

A KURSUS 2014

Diagnostisk Radiologi : ” Fysik og Radiobiologi ”

DANNELSE AF RØNTGENSTRÅLING

Erik Andersen, ansvarlig fysiker

CIMT Medico Herlev, Gentofte, Glostrup Hospital

Røntgenstråling :

Røntgenstråling frembringes inden for diagnostisk radiologi i et røntgenrør ved vekselvirkning mellem indkommende energirige elektroner og atomerne i anodematerialet.

Energien af en "røntgenstråle" er givet ved :

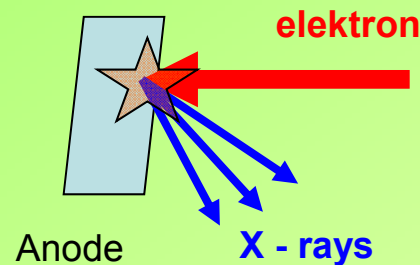
$$E_{\text{foton}} = h \cdot f = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$

hvor

h = Plancks konstant = $6,63 \cdot 10^{-34}$ J·s

f = strålingens frekvens (Hz = s^{-1})

λ = strålingens bølgelængde (m)



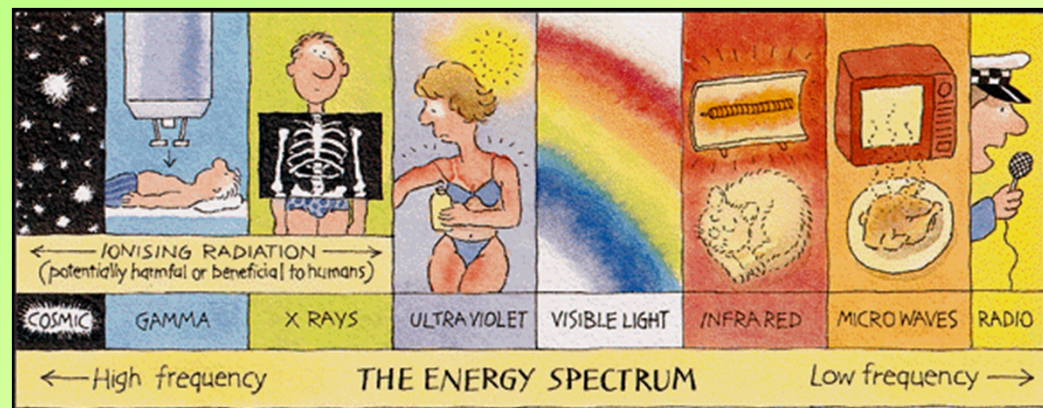
Wilhelm Conrad Röntgen
(1845-1923).

Det elektromagnetiske spektrum .

Diagnostisk røntgenstråling :

10 keV - 150 keV

$1,3 \cdot 10^{-10}$ m - $8,3 \cdot 10^{-12}$ m



Vekselvirkninger :

Indkommende elektroner med kinetisk energi E_{kin} vekselvirker med anode materialet i røntgenrøret ved følgende processer:

1. Coulomb vekselvirkning med det elektriske felt fra anode atomets orbitale elektroner i atomets skalstruktur (frastødning).

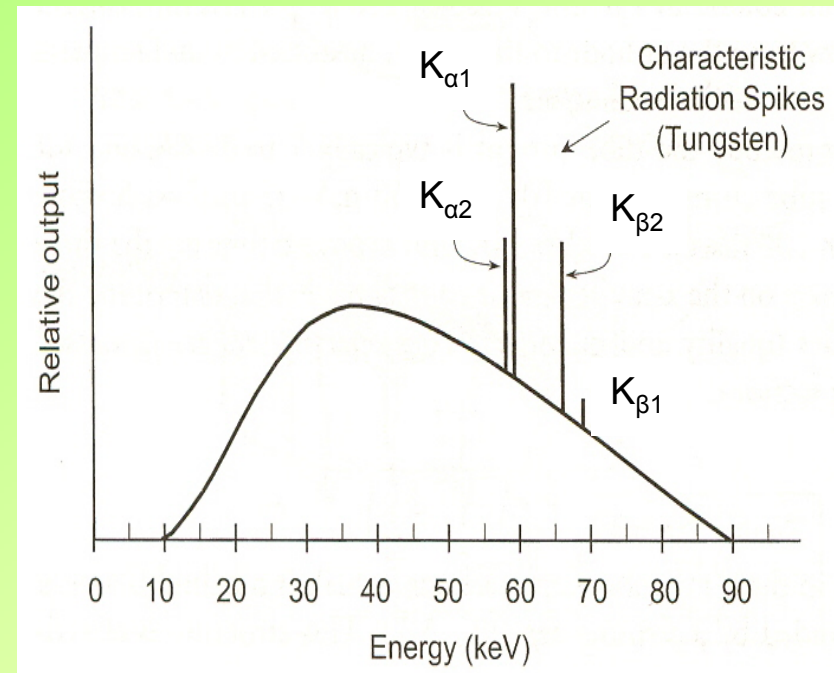
Vekselvirkningen resulterer i excitation og ionisation af anode atomet med efterfølgende udsendelse af karakteristisk røntgenstråling (liniespektrum) og/eller udsendelse af Auger elektroner.

