

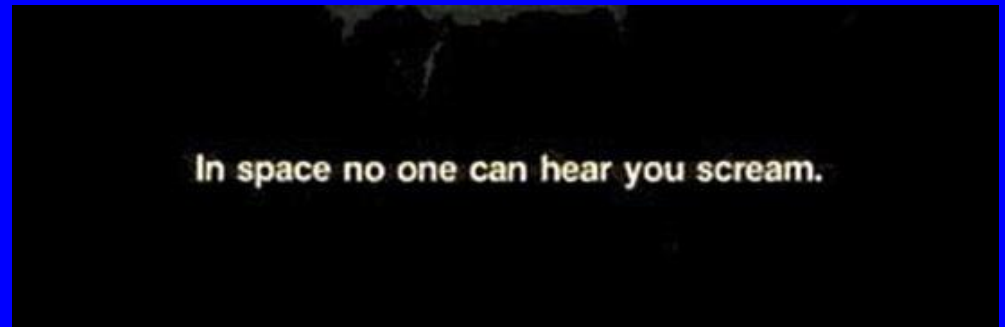
Definitie van straling (algemeen):

Elke overdracht van energie vanuit een bron naar de omgeving zonder dat hiervoor een medium nodig is.

Elke overdracht van energie vanuit een bron naar de omgeving zonder dat hiervoor een medium nodig is

Geluid

Vacuum:



Voorbeeld
Vacuum:



Carbid = calciumcarbide (CaC_2)



Carbid 'schieten'

- Carbid vochtvrij bewaren doet 'niets'
- Carbid + water \rightarrow acetylene gas
- Acetylene gas (under pressure) + fire



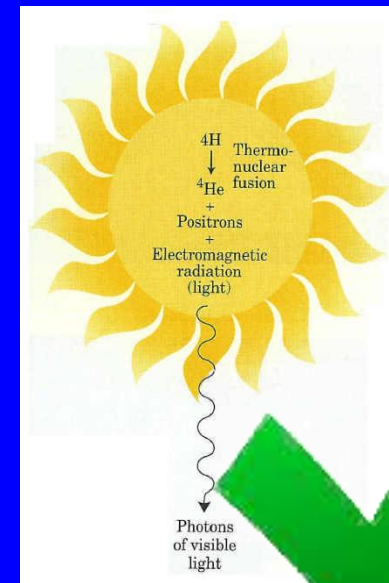
Zonnestraling → fotonen (als zichtbaar licht)

Straling = elke overdracht van energie vanuit een bron naar de omgeving
zonder dat hiervoor een medium nodig is

Geluid in vacuüm:



Carbid 'solo':



Stralingsvormen

Deeltjes (straling uit radioactieve stoffen)

- α -straling (heliumkernen ${}^4_2\text{He}$)
- β^- - en β^+ -straling (${}^0_{-1}$ en 0_1)
- neutronen (${}^1_0\text{n}$)
- protonen (${}^1_1\text{p}$)

Golven (e.m. straling)

- radiogolven
- (zichtbaar) licht
- warmtestraling
- röntgenstraling
- γ -straling

Eigenschappen deeltjes(straling)

- hebben een bepaalde massa ($e^- \rightarrow 9,1 \times 10^{-31}$ kg)
- sommige deeltjes (o.a. α en β) hebben een elektrische (+ of -) lading en derhalve een bepaalde '*dracht*' (= indringdiepte in materie)
- heeft een bepaalde (kinetische) energie
- is per definitie 'ioniserend'(!)

Eigenschappen elektromagnetische straling:

- plant zich, met een bepaalde golflengte (λ) en frequentie (f), als een golf met de lichtsnelheid ($c = 3 \times 10^8$ m/s) voort; $c = \lambda \times f$
- heeft bepaalde hoeveelheid energie ($E = h^* \times f$)
- heeft geen (rust)massa
- heeft geen elektrische lading (\rightarrow geen 'dracht')
- kan wel of niet schadelijk c.q. 'ioniserend' zijn (zie later)

* $h = 6,63 \times 10^{-34}$ J.s (constante van Planck)

Waarom kan röntgenstraling wél schadelijk zijn voor ons lichaam en is andere elektromagnetische straling (bijvoorbeeld radio- en lichtgolven) dat niet?

Beschouwing \rightarrow radiogolven!

- Wat is ongeveer de uitzendfrequentie van de verschillende radiozenders?
- $f \approx \dots$ MHz (zenders Q-music, Radio 10, Radio Noord)
- $c = \lambda \times f \rightarrow \lambda = c/f \rightarrow$ de golflengte is dan ...
- $E_{\text{foton}} = h \times f \rightarrow$ de energie bedraagt dan ... J
- N.B. Liever werken we met het aantal eV ...

‘Radiogolven’

- Wat is ongeveer de uitzendfrequentie van de verschillende radiozenders?
- $f \rightarrow$ rond 100 MHz (= 10^8 Hz)
- $c = \lambda \times f \rightarrow \lambda = c/f \rightarrow 3 \times 10^8 \text{ m/s} / 10^8 \text{ 1/s} = 3 \text{ m}$
- De golflengte van deze radiogolven bedraagt dus ongeveer 3 m
- N.B. Energie_{foton} is dan $E = h \times f = 6,63 \times 10^{-26} \text{ J}$

Zo'n getal zegt mij, en waarschijnlijk ook jullie, niets.

Waarom weten we liever het aantal 'eV'?

- In een röntgenbuis worden, bij een bepaalde buisspanning, de elektronen 'versneld' tot een hoeveelheid (k)eV $1 \text{ eV} \approx 1,6 \times 10^{-19} \text{ J}$
- Buisspanning (potentiaalverschil) van 70 kV geeft elektronen met een energie van 70 keV
- Bij maximale omzetting van deze energie in fotonen (röntgenstraling) worden er derhalve fotonen verkregen met een maximale E van 70 keV
- Let wel: 70 keV komt overeen met $\approx 1,1 \times 10^{-14} \text{ J}$
Ter herinnering vorige dia: $E_{\text{foton-radiogolf}} = 6,63 \times 10^{-26} \text{ J}$

Elektromagnetische straling

Golflengte (λ)	Frequentie (f)	Type
10 m-10 km	30 kHz -30 MHz	Radiogolven
1-10 m	30-300 MHz	Radio en TV
0,1-1 m	0,3-3 GHz	TV+satelliet
1-100 mm	3-300 GHz	Radar-/microgolven
780 nm-1mm	0,3-480 THz	IR
390-780 nm	480-770 THz	Zichtbaar licht
10-390 nm	$0,77-30 \cdot 10^{15}$ Hz	UV
1 pm-10 nm	$0,03-3 \cdot 10^{18}$ Hz	Röntgen-/gammastraling
0,01-1 pm	$3-300 \cdot 10^{18}$ Hz	Gammastraling

