y)$

$$p_{\theta}(r) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x, y) \delta(x \cos \theta + y \sin \theta - r) dx dy$$



Radonova transformace

- Radonova transformace (sinogram) funkce $f(x, y)$

$$p_{\theta}(r) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x, y) \delta(x \cos \theta + y \sin \theta - r) dx dy$$

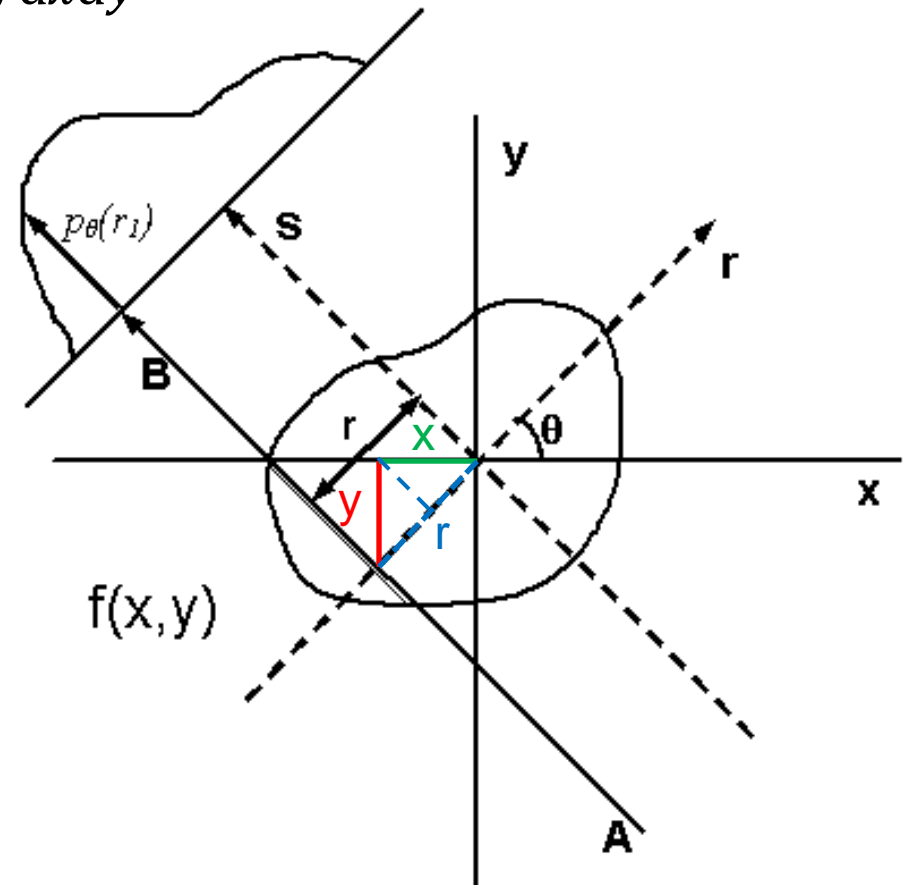
- inverzní Radonova transformace

$$f(x, y) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} g_{\theta}(x \cos \theta + y \sin \theta) d\theta$$

$$g_{\theta} = \frac{d}{dr} \left[\frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{p_{\theta}(\rho)}{r - \rho} d\rho \right]$$