2. Coulomb vekselvirkning med det elektriske felt fra anode atomets positive kerne (tiltrækning).

Vekselvirkningen resulterer i udsendelse af x-ray bremsestråling (Bremsstrahlung) (kontinuert spektrum) eller elastisk spredning af elektronen.

Røntgenspektret

1. Karakteristisk stråling : Linjespektrum
2. Bremsestråling : Kontinuert spektrum



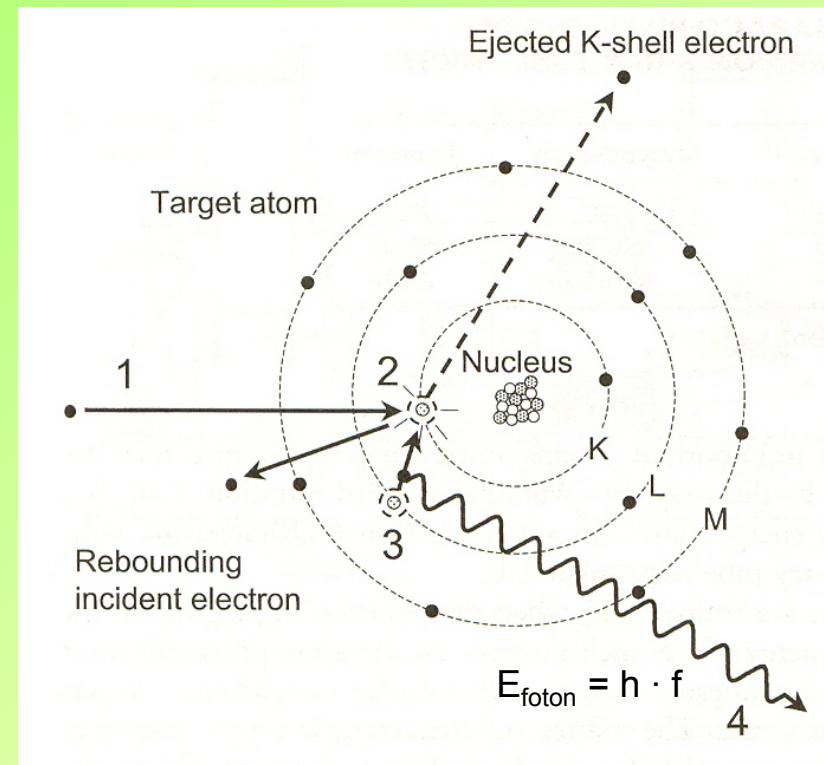
Karakteristisk stråling : Charles Barkla 1906

Karakteristisk stråling fra anode materialet dannes i forbindelse med excitation og ionisation af atomet ved udsendelse af røntgenstråling med energi

$E_{\text{foton}} = h \cdot f$ ved den efterfølgende overgang mellem atomets stationære tilstande.

Ionisation af atomerne i anode materialet skyldes hovedsageligt én af følgende processer:

- A. Coulomb vekselvirkning mellem elektroner i atomets skalstruktur og den indkommende elektron.
- B. Auger effekt.
Udsendelse af elektroner ved strålingsfri overgange mellem atomets energiniveauer



Bindingsenergier i Wolfram :

TABLE 9.1 Electron Binding Energies E_b in Tungsten^a

Shell (E_b) _K ↓ (keV)	Shell (E_b) _L ↓ (keV)	Shell (E_b) _M ↓ (keV)	Shell (E_b) _N ↓ (keV)
K 69.525	L_I 12.098	M_I 2.820	N_I 0.595
	L_{II} 11.541	M_{II} 2.575	N_{II} 0.492
	L_{III} 10.204	M_{III} 2.281	N_{III} 0.424
		M_{IV} 1.871	N_{IV} 0.256
		M_V 1.809	N_V 0.242
			N_{VI} 0.036
			N_{VII} 0.034

Antal elektroner i skal
nummer n : $2 \cdot n^2$

$n = 1$: K 2 (s)

$n = 2$: L 8 (s, p)

$n = 3$: M 18 (s, p, d)

$n = 4$: N 32 (s, p, d, f)