UV-straling →

$$\lambda = 100 \text{ nm } (= 10^{-7} \text{ m})$$

- $c = \lambda \times f \rightarrow f = c / \lambda \rightarrow 3 \times 10^8 \text{ m/s} / 10^{-7} \text{ m} \rightarrow$

$$3 \times 10^{15} \text{ Hz } (= 1/\text{s})$$

- $E = h \times f \rightarrow E = 6,63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^{15} = 2 \times 10^{-18} \text{ J}$

- E van $2 \times 10^{-18} \text{ J}$ is hoeveel eV? ($1 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ J}$)

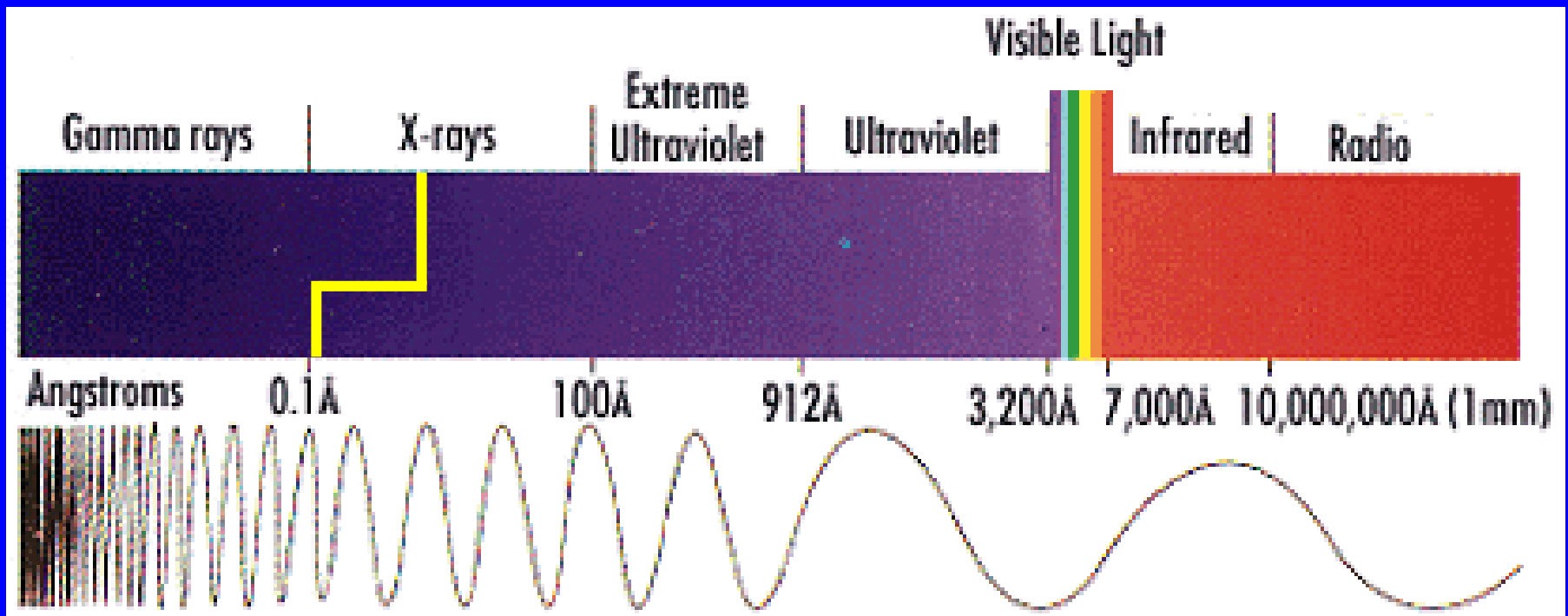
- Energie_{foton} is dan $12,5 \text{ eV}$ ($2 \times 10^{-18} \text{ J} / 1,6 \times 10^{-19} \text{ J/eV}$)

EM-straling

$$c = \lambda * f$$

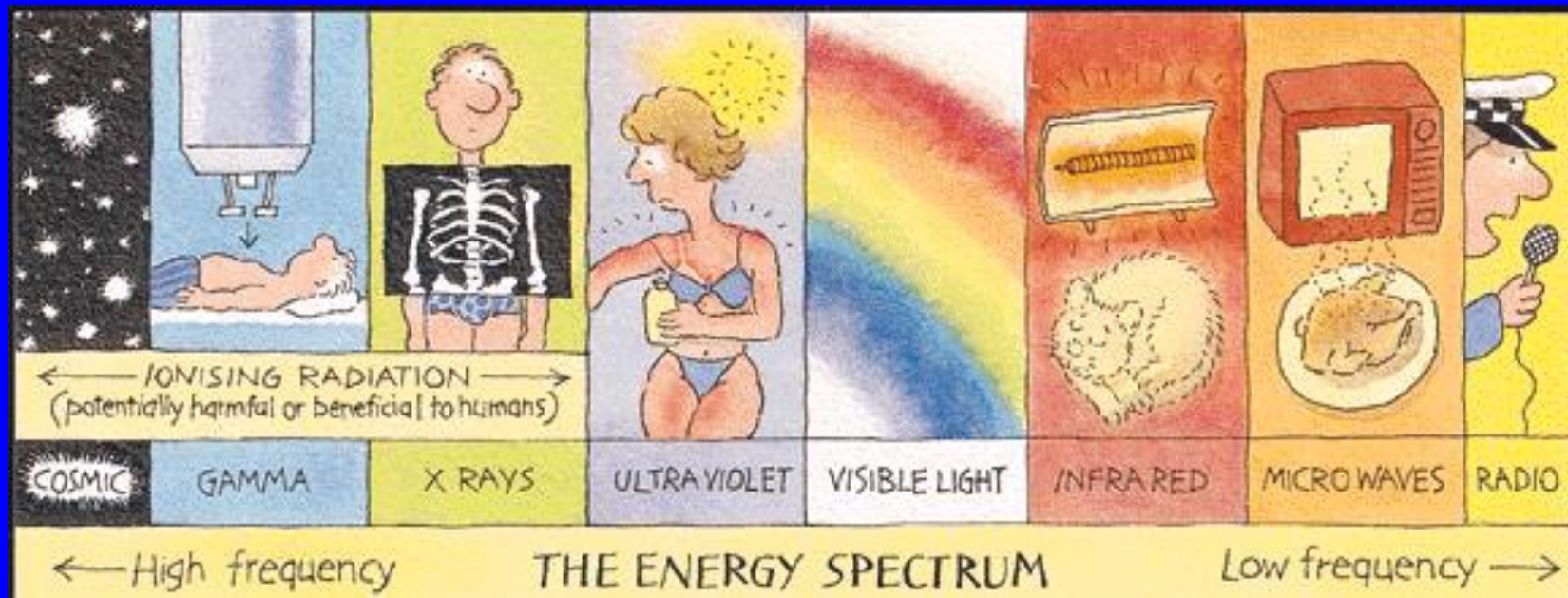
$$E = h * f \quad \text{X-rays} \rightarrow 62 \text{ kV}_{\text{max}} (\lambda = 2 \times 10^{-11} \text{ m})$$

N.B.: je hebt ook gammastraling met E van enkele tientallen keV's!