derivace Hilbertovy transformace projekce p_{θ}



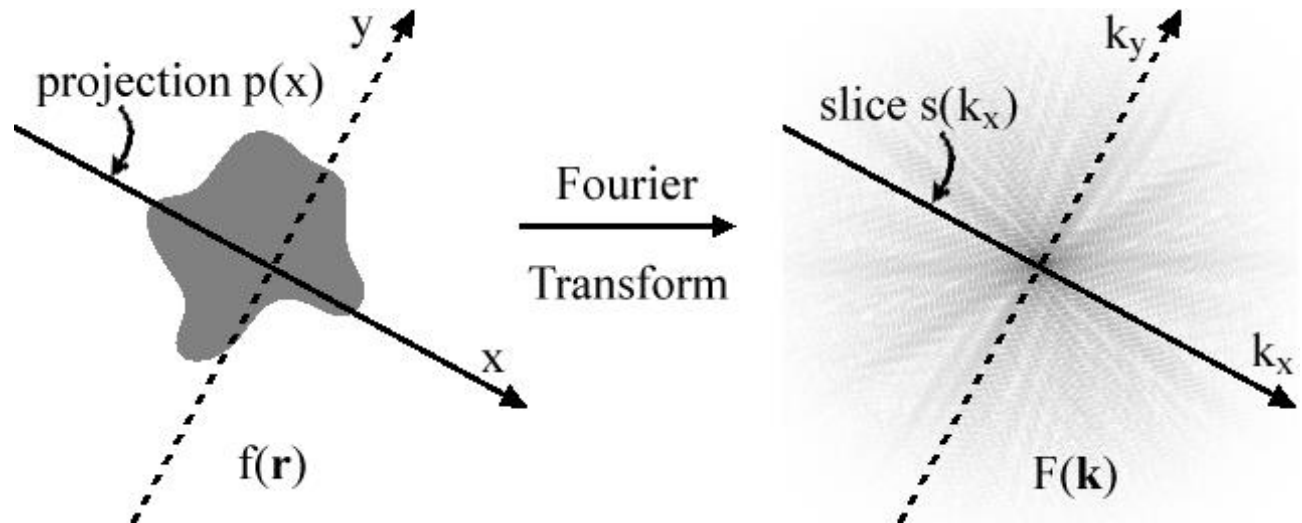
Radonova transformace

- projekční teorém $F_1 P_1 f(x, y) = S_1 F_2 f(x, y)$

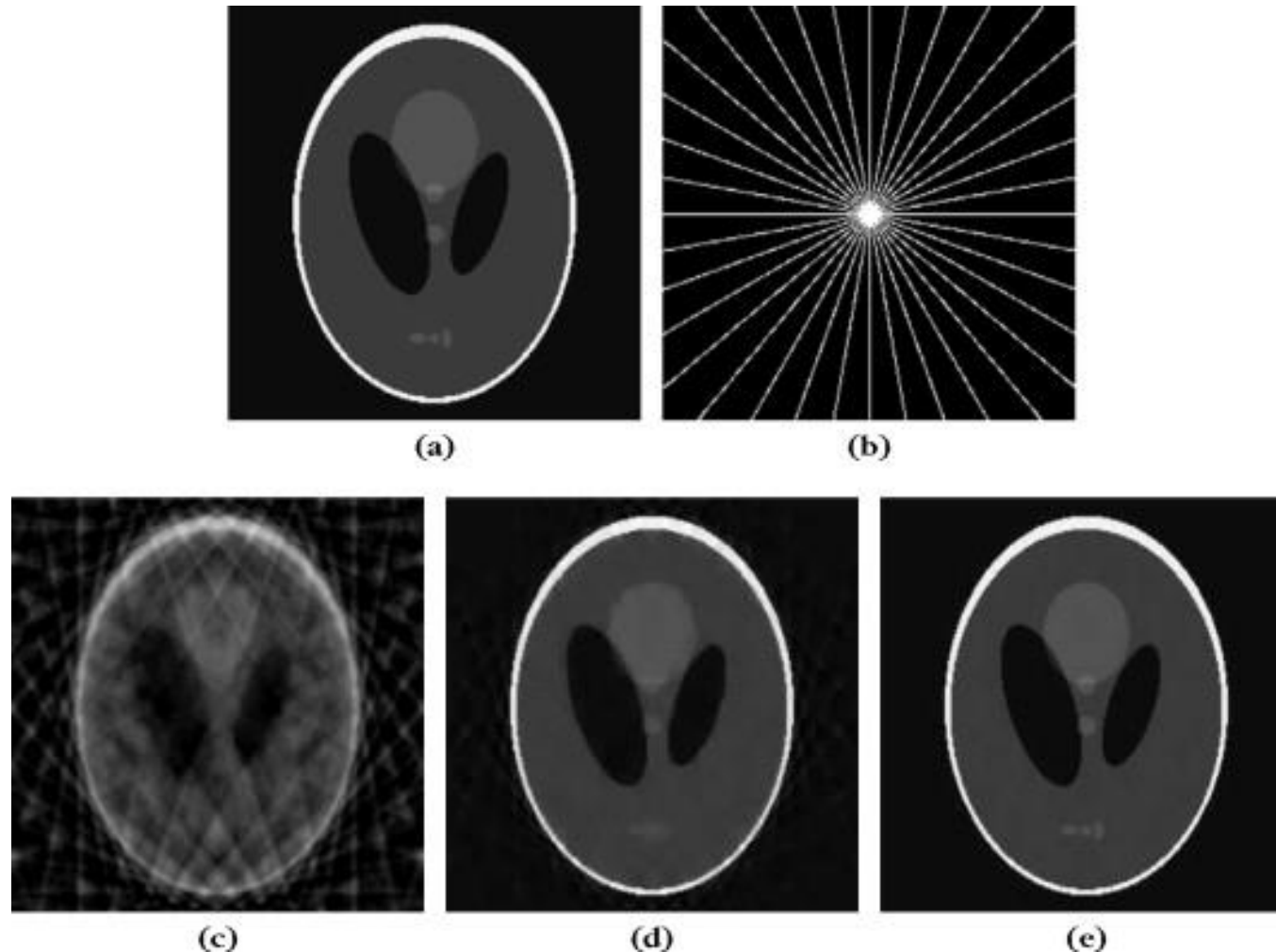
$F_{1/2}$ – Fourierova transformace (1D / 2D)

P_1 – operátor projekce na jednorozměrnou přímku

S_2 – operátor řezu 2D \rightarrow 1D



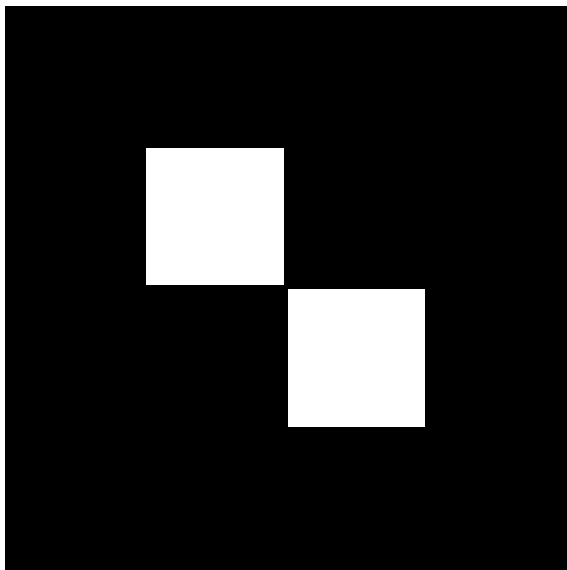
Radonova transformace



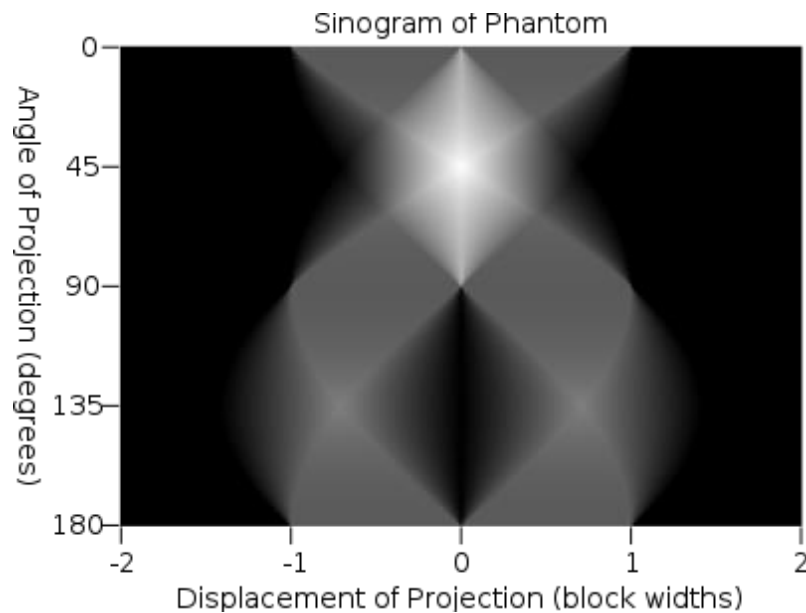
- (a) Original phantom image, (b) Frequency plane showing in white the frequency rays in Ω ,
(c) Reconstruction with a linear orthogonal projection computed with a backprojection,
(d) Lagrangian pursuit estimation in a Haar translation-invariant wavelet dictionary,
(e) Inversion with a total variation regularization

Radonova transformace

předmět



Radonova transformace
(sinogram)