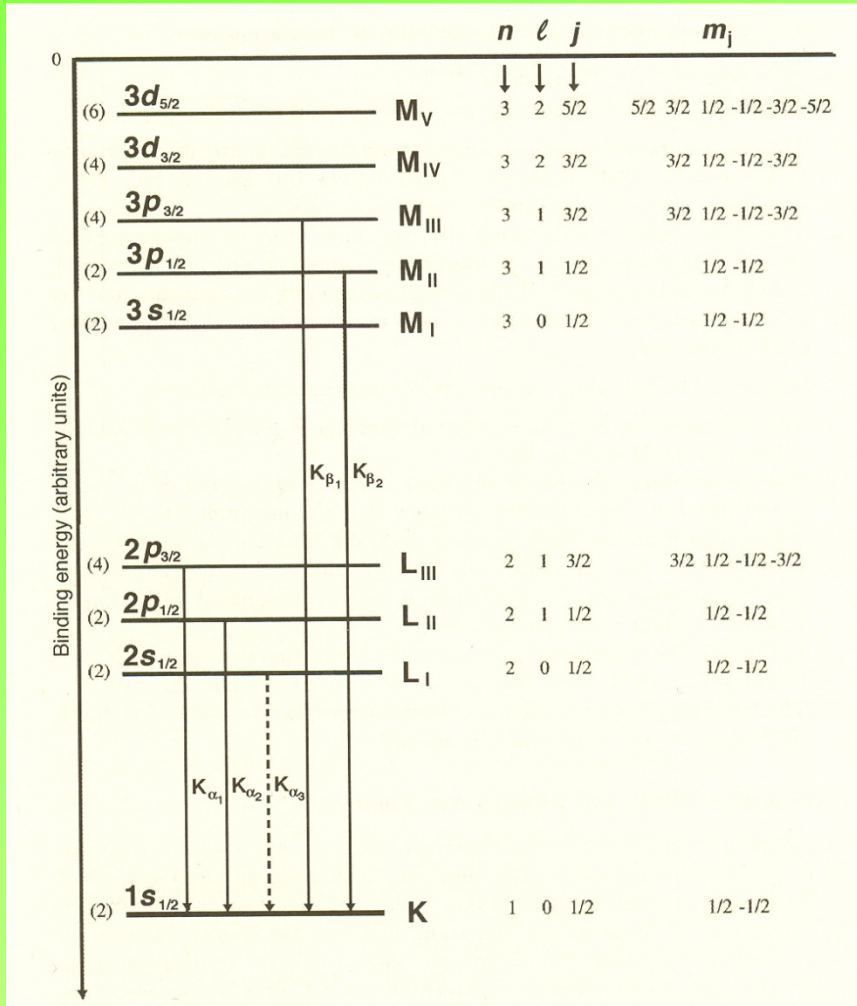
Karakteristisk stråling : Energier

TABLE 9.2 K-Shell X-Ray Fluorescence Energies in Tungsten^a

Transition	Designation	Energy (keV)	Relative No. of Photons
$K-L_{III}$	α_1	59.321	100
$K-L_{II}$	α_2	57.984	57.6
$K-M_{II}$	β_3	66.950	10.8
$K-M_{III}$	β_1	67.244	20.8
$K-M_{IV}$	$\beta_{5/1}$	67.654	0.233
$K-M_V$	$\beta_{5/2}$	67.716	0.293
$K-N_{II}$	$\beta_{2/1}$	69.033	2.45
$K-N_{III}$	$\beta_{2/2}$	69.101	4.77
$K-N_{IV}$	$\beta_{4/1}$	69.269	0.127
$K-N_V$	$\beta_{4/2}$	69.283	0.127
$K-O_{II}$	$\beta_{2/3}$	69.478	1.07
$K-O_{III}$	$\beta_{2/4}$	69.489	1.07

$\left. \begin{array}{l} \beta_1 \\ \beta_{5/1} \\ \beta_{5/2} \end{array} \right\} \cong 67.2$
 $\left. \begin{array}{l} \beta_{2/1} \\ \beta_{2/2} \\ \beta_{4/1} \\ \beta_{4/2} \end{array} \right\} 69.276 \cong 69.1$
 $\left. \begin{array}{l} \beta_{2/3} \\ \beta_{2/4} \end{array} \right\} 69.484$

Karakteristisk stråling : K_{α} , K_{β}



Overgange mellem atomets stationære tilstande.

Karakteristisk stråling

$$E_{\text{foton}} = E_m - E_n = h \cdot f, \quad m < n$$

Udvalgsregler :

$$\Delta l = \pm 1, \quad \Delta j = 0, \pm 1$$

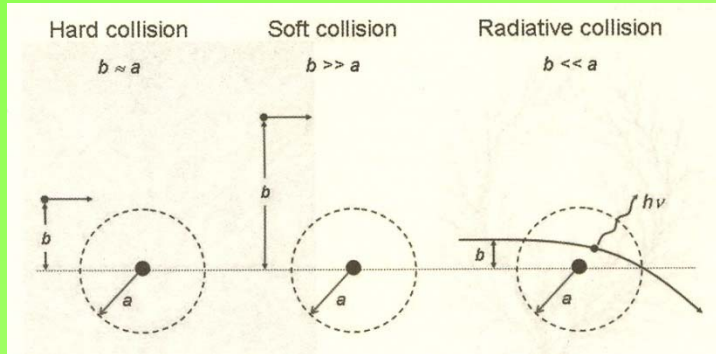
Spektrallinier :