Samengevat (I)

- Elektromagnetische straling van ioniserende naar niet ioniserende straling (van li → re)
 - (praktijk) $>12,4 \text{ eV}$ ('dus' ioniserend)



Samengevat II

Onderverdeling van soorten straling

Straling

**Elektromagne-
tische straling**

Deeltjes



Niet-
Ioniserend

Radiogolven
Warmtestraling
Licht

Komt nauwe-
lijks voor

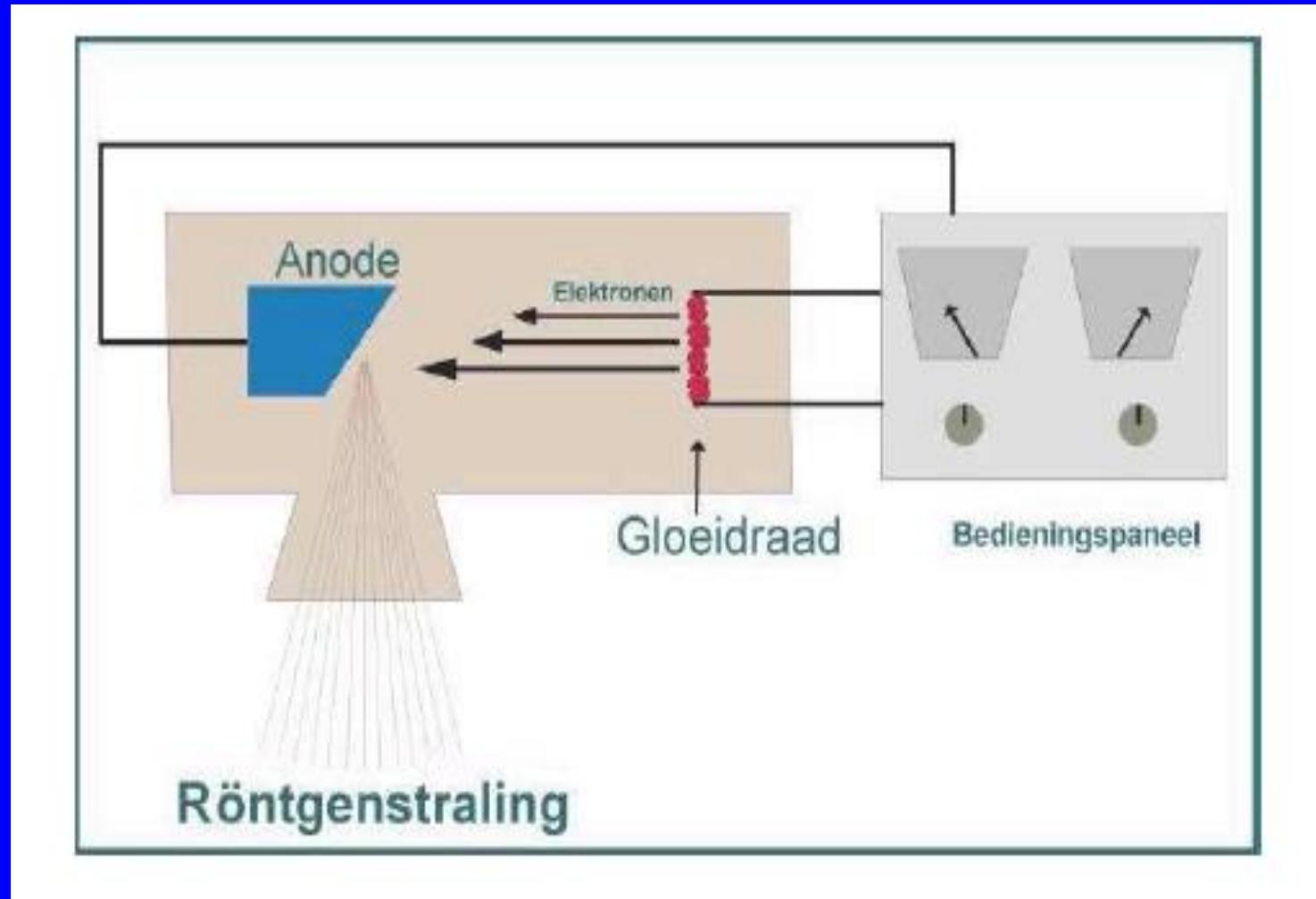
Ioniserend

Röntgenstraling
Gammastraling

α - en β -straling
Elektronen
Protonen en n

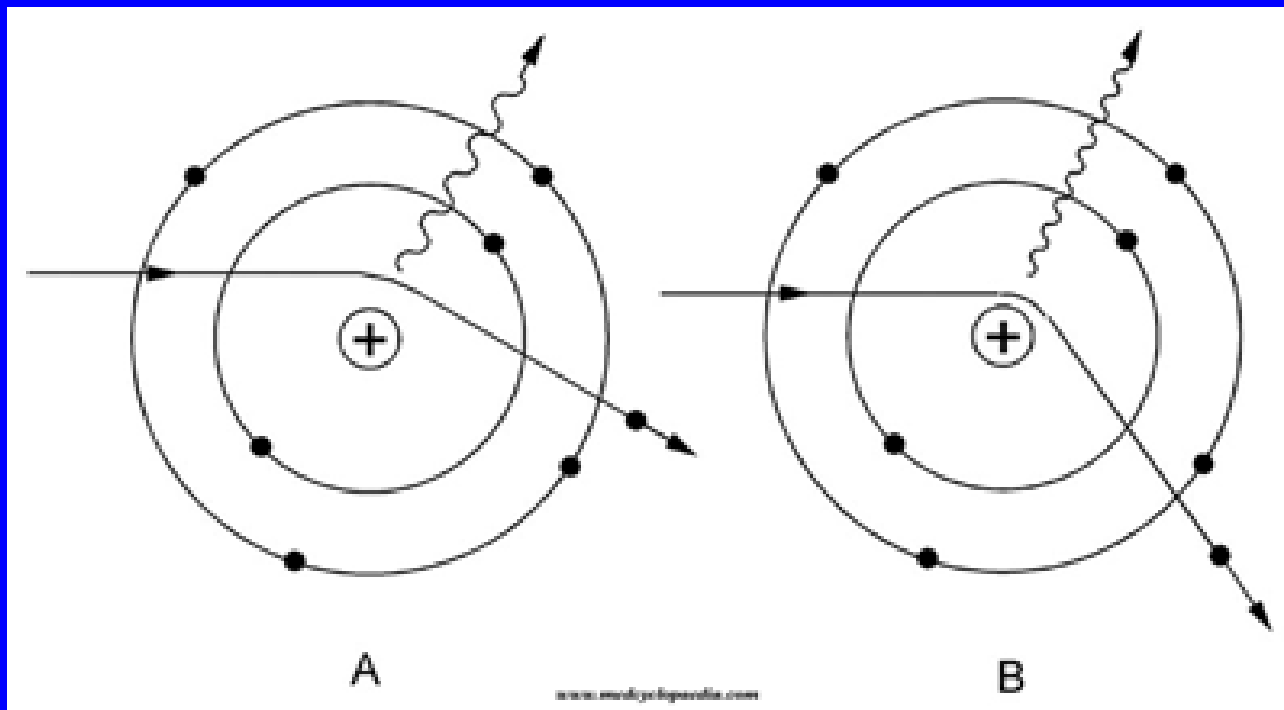
QUESTIONS?