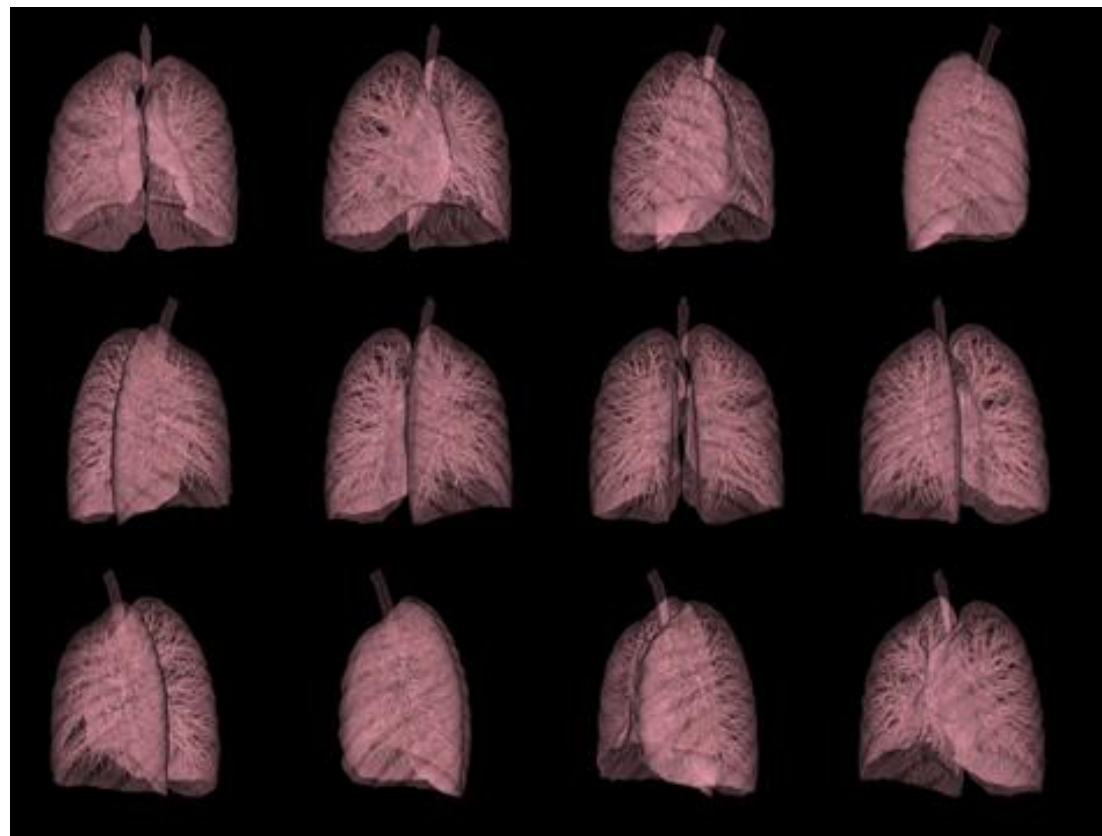
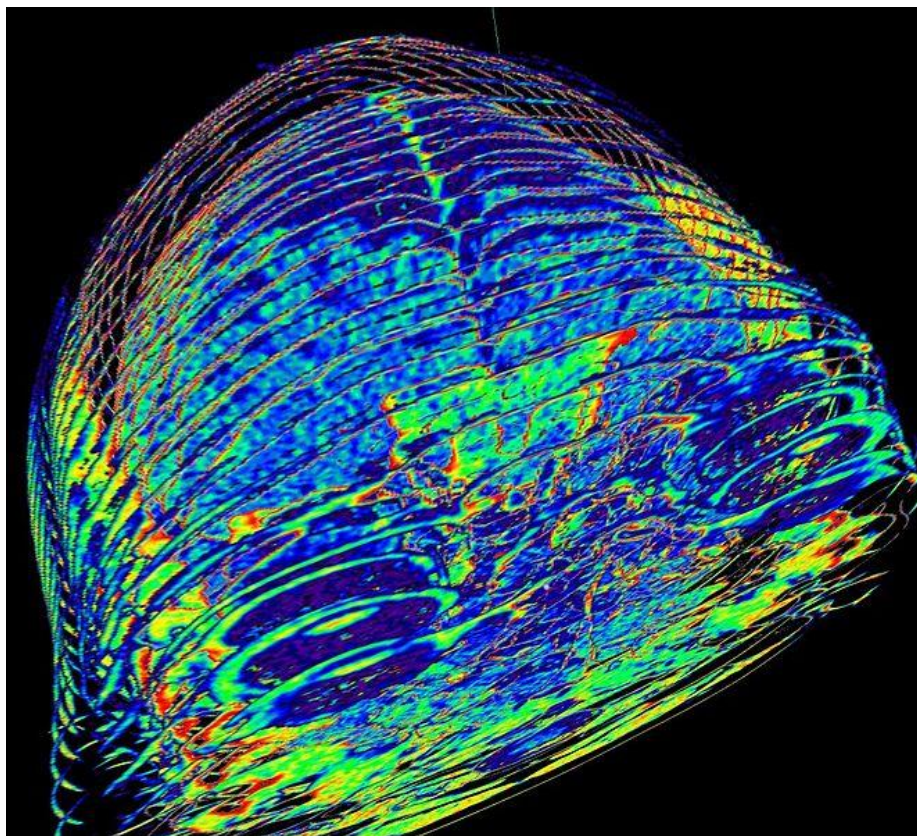


rekonstrukce
(inverzní Radonova transformace)



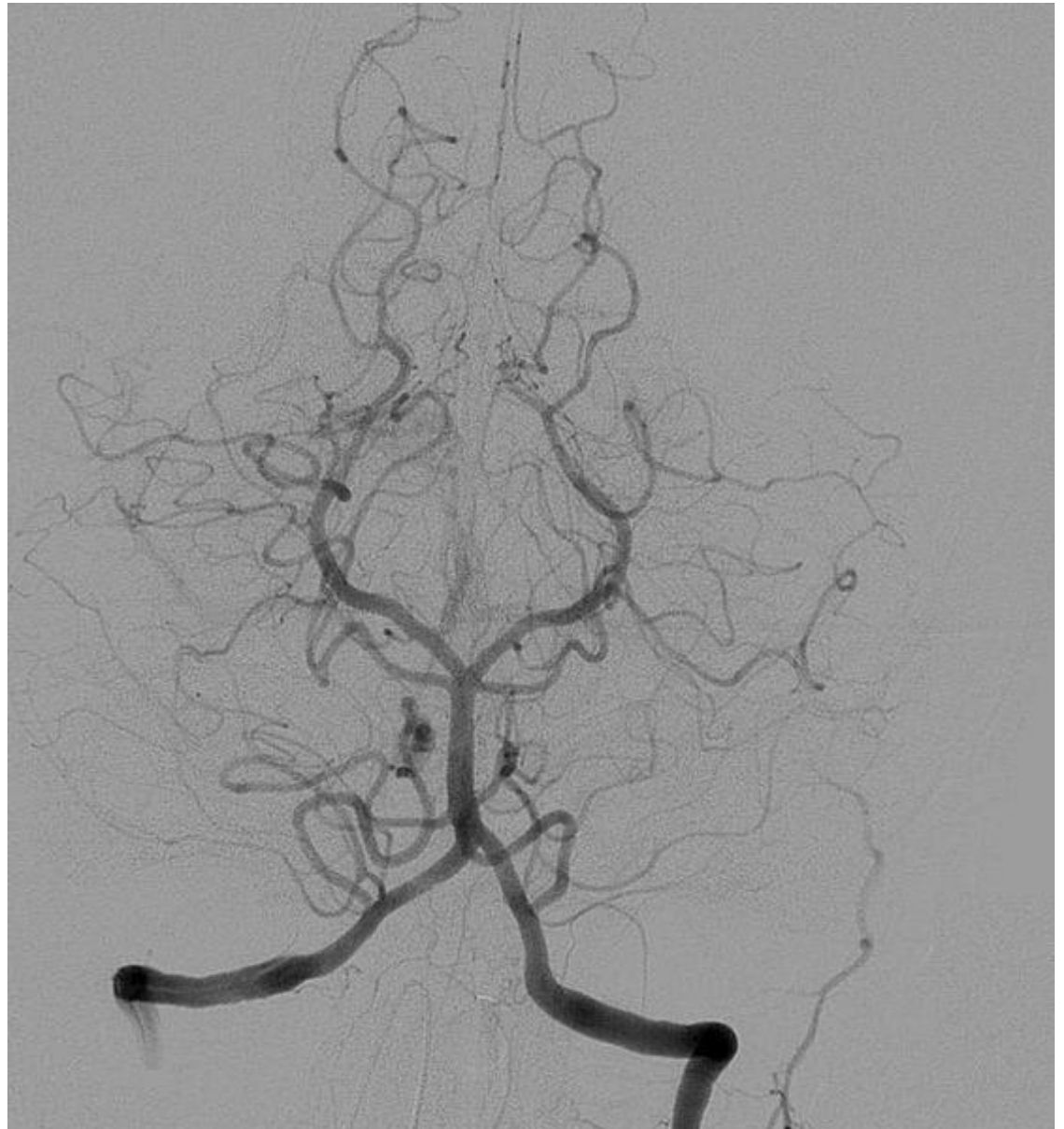
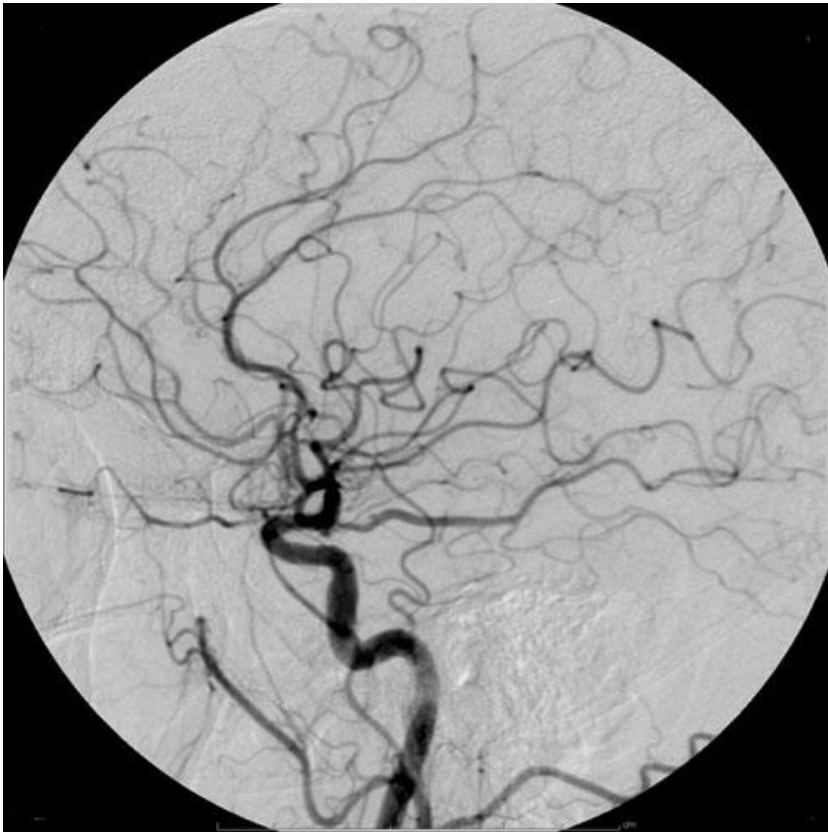
CT – tenké řezy