$K_{\alpha 1}, K_{\alpha 2}, K_{\beta 1}, K_{\beta 2}$

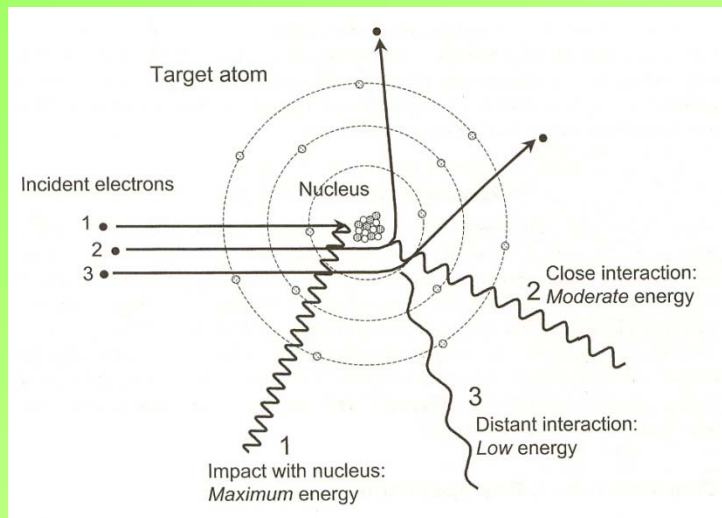
$L_{\alpha 1}, L_{\beta 2}, \dots$

Bremsestråling / Bremsstrahlung :

Bremsestråling dannes ved vekselvirkningen mellem den indkommende elektron og Coulomb feltet om atomkernen i anode/target materialet.



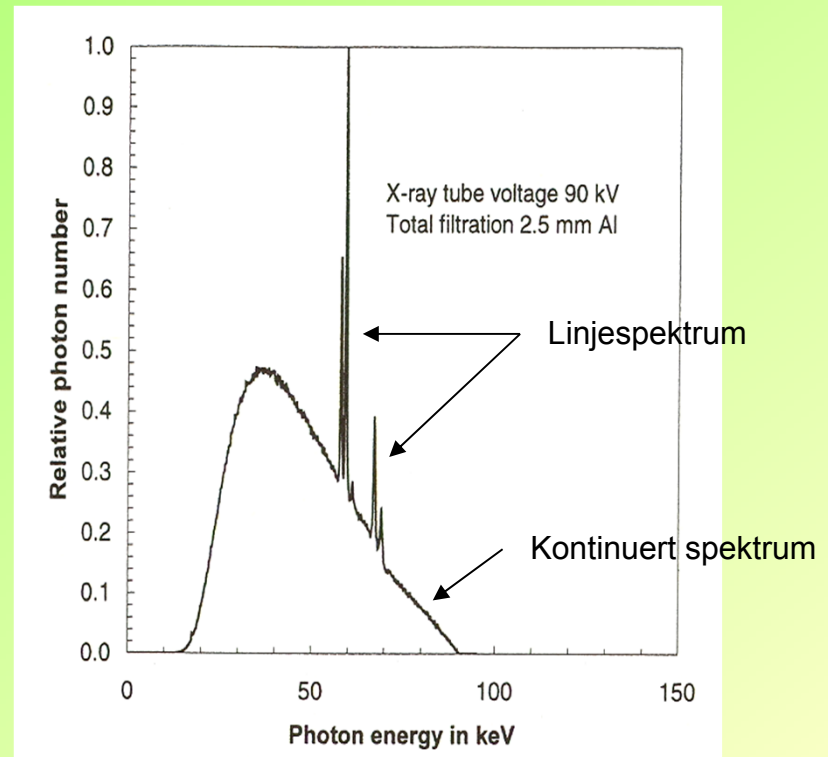
a = atomets "radius", b = impact parameter



X - rays : $E_1 > E_2 > E_3$

Røntgenspektrum :

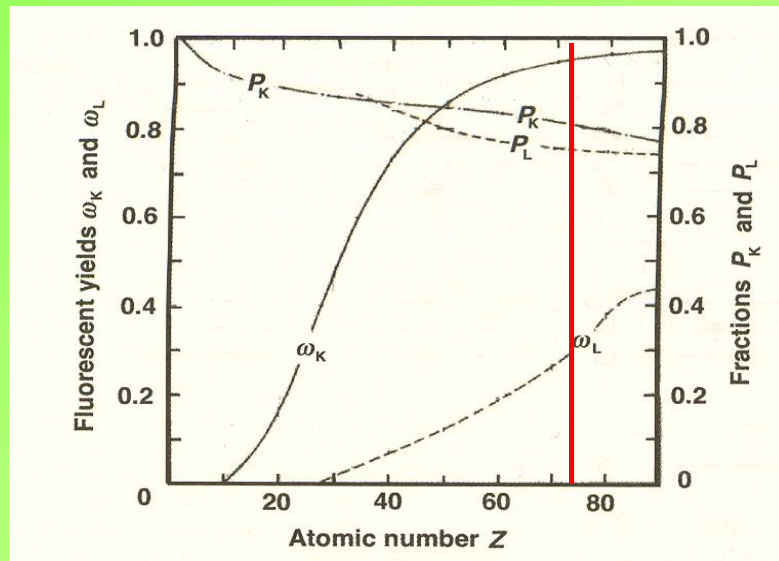
Røntgenspektret består af et kontinuert spektrum (bremsestråling) og et linjespektrum (karakteristisk stråling) :



Radiation Yield :

Fluorescent yield :

ω_K , ω_L for karakteristisk stråling
 ω_K / ω_L = sandsynligheden for at en ledig plads i K / L skallen resulterer i udsendelse af karakteristisk stråling fra det ioniserede atom.