Röntgenstraling (= remstraling = fotonen) ontstaat vanaf een 'buisspanning' van 12,4 V... (60-80 kV)



'Remstraling'

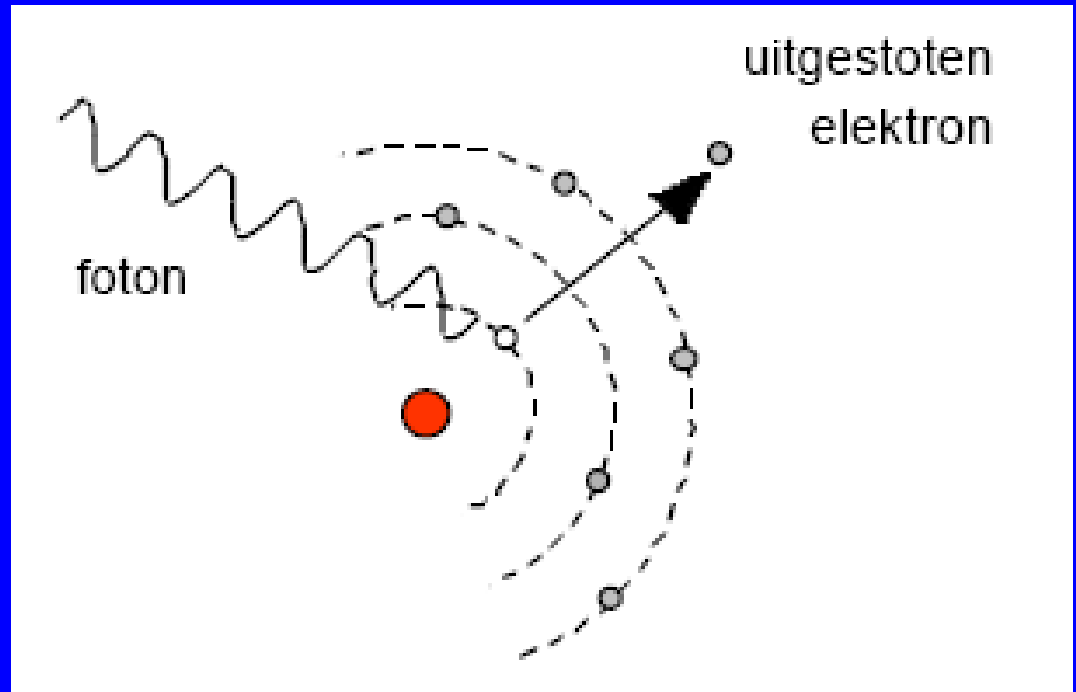
- Afhankelijk van de hoogte van de buisspanning (kV) ontstaat
 - Remstraling (A en B)
 - 'Karakteristieke straling' (specifiek voor het anodemateriaal)



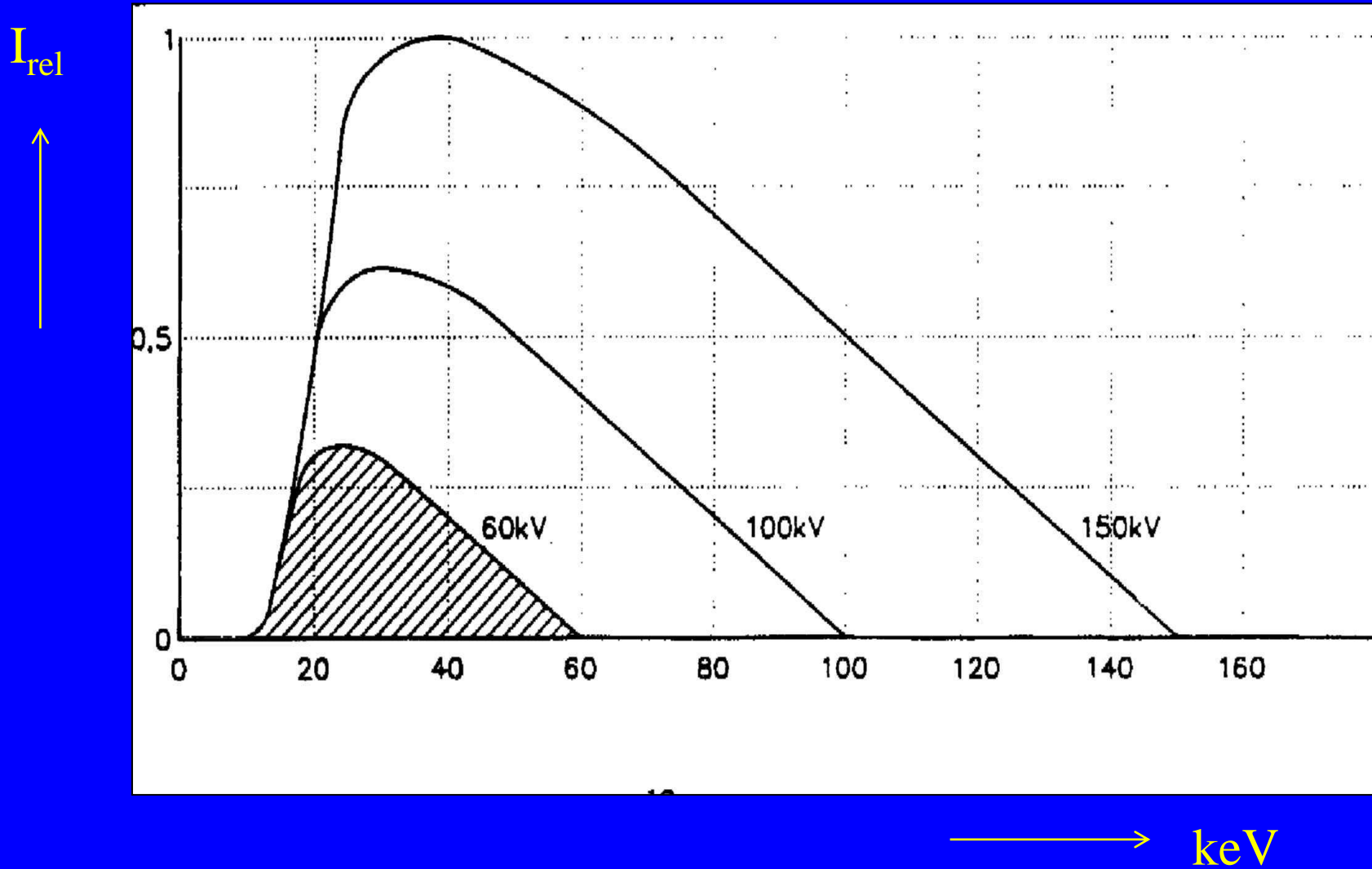
Röntgenstraling is altijd 'ioniserend' ($\rightarrow E_{\text{foton}} = 12,5 \text{ eV}$)