- tenké řezy 5 mm



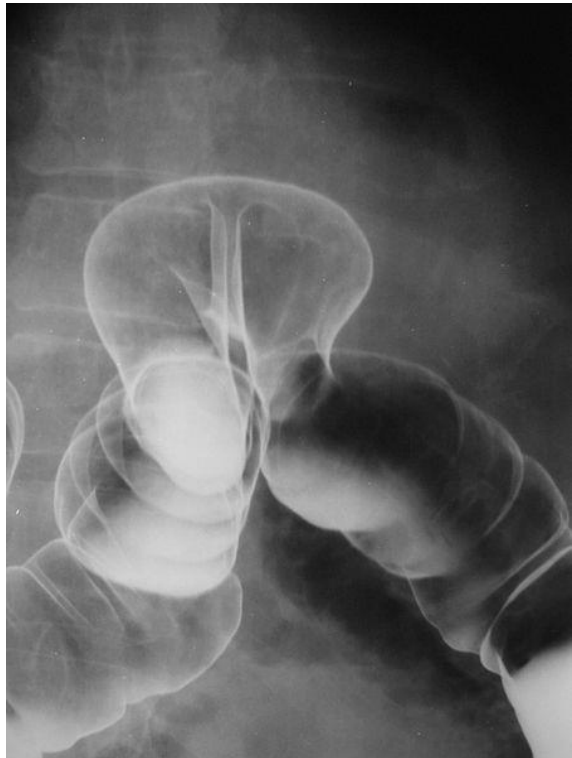
CT – radio-kontrastní látky

- sloučeniny jódu ($Z_I = 53$)
- neškodné pro lidské tělo
- kontrastní zobrazení cév, žil, tepen



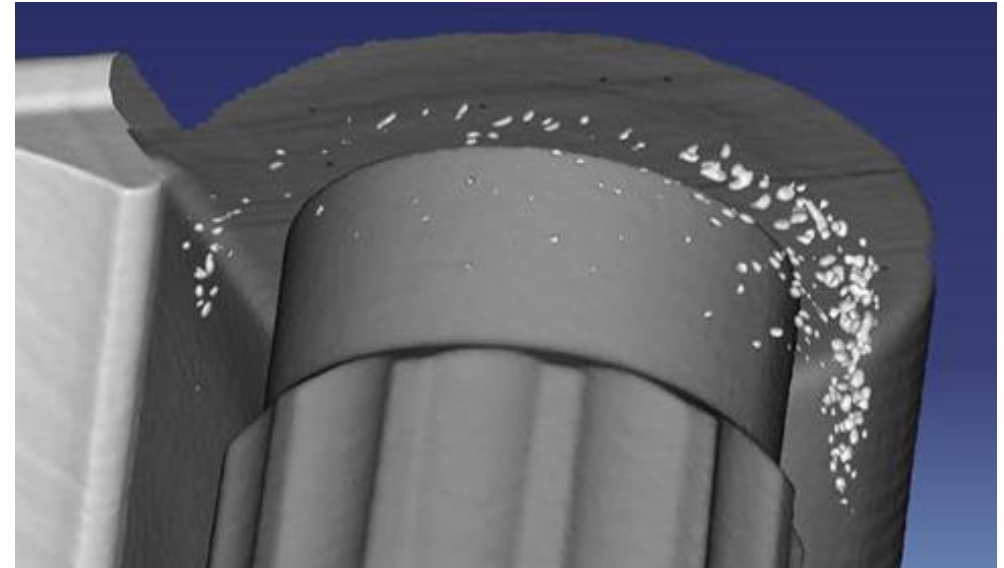
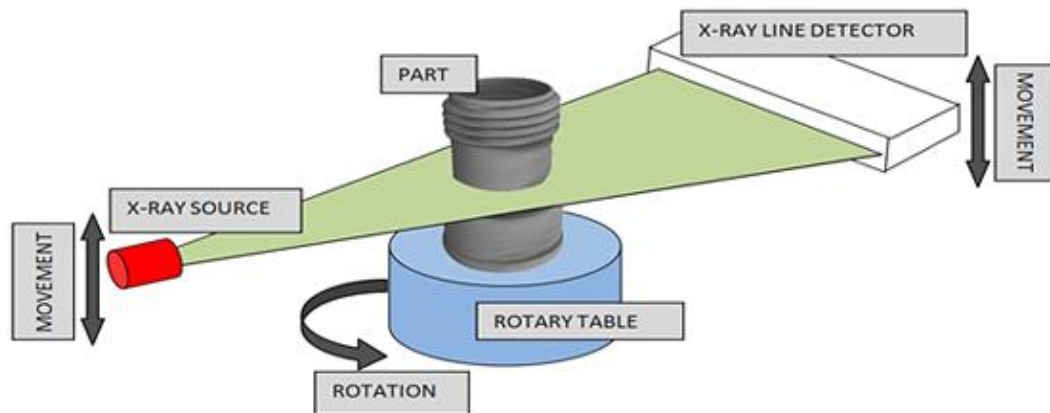
CT – radio-kontrastní látky

- BaSO_4 ($Z_{\text{Ba}} = 56$)
- ve vodě nerozpustný bílý prášek
- kontrastní zobrazení trávicího systému



