

## Medische beeldvorming

### Opgave: Röntgenapparaat

- a) De remspanning ontstaat omdat de elektronen afremmen in het anodemateriaal. Het energieverlies van een elektron wordt omgezet in remstraling en dus is de energie van één foton van deze straling maximaal gelijk aan de kinetische energie van één elektron.

$$E_{\text{foton}} = \Delta E_k = q \cdot U_{\text{buis}} = e \cdot 100 = 100 \text{ keV}$$

- b) Bij verlaging van de buisspanning verandert er niets aan de karakteristieke straling, dus de pieken liggen nog steeds bij 60 keV respectievelijk 68 keV.

De maximale energie van de fotonen van de remstraling is nu echter 80 keV, want  $E_{\text{foton}} = \Delta E_k = q \cdot U_{\text{buis}} = e \cdot 80 = 80 \text{ keV}$ .

De topwaarde voor de remstraling schuift iets naar links.

Er zullen van de grotere energieën in het algemeen minder fotonen zijn.

De laagste energieën zullen, net als bij de originele meting, niet worden gemeten omdat ze niet uit het röntgenapparaat ontsnappen of omdat de gebruikte meter er simpelweg niet gevoelig voor is.

- c) Bij verhoging van de gloeispanning verandert er niets aan de karakteristieke straling, dus de pieken liggen nog steeds bij 60 keV respectievelijk 68 keV.

Bij verhoging van de gloeispanning verandert er niets aan de maximale energie per foton van de remstraling.

De topwaarde voor de remstraling verschuift niet.

Bij verhoging van de gloeispanning neemt

alleen het aantal elektronen dat versneld wordt richting anode toe zodat er meer fotonen per eenheid van energie worden meten.

- d) De karakteristieke straling van koper ligt bij 137 pm en 152 pm.

Er geldt:  $E = hf = hc/\lambda$ , dus de karakteristieke straling ligt bij 9 keV respectievelijk 8 keV.

De karakteristieke straling van molybdeen ligt bij 0,063 nm en 0,071 nm.

Er geldt wederom:  $E = hf = hc/\lambda$ , dus de karakteristieke straling ligt bij 20 keV respectievelijk 17 keV.

De bindingsenergieën voor de schillen van wolfram zijn:

K: 70 keV; L: 11 keV; M: 3 keV

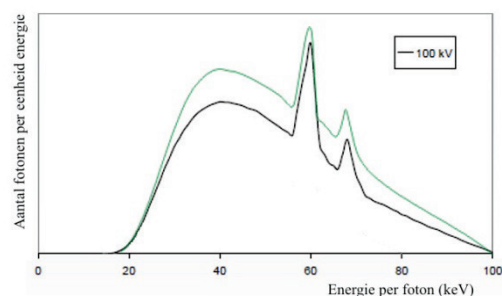
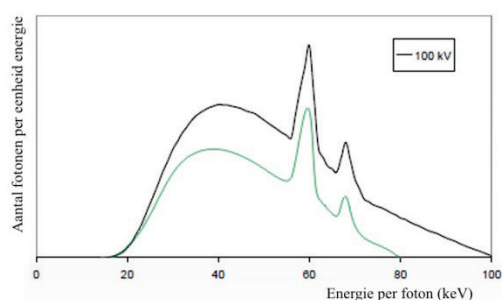
Dus de overgang van L naar K levert fotonen met een energie van  $70 - 11 = 59 \text{ keV}$  en de overgang van M naar K levert fotonen met een energie  $70 - 3 = 67 \text{ keV}$ .

De karakteristieke straling van de anode ligt bij 60 keV en 68 keV.

Daarmee is het dus waarschijnlijk wolfram.

Wolfram levert dus harde röntgenstraling in vergelijking met molybdeen en koper.

- e) Als de buisspanning wordt verhoogd neemt de maximale energie per foton toe. Energierijkere straling heeft een groter doordringend vermogen.



- f) Als de gloeispanning wordt verhoogd blijft de maximale energie per foton gelijk. Daarmee verandert er dus niets aan het doordringend vermogen van de straling.
- g) Als de anode niet zou draaien zou het volume van de anode waarin de elektronen worden geabsorbeerd zo heet worden dat het gaat smelten. Door de anode te laten ronddraaien wordt de energieafgifte van de elektronen verdeeld over een groter volume van het anodemateriaal.

h) Er geldt:

$$Q_{\text{toevoer}} = Q_{\text{opwarmen}}$$

$$* Q_{\text{toevoer}} = P \cdot t$$

$$* Q_{\text{opwarmen}} = Q_{\text{molybdeen}} = m \cdot c \cdot \Delta T$$

$$\Rightarrow P \cdot t = m \cdot c \cdot \Delta T$$

$$\Rightarrow \Delta T = \frac{P \cdot t}{m \cdot c}$$

$$* P = 1 \cdot 10^3 \text{ W}$$

$$* t = 0,10 \text{ s}$$

$$* m = \rho \cdot V$$

$$* \rho = 10,2 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$$

$$* V = A \cdot d = 8,0 \cdot 10^{-6} \cdot 0,30 \cdot 10^{-3} = 2,4 \cdot 10^{-9} \text{ m}^3$$