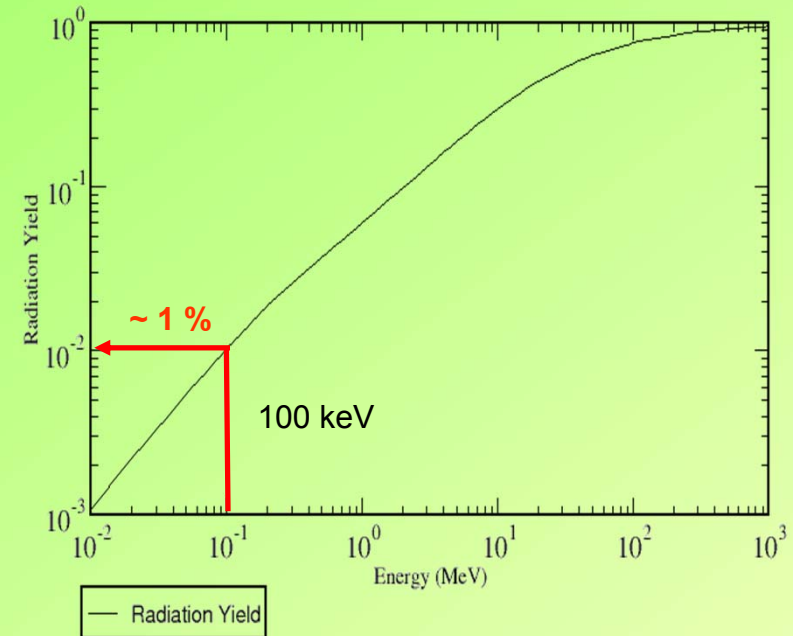


ω_K / ω_L vokser med stigende atomnummer Z

Wolfram $Z = 74$: $\omega_K \approx 0,95$, $\omega_L \approx 0,30$

Bremsstrahlung Yield :

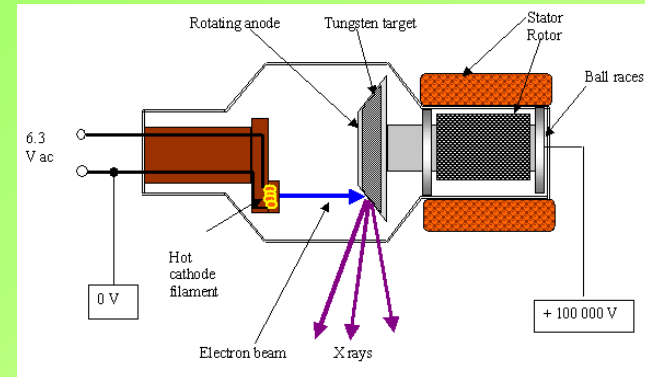
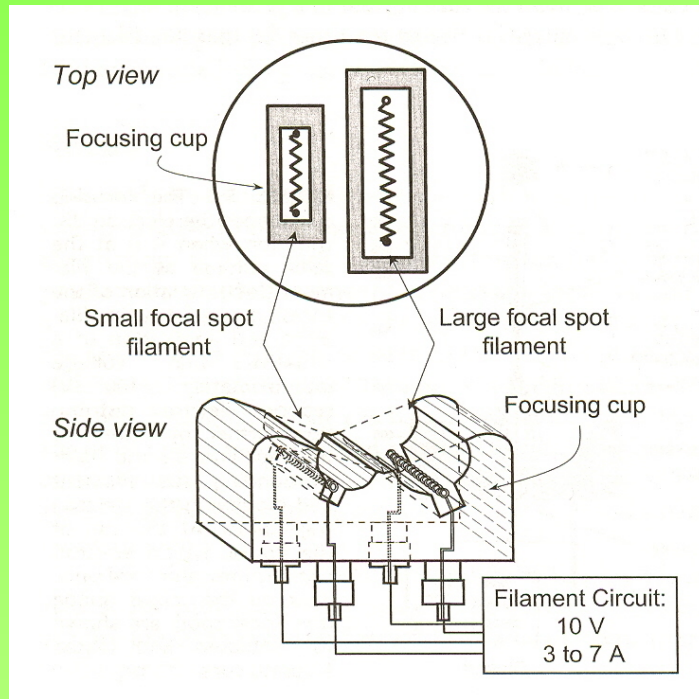
TUNGSTEN