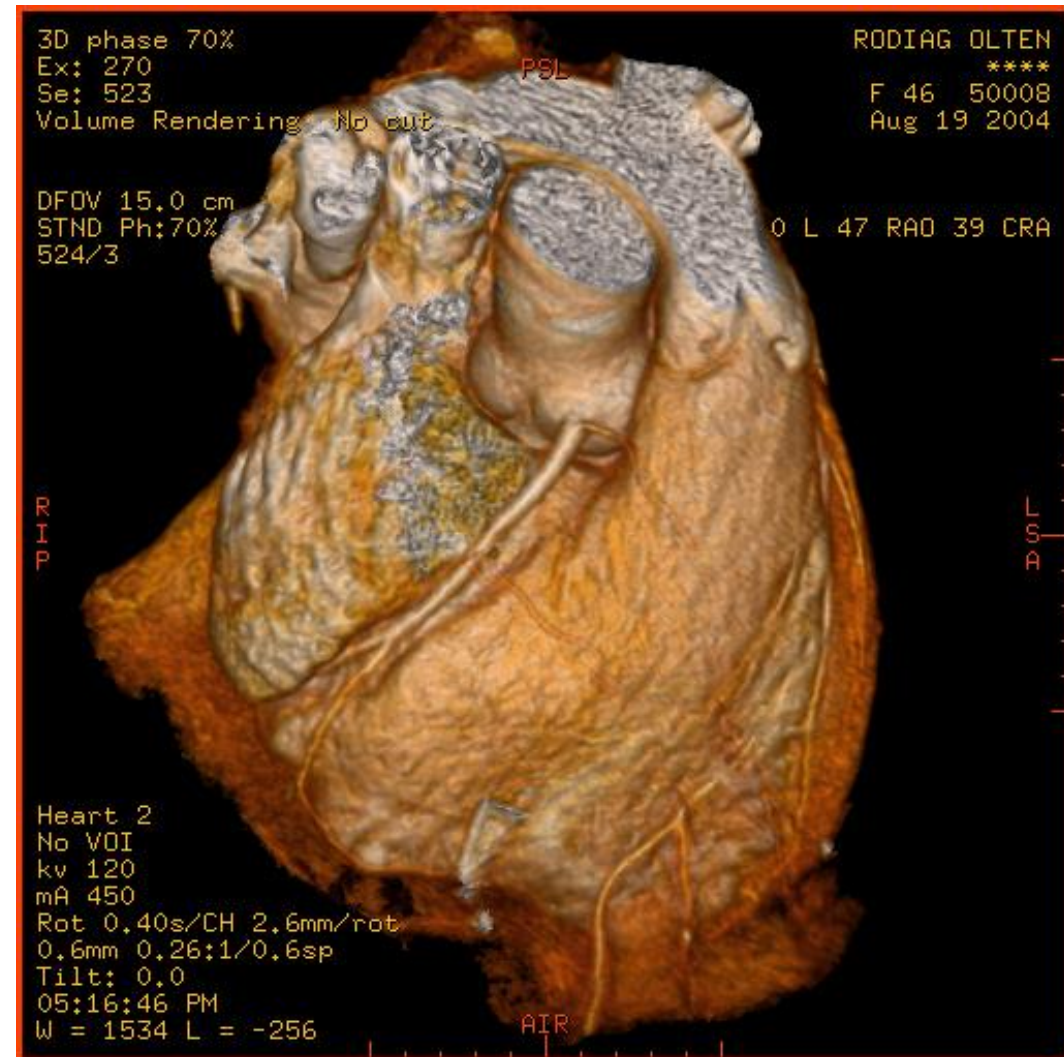
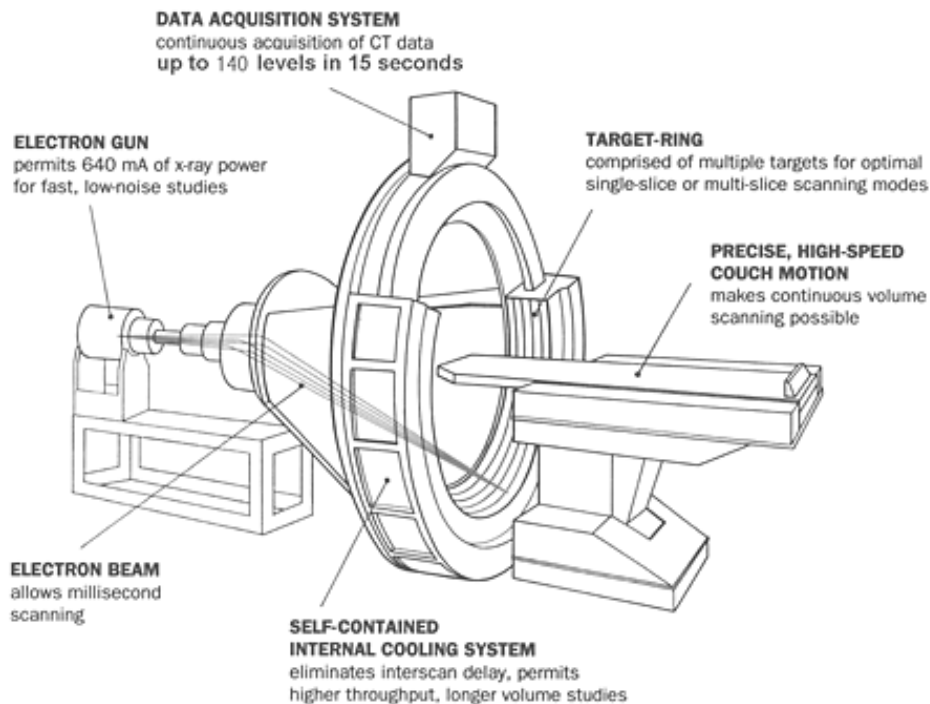
CT – průmyslové využití

- kónický svazek rtg. záření
- rotující vzorek
- nedestruktivní test, vytvoření 3D modelu součástky