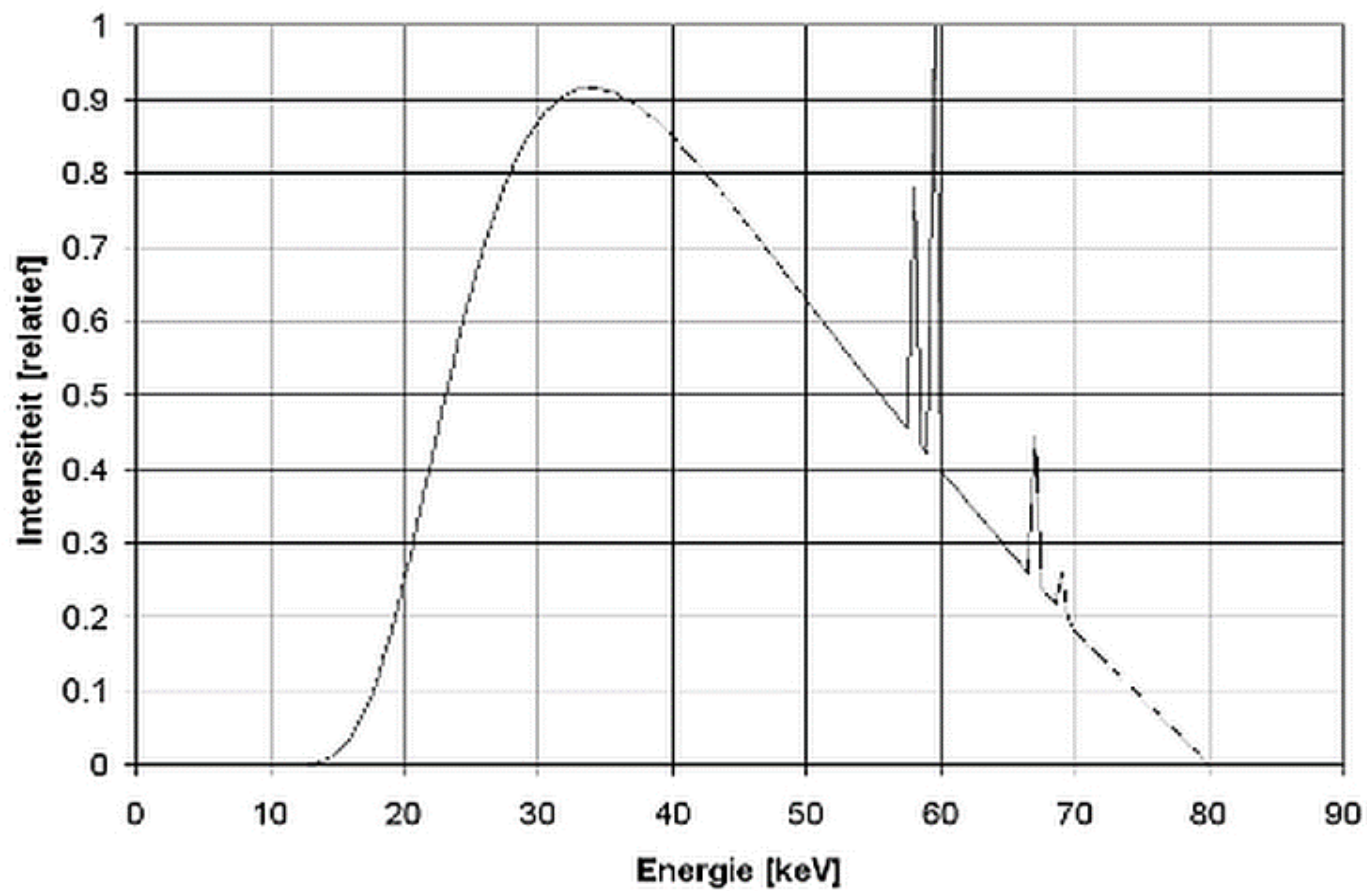
Let wel:

De bindingsenergie van een K-schil elektron van W ($Z=74$) is ongeveer 70 keV.



Intensiteitsverdeling van röntgenstraling uit een röntgenbuis, opgewekt met buisspanningen van respectievelijk 60, 100 en 150 kV (buisstroom 1 mAs)





Schematische voorstelling van het spectrum (remstraling en karakteristieke straling) van een röntgenbuis met een wolfram anode bij een buisspanning van 80 kV.

mAs-waarde?

- mAs = buislading ('lading' uitgedrukt in coulomb [C])
- de lading van 1 elektron $\approx 1,6 \times 10^{-19}$ C
- mA \cdot s [Remember? 1 A = 1 C/s \rightarrow 1 mA = 1 mC/s]
- mA ingevuld \rightarrow mC/s \cdot s = **mC**

$$1 \text{ C} = \frac{1 \text{ C}}{1,6 \times 10^{-19} \text{ C/elektron}}$$

$\rightarrow 1 \text{ C} \approx 6 \times 10^{18}$ elektronen

Vraag: wat zijn de mAs-waardes bij de *bitewing* en de OPG opnames?