$$\Rightarrow m = 2,448 \cdot 10^{-5} \text{ kg}$$

$$* c = 0,26 \cdot 10^3 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$$

$$\Rightarrow \Delta T = 1,6 \cdot 10^4 \text{ }^\circ\text{C}$$

i) Er geldt:

$$Q_{\text{toevoer}} = Q_{\text{opwarmen}}$$

$$* Q_{\text{toevoer}} = P \cdot t$$

$$* Q_{\text{opwarmen}} = Q_{\text{molybdeen}} = m \cdot c \cdot \Delta T$$

$$\Rightarrow P \cdot t = m \cdot c \cdot \Delta T$$

$$\Rightarrow m = \frac{P \cdot t}{\Delta T \cdot c}$$

$$* P = 1,0 \cdot 10^3 \text{ W}$$

$$* t = 0,10 \text{ s}$$

$$* \Delta T = 2400 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$* c = 0,26 \cdot 10^3 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$$

$$\Rightarrow m = 1,6 \cdot 10^{-4} \text{ kg}$$

De warmte moet dus over  $1,6 \cdot 10^{-4} / 2,448 \cdot 10^{-5} = 6,5$  keer zoveel massa worden verdeeld.

Hoe breed is de focus?

Ga eens uit van  $A = \frac{1}{4} \pi \cdot d^2 = 8 \text{ mm}^2$  dan is  $d$  gelijk aan 3,19 mm.

Er geldt:

$$s = v \cdot t$$

$$* s = 6,5 \cdot 3,19 = 2,07 \cdot 10^{-2} \text{ m (langs de cirkelbaan)}$$

$$* t = 0,10 \text{ s}$$

$$\Rightarrow v = 0,207 \text{ m/s (baansnelheid)}$$

$$v = \omega \cdot r$$

$$* v = 0,207 \text{ m/s}$$

$$* r = 6,0 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$\Rightarrow \omega = \frac{0,207}{0,10} = 3,5 \text{ rad/s (33 rpm)}$$

- j) Er zijn drie vormen van warmtetransport: stroming, straling en geleiding. De focus wordt gloeiend heet (zo'n 2400 °C) zodat er veel warmtestraling zal ontstaan. Deze warmtestraling verhit de behuizing die veelal met water of olie gekoeld is. Via geleiding zal de focus warmte afvoeren naar de rest van het anodemateriaal. De anode staat via de aandrijfjas ook weer in contact met de behuizing. Doordat er meer warmte aan de anode wordt toegevoerd dan dat gelijktijdig kan worden afgevoerd wordt de anode alsmaar warmer. Een anode mag niet warmer worden dan een bepaalde kritische waarde anders wordt het risico dat de ring die de focus beschrijft over de anode gaat smelten, of de anode als geheel gaat vervormen. Koeling is dus een belangrijk ontwerpaspect van röntgenapparatuur. Bij een CT-scanner worden meerdere röntgenopnamen snel achter elkaar gemaakt. Daar een patiënt niet lang roerloos kan liggen kun je niet telkens wachten totdat de anode weer is afgekoeld.
- k) Een röntgenfoto geeft het scherpste beeld als de focus puntvormig is. Dit is vergelijkbaar met het werpen van schaduwen door een puntvormige lichtbron en een ruimtelijk uitgebreide lichtbron. Hoe groter een lichtbron, hoe meer last je krijgt van halfschaduw.
- l) Een kleinere belichtingstijd heeft als voordeel dat onscherpte ten gevolge van beweging kleiner is. Bij thoraxopname bijvoorbeeld kun je het hart niet even stil zetten, zodat trillingen ten gevolge van het kloppen van het hart de opname onscherp kunnen maken. Een kleinere belichtingstijd heeft als nadeel dat de stralingsintensiteit hoger moet zijn hetgeen de belasting voor de anode groter maakt. Dezelfde hoeveelheid energie wordt door de anode geabsorbeerd, maar in de kortere tijd kan er minder energie worden afgevoerd waardoor deze heter wordt naarmate de belichtingstijd korter is.
- m) Bij beide technieken wordt een afbeelding gemaakt met behulp van röntgenstraling. Een gewone röntgenopname is een tweedimensionale opname die net als een gewone foto wordt genomen. Een CT-scan maakt echter vele röntgenopnamen achter elkaar en wel vanuit de zijkant van steeds andere hoeken en rekent deze met behulp van computeralgoritmen om tot een tweedimensionale doorsnede. Om een idee te krijgen van hoe dit werkt kijk eens naar *beide* onderstaande filmpjes.  
[Link naar filmpje 1](#) <sup>1)</sup>  
[Link naar filmpje 2](#) <sup>2)</sup>



- n) Shrapnel zijn metallische achterblijfselen in het lichaam van bijvoorbeeld explosies. Een MRI-scanner werkt met een magneetveld waardoor deze metallische stukken in beweging zouden kunnen komen en inwendige verwondingen zouden kunnen veroorzaken. Daar een CT-scanner niet met magneetvelden werkt treedt dit risico bij dit type beeldvormende techniek niet op.