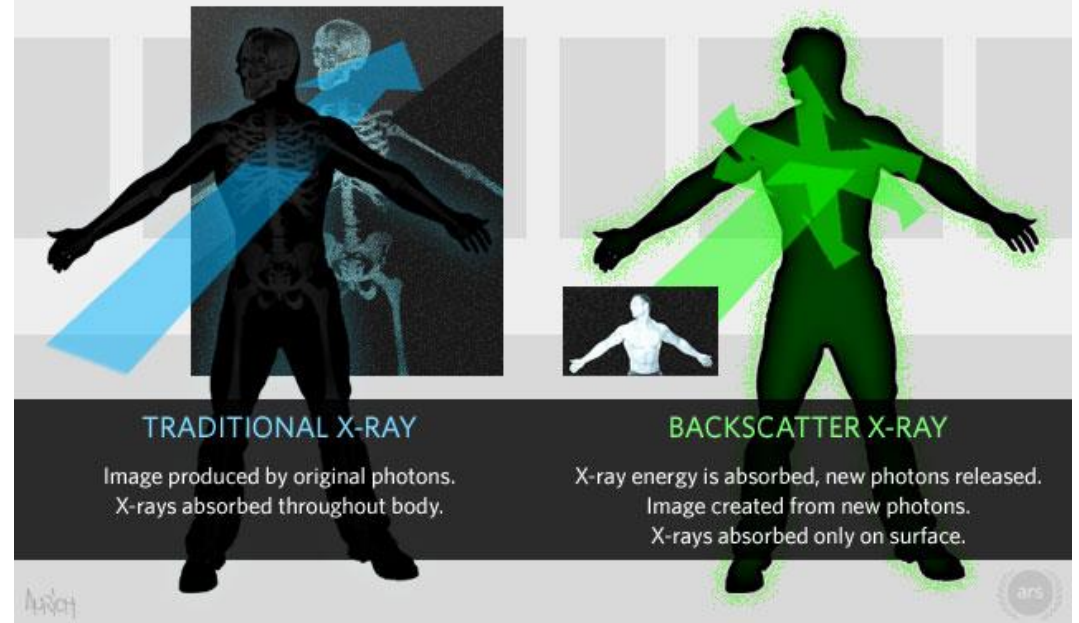
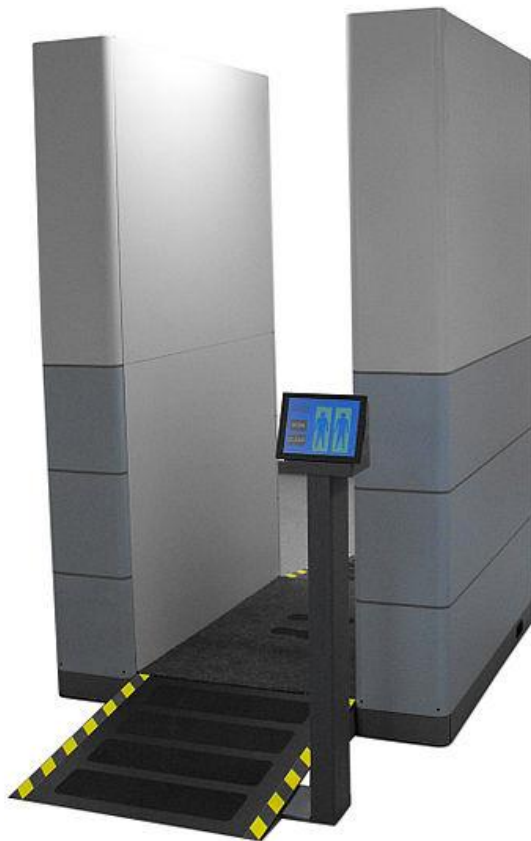
EBT (electron beam tomography)

- svazek elektronů je vychylovaný magnetickým polem
→ na prstenci okolo pacienta se generuje rtg. záření
- stacionární, vyšší rychlost
- zobrazení srdce



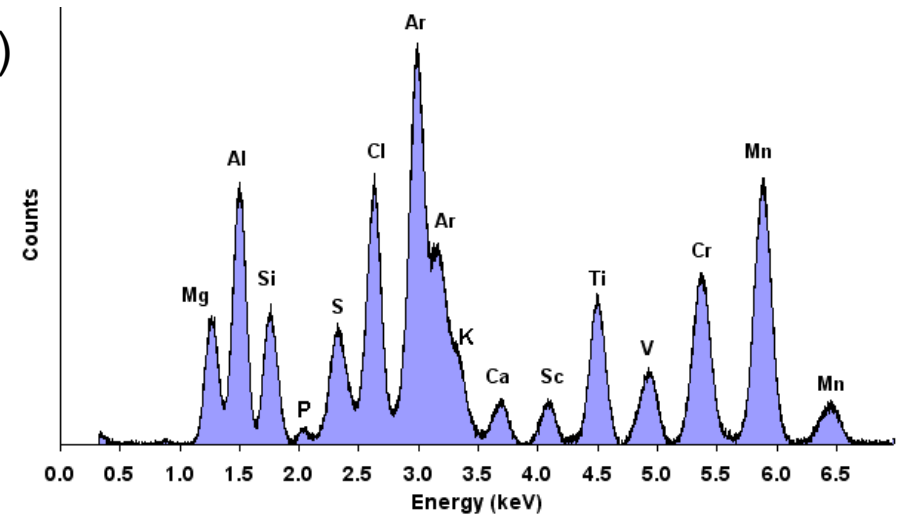
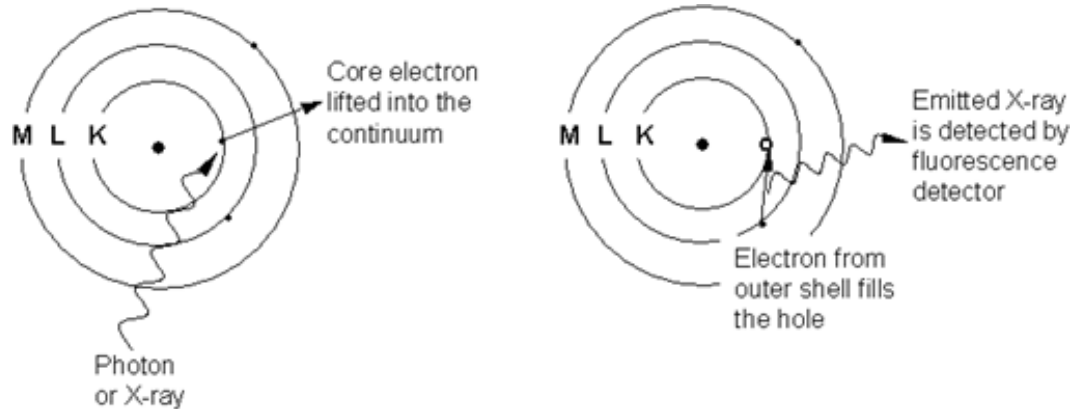
Zpětně odražené rentgenové záření

- detekce rtg. záření deflektovaného Comptonovým rozptylem
- velmi malá dávka ($< 0.1 \mu\text{Sv}$ na 1 body scan, pro srovnání: přírodní pozadí cca $0.3 \mu\text{Sv/h}$)
- bezpečnostní skenery (jiná, konkurenční technologie: "millimeter wave scanner")

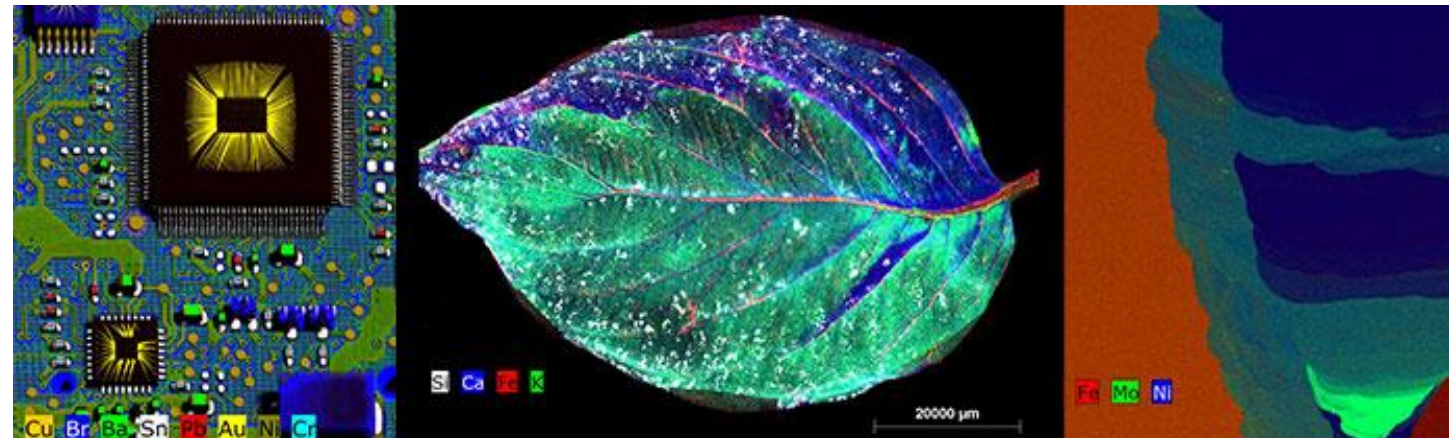
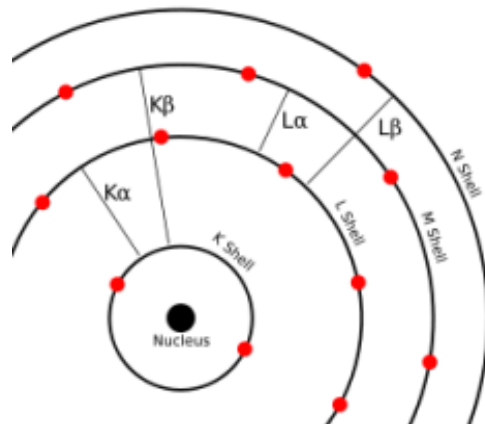