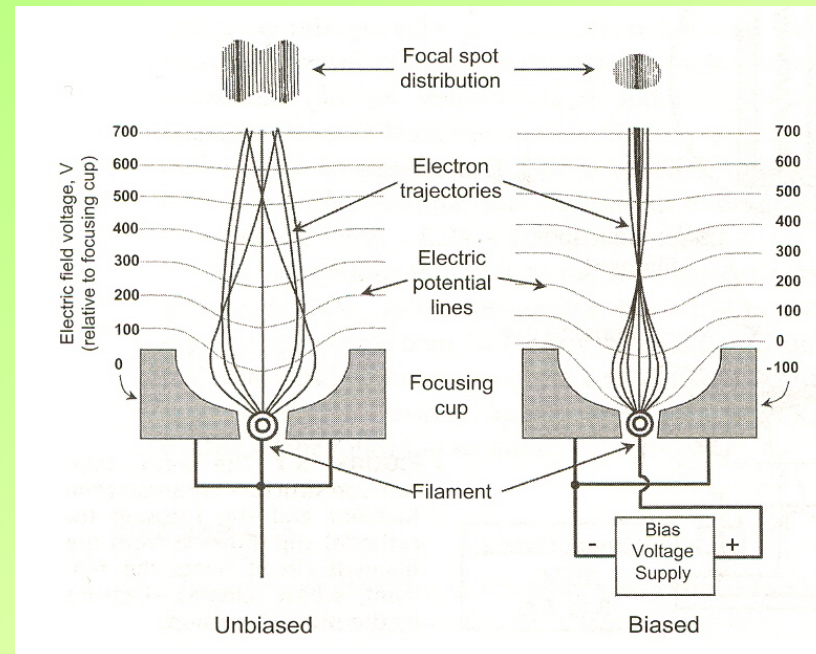
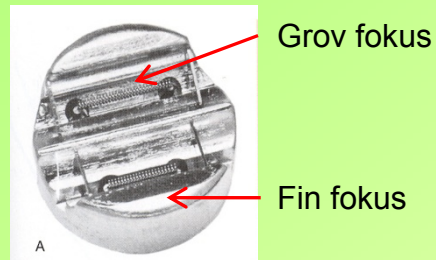
Røntgenrør : Konventionel X – ray Tube

Katoden :

Filament, Focal spot & Focusing cup



Grov fokus / Fin fokus :



Roterende anode :

Anode – Wolfram :

Atomnummer $Z = 74$

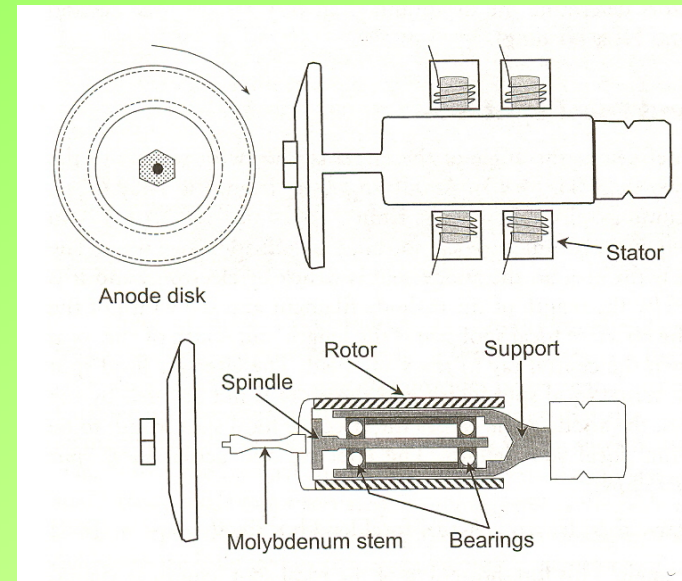
Densitet $\rho = 19,3 \text{ g/cm}^3$

Smeltepunkt $T = 3410 \text{ }^\circ\text{C}$

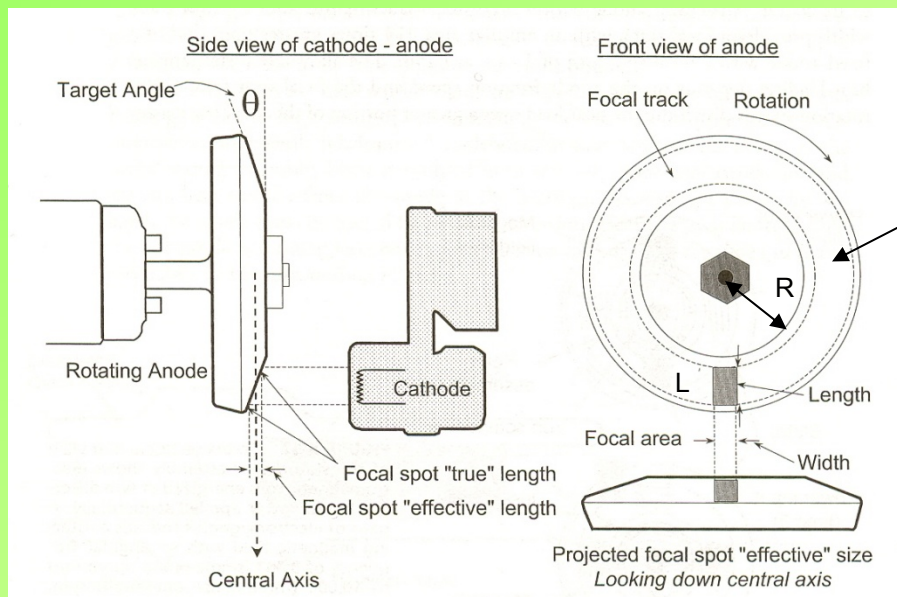
Specifik varmekapacitet $c = 137 \text{ J/kg }^\circ\text{C}$