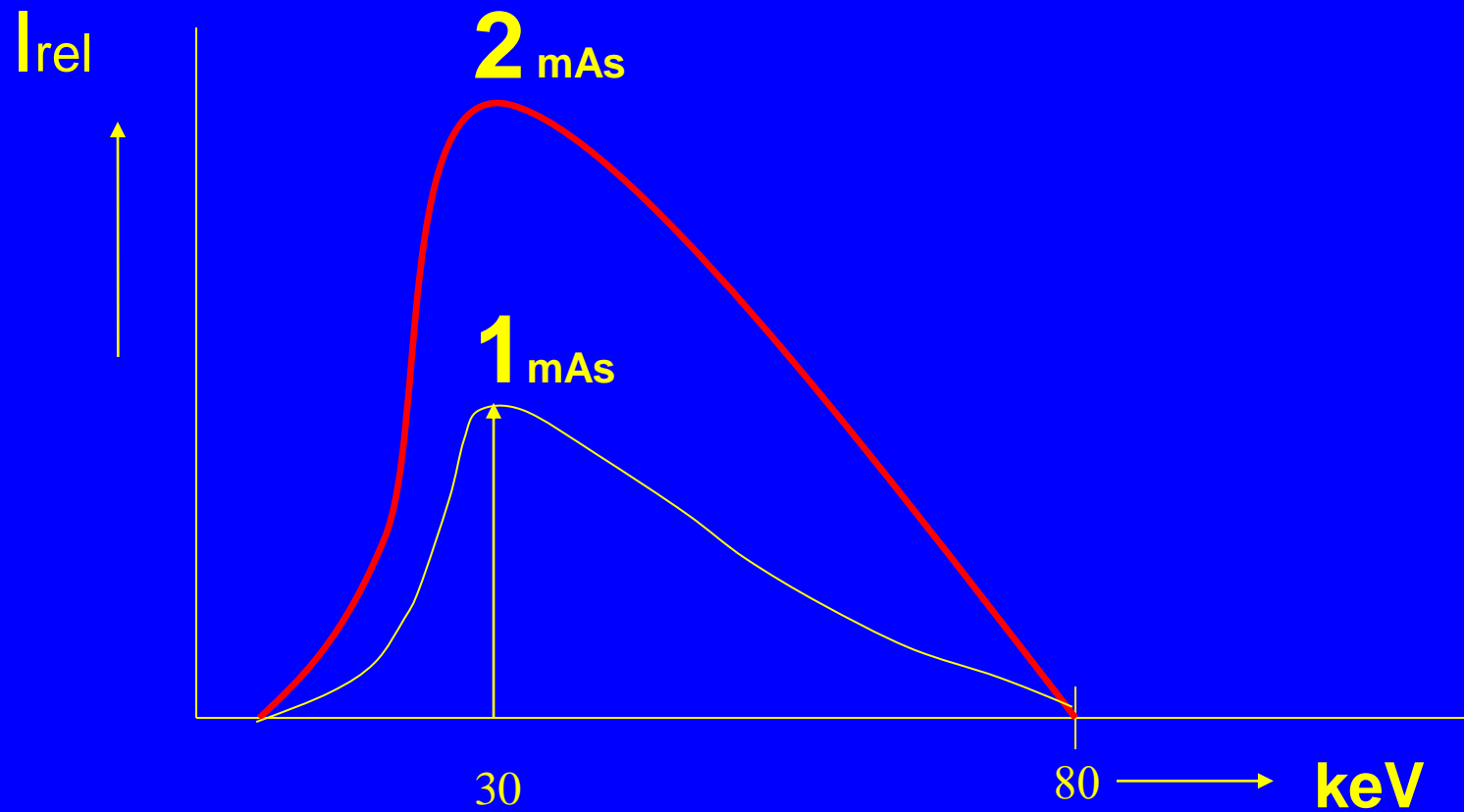
Bitewing: 60 kV- 8 mA – 0,16 s

→ 1,3 mAs

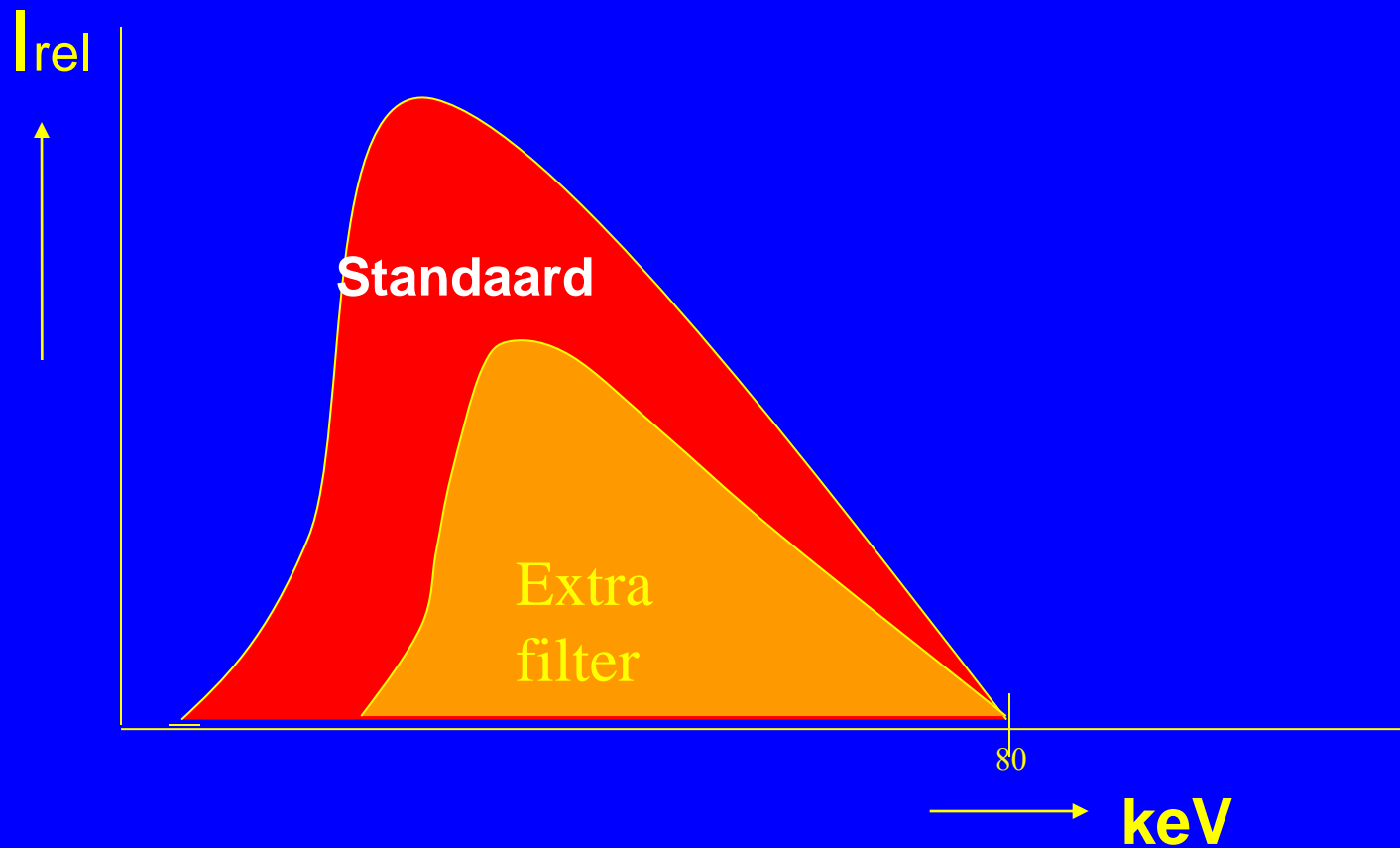
OPG: 70 kV - 7 mA - 13 s

→ 91 mAs

Continu spectrum [mA(s)]