X-ray fluorescence (XRF) electron microprobe (EMP)

- charakteristické rtg. záření indukované rtg. nebo γ zářením (XRF) nebo svazkem e^- (EMP)
- chemická analýza (rozdílné hladiny u různých prvků)

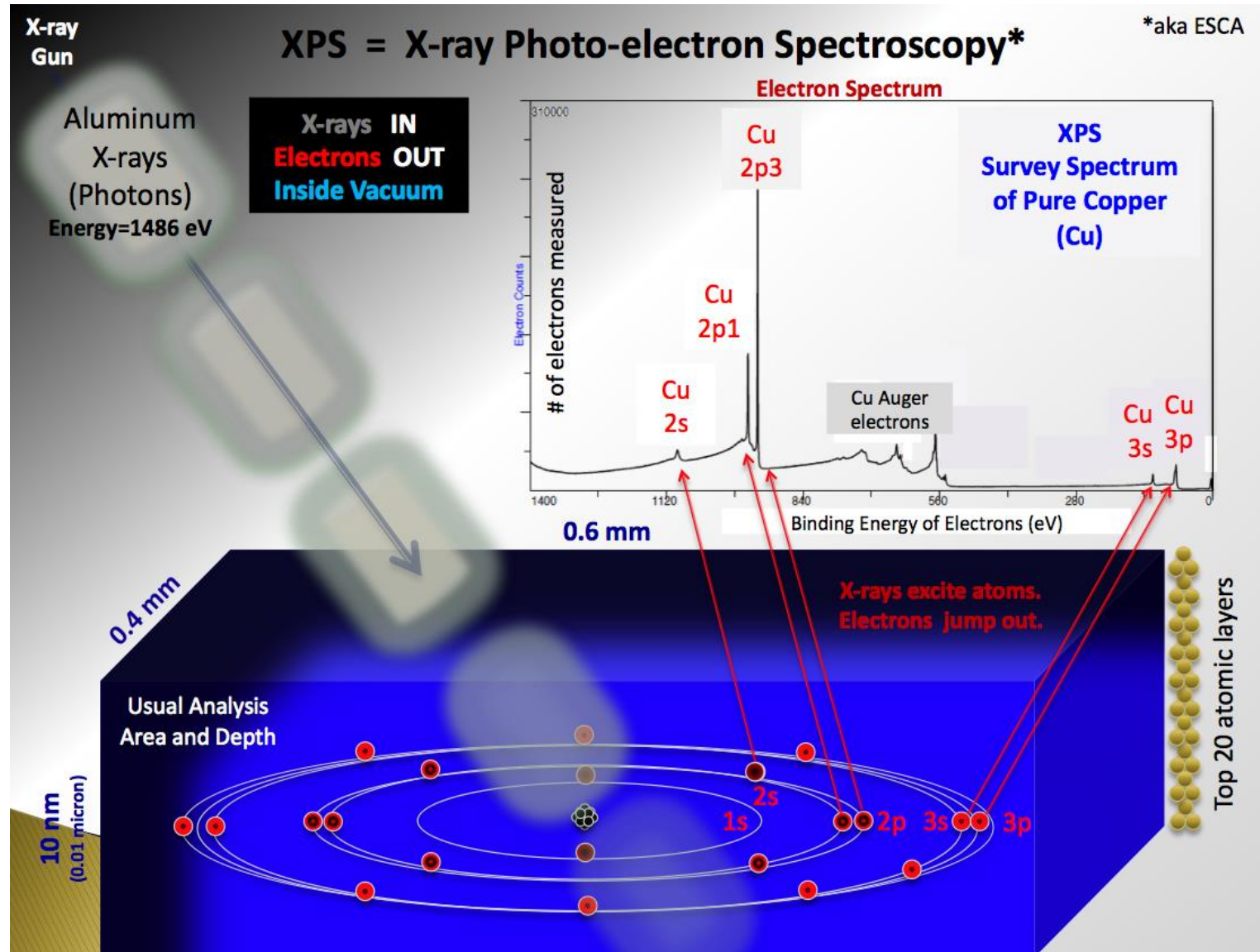


Analýza spektra v každém pixelu, přiřazení barev

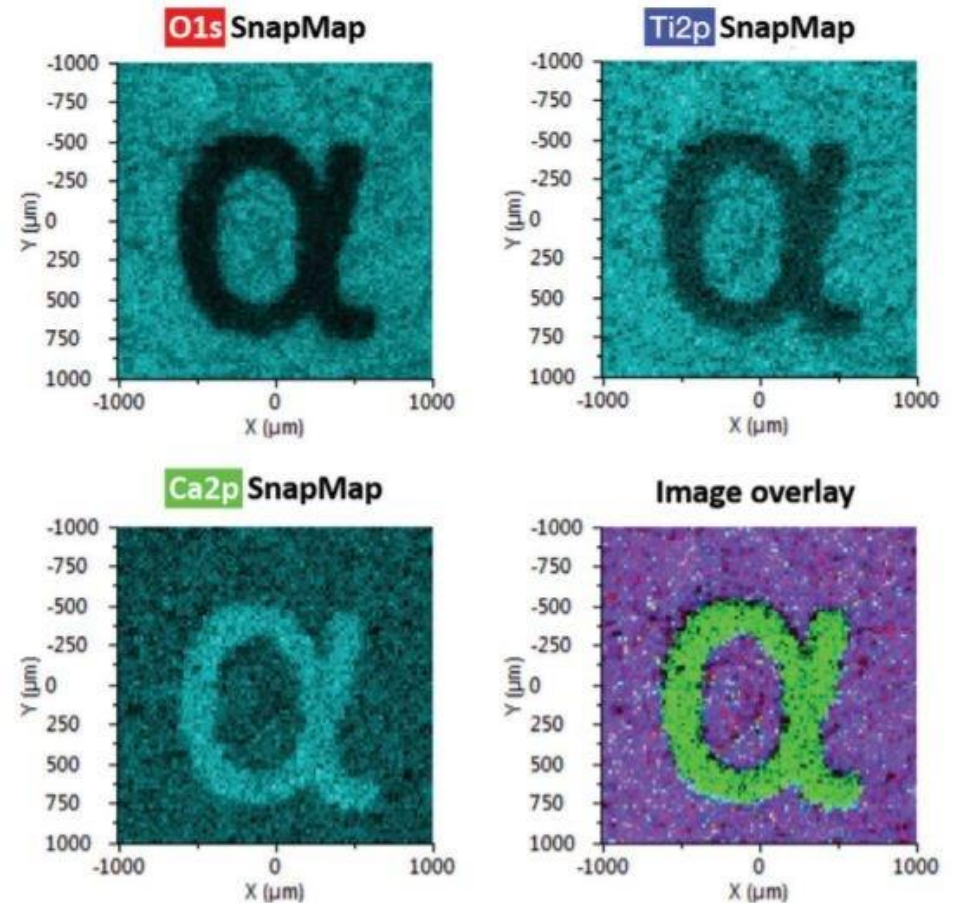
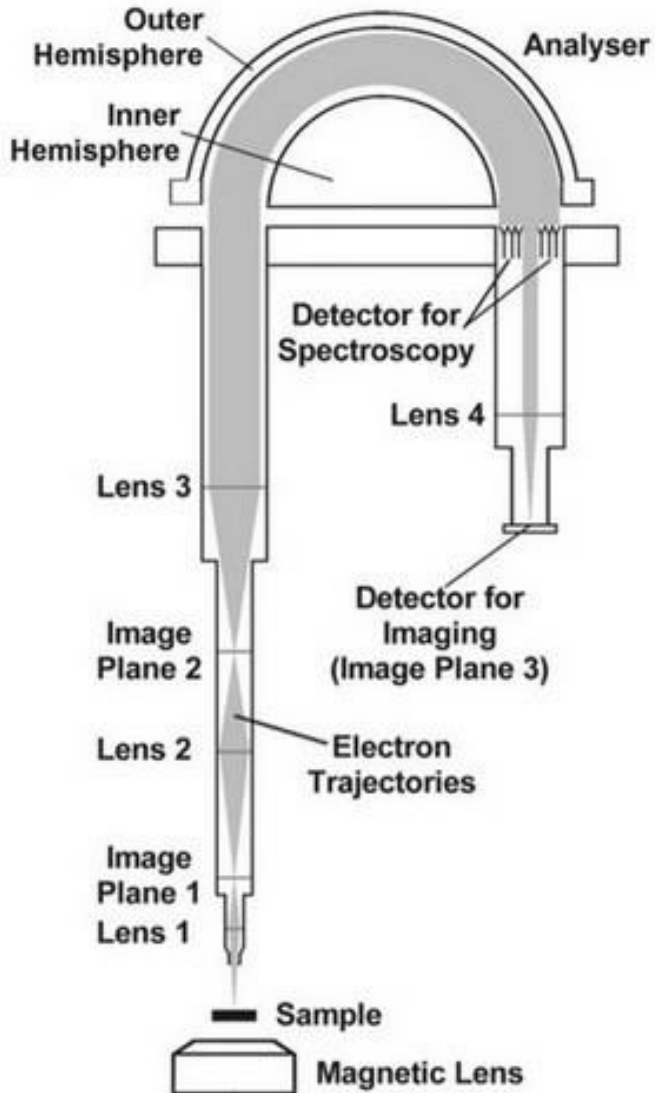


X-ray photoelectron spectroscopy (XPS)

- Měří se energie elektronů z fotoefektu
- Spektrometrie i zobrazování



X-ray photoelectron spectroscopy (XPS)

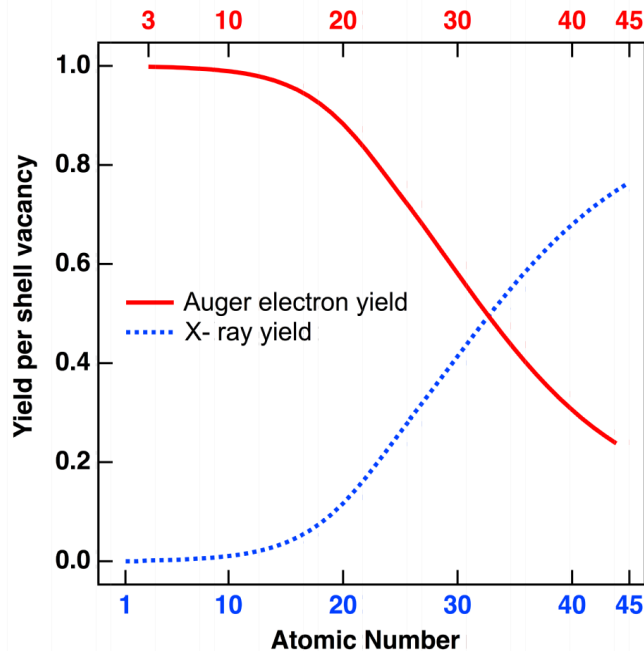


Písmeno α (pravděpodobně z Ca) na Ti substrátu:
3 obrázky ukazují intenzitu 3 píků v pixelech,