Specifik konduktivitet $k = 1,76 \text{ W/cm }^\circ\text{C}$

Legering: 90 % W , 10 % Re



Anode vinkel $\theta \approx 7^\circ - 20^\circ$, typisk $12^\circ - 15^\circ$



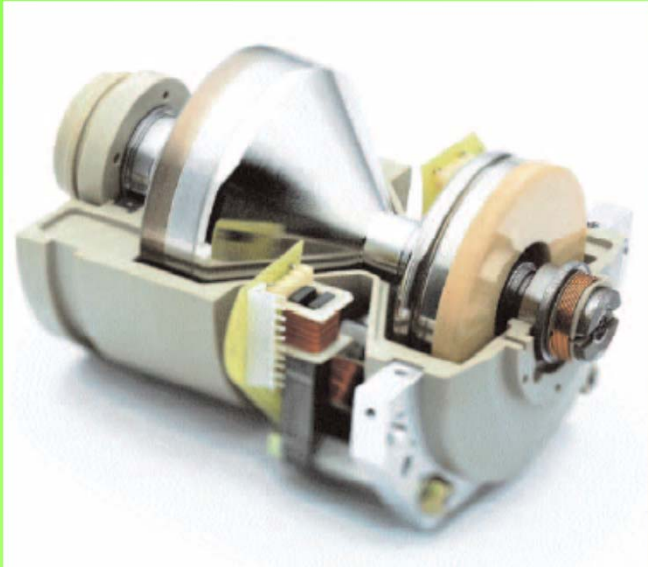
$$\text{Areal : } A \approx 2\pi \cdot R \cdot L$$

$L = \text{fokus plettens længde}$

Røntgenrør :

CT røntgenrør :

Siemens Straton X – ray Tube ®



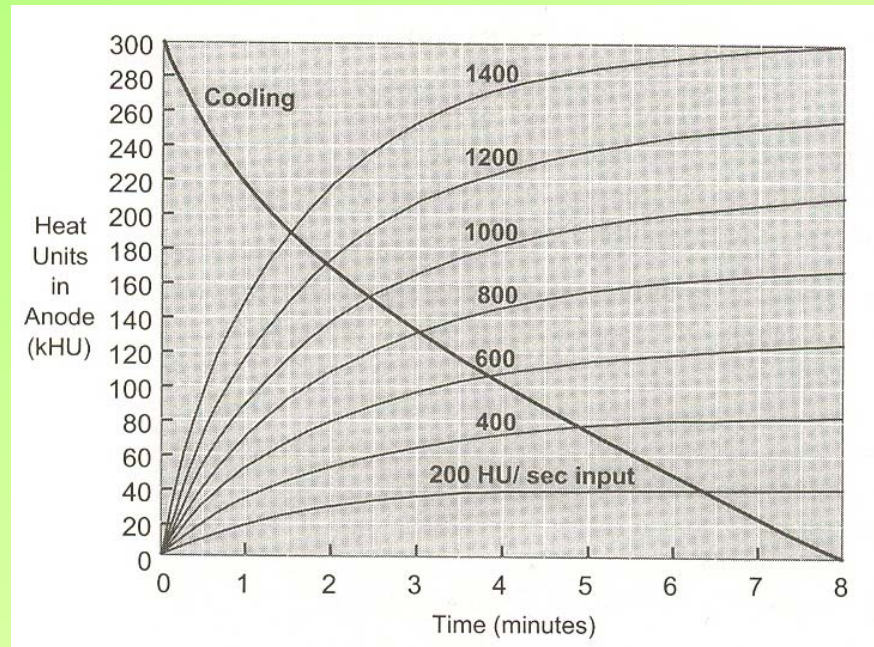
Roterende røntgenrør !

Stationær anode :

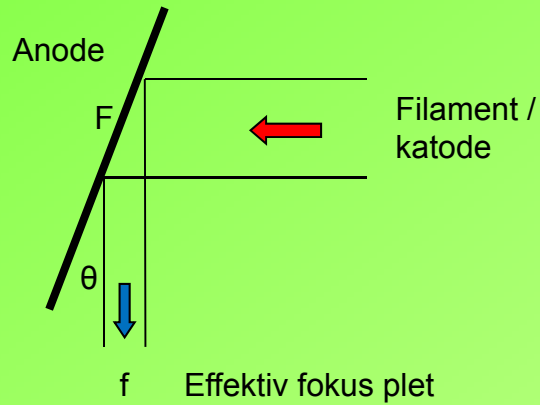
F.eks. gennemlysnings-
enheder !