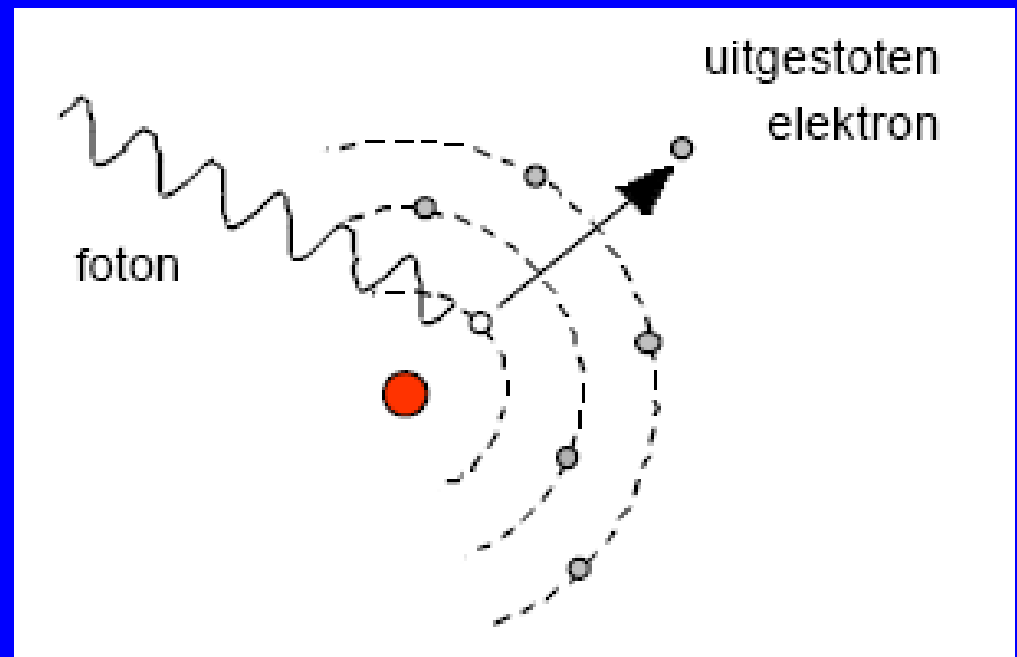
Invloed van de filtrering van een röntgenbundel op de *kwantiteit* en de *kwaliteit* van de straling



Wisselwerking straling – ‘materie’

- 1) Foto-elektrisch effect (‘foto-effect’ → beeldvorming)
 - overheerst bij zachte straling (.....)
 - sterk afhankelijk van Z (.....)

$$E_{\text{foton}} = h \times f \quad [\text{J}]$$



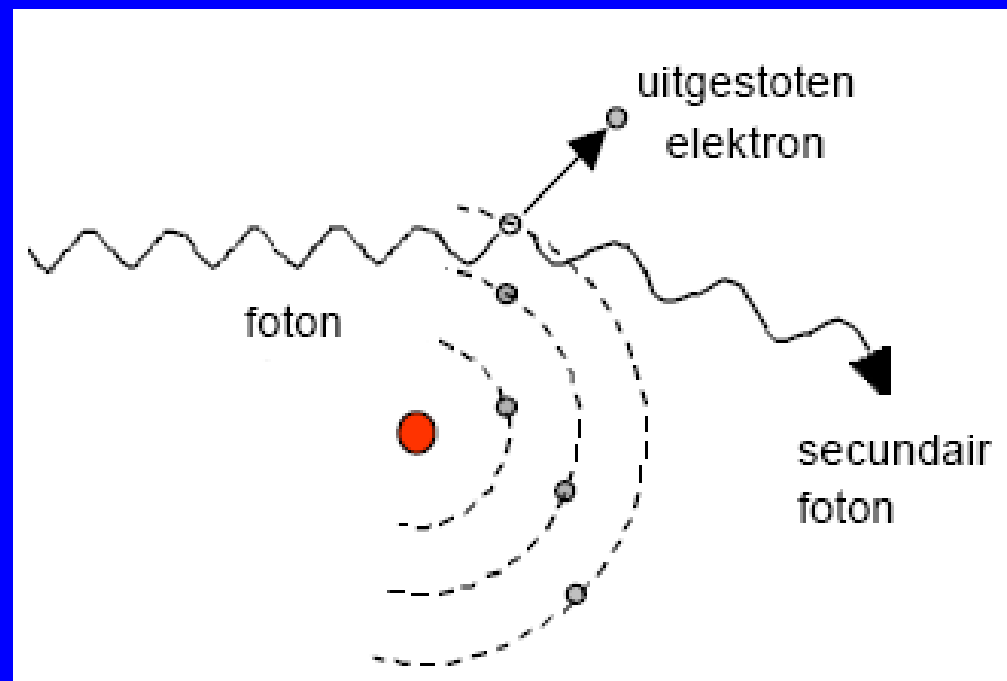
Wisselwerking straling – ‘materie’

- 2) Compton-effect (= alleen maar ‘lastig/vervelend’)
 - weinig afhankelijk van Z
 - secundaire foton is de stroostraling

$$E_{\text{primair foton}} = h \times f_1$$

$$E_{\text{secundair foton}} = h \times f_2$$

$$\text{Let wel: } f_{\text{sec. foton}} < f_1$$



Have a seat Kermit. What I'm about to tell you might come as big shock...



Wat nog rest te vertellen...

- Grootheden en eenheden
- Dosis (definities/verschillende begrippen)

- Grootheden en eenheden

- Exposie(tempo)

- Kerma(tempo)

- Dosis(tempo)

- Equivalente dosis

- Effectieve dosis

Grootheden en eenheden

Grootheid	Eenheid	
Exposie	R	C/kg
Kerma <i>'Kinetic energy released in material'</i>	Gy	J/kg
Geabsorbeerde dosis (D)	Gy	J/kg
Equivalentente dosis (H)	Sv	
Effectieve dosis (E)	Sv	

Exposie (definitie)

Hoeveelheid lading van één teken (in C) die per eenheid van massa in lucht wordt vrijgemaakt.