čtvrtý je jejich pseudo-barevná kombinace

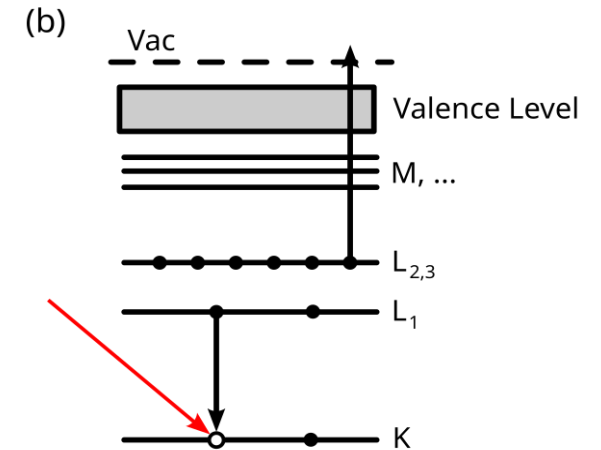
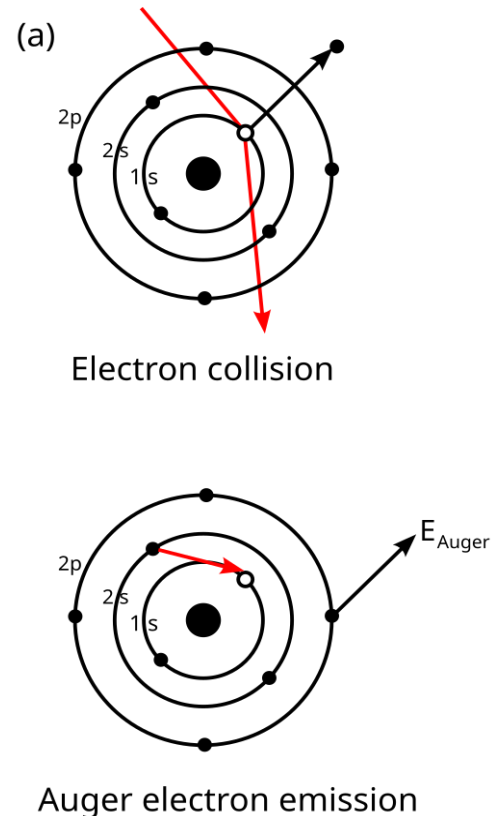
Příklad přístroje pro zobrazování:
Thermo Scientific ESCALAB Xi+ XPS Instrument

Auger electron spectroscopy (AES)

- Emise charakteristického rtg. záření (pro XRF) je častější pro těžší prvky,
- Pro lehčí lze použít Augerovy elektrony – AES
- Opět lze použít pro zobrazování – scanning Auger microscope (SAM)



By Toshiyouri, CC BY-SA 4.0



$$E_{\text{Auger e}} = \Delta E_{L1-K} - \Delta E_{L2,3-\text{vac}}$$

Energie elektronu je citlivá na rozdíl hladin, který závisí na prvku...

[By A. Carlson, Public Domain](#)