Anode Heat Input & Cooling Chart :



Line focus principle :



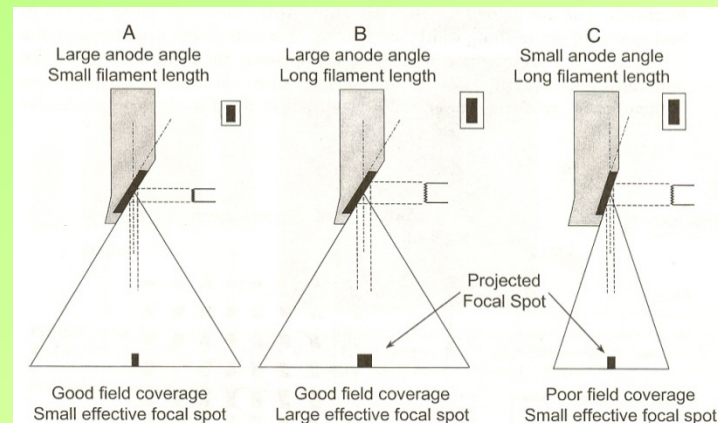
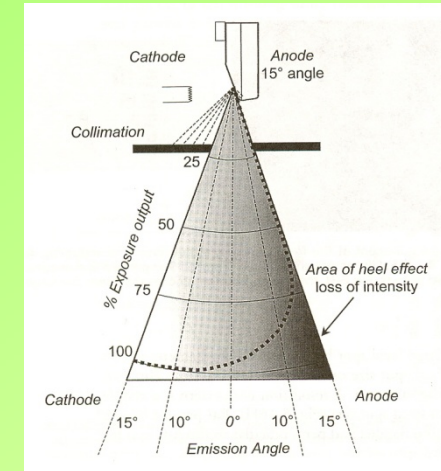
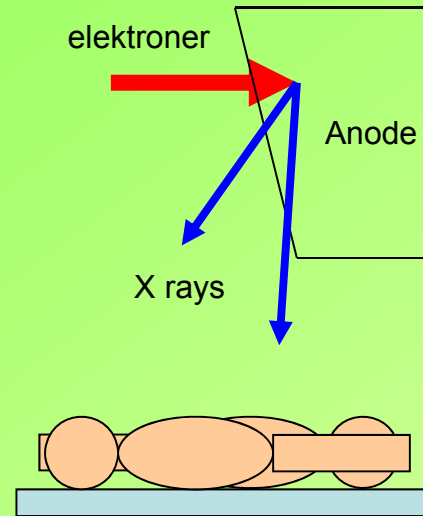
Effektiv fokus størrelse :

$$f = F \cdot \sin\theta$$

Eks: $f = 5,0 \text{ mm} \cdot \sin(15^\circ) = 1,3 \text{ mm}$

Fokusplet, anodevinkel & feltstørrelse :

Heel effekt :



Diagnostisk røntgen :

Effektivitet :

Relativ energi af den producerede røntgenstråling (approx.) :

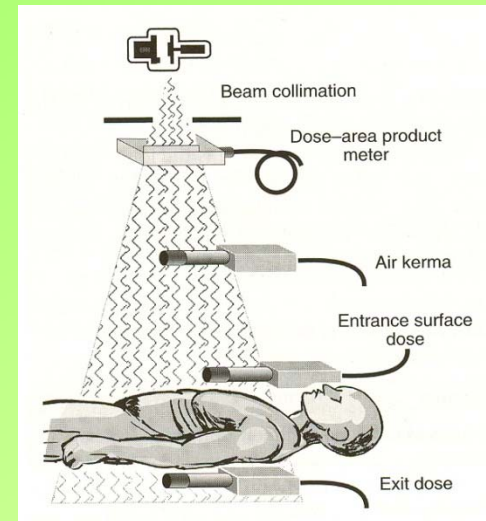
- 100 % Energi af indkommende elektron beam
- 99 % Varmeproduktion i anoden
- 1 % Røntgenstråling fra anodens overflade
- 0,5 % Røntgenstråling efter indre filtrering
- 0,1 % Røntgenstråling efter ydre filtrering

Table 3.1 Efficiency of X-ray production.

Element and kilovoltage	Efficiency (%)
Tungsten (Z = 74)	
20 kV	0.162
60 kV	0.48
100 kV	0.814
140 kV	1.14
Molybdenum (Z = 42)	
20 kV	0.092

THE END !

Dosis Output, kV & mAs :



Dosis Output : mGy/mAs

Før patient : $Dosis \approx kV^n$, $n \approx 2-3$

Efter patient : $\frac{mAs_2}{mAs_1} \approx \left(\frac{kV_1}{kV_2} \right)^n$, $n \approx 4-5$

for konstant AEC niveau af billedreceptoren !