$$X = \frac{\Delta Q}{\Delta m}$$

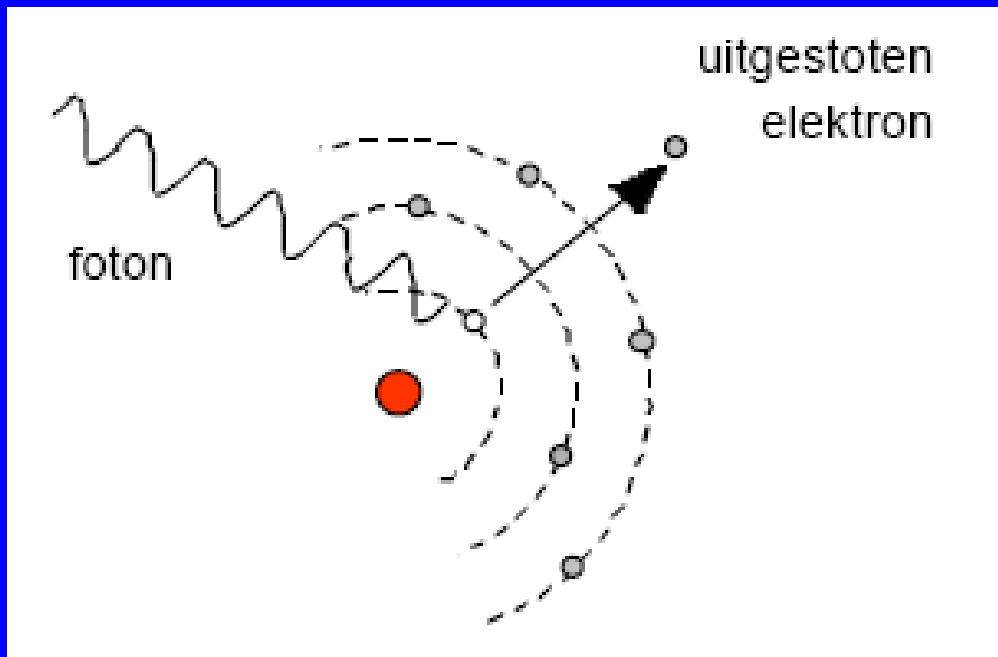
- 1 elektron heeft een lading van $1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$
- een stroomsterkte van 1 Ampère = $1 \text{ C/s} \rightarrow 1 \text{ (m)As} = 1 \text{ (m)C}$
- bij een lading van 1 C zijn er derhalve $1 \text{ C} / 1,6 \times 10^{-19} \text{ C/e} \rightarrow 6,25 \times 10^{18}$ elektronen door fotonen vrijgemaakt.
- 1 R komt overeen met $2,58 \times 10^{-4} \text{ C/kg}$

Kerma (definitie)

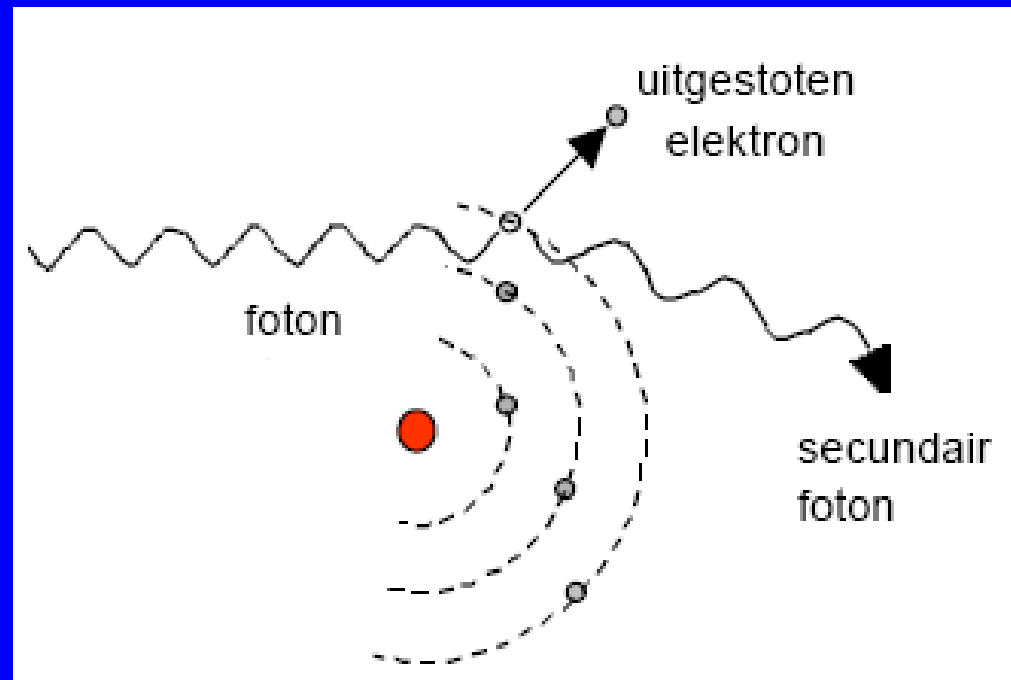
- Kinetische energie ‘vrijgelaten’ in materie.

$$K_{\text{air}} = X \times \frac{W}{e} \times \frac{1}{1 - g}$$

- X = exposie
- W/e = quotiënt van de gemiddelde energie nodig voor de vorming van 1 ionenpaar in lucht en een elementair lading (= 33,97 J/C \rightarrow \approx 34 eV)
- g = fractie van de kinetische energie van de geladen deeltjes omgezet in remstraling



Remstraling ontstaat als in deze situaties het vrijgekomen elektron niet wordt geabsorbeerd, maar in wisselwerking gaat in de nabijheid van de kern van het atoom



Dosis (definitie)

Geabsorbeerde energie per eenheid van massa

$$D = \frac{\Delta E}{\Delta m}$$

- D = dosis (J/kg) in gray (Gy → fysicus Gray: 1905-1965)
- ΔE = de geabsorbeerde energie van de elektronen
- Δm = de massa in kg



Relatie dosis \rightarrow kerma

- Indien er ‘elektronenevenwicht’ heerst in de aangestraalde materie dan is de geabsorbeerde dosis gelijk aan de kerma.

- Praktisch is de samenhang als volgt:

$$D = K_x (1-g)$$

g = de fractie van de elektronenenergie die omgezet wordt in remstraling (‘verdwijnt’)

..... maar

- De geabsorbeerde dosis is een fysische grootheid en geeft (te) weinig informatie over de biologische effecten en derhalve over het risico c.q. de schade van een bepaalde hoeveelheid geabsorbeerde dosis straling
- De fysicus Sievert (1896-1966) vroeg zich af of een bepaalde hoeveelheid geabsorbeerde energie van alle soorten straling hetzelfde effect gaf...

... nee dus ...



Equivalente dosis [H*(10)]

→ gedefinieerd in een orgaan/weefsel

Deze dosis hangt af van:

- de dosis in het betreffende orgaan/weefsel
- de stralingsweegfactor W_r → welke afhangt van de soort straling

Stralingsweegfactoren (W_r)

Gy \rightarrow Sv

Effect hangt af van:

- Soort / karakter
- Stralingsenergie

X-Bite-wing en OPG:

geabsorbeerde

=

equivalente dosis

Soort straling	W_r
Alfa	20
Bèta	1
Gamma	1
X-rays	1
Protons	5 - 15
Neutrons	5 - 20

Equivalente dosis (H_T)

$$H_T = D_T \cdot W_r$$

Equivalente dosis is de geabsorbeerde dosis keer de stralingsweegfactor (w_r)

(Let op: dosisconversiefactor bij lage E $\rightarrow \approx 1,7$ Sv/Gy!)

Unit H_T = Sievert (J/kg) \rightarrow in radiologie Gy = Sv

Sievert (J/kg) \neq Gray (J/kg)

..... en dan zijn we er bijna

Effectieve dosis (E)

→ gedefinieerd voor het hele lichaam!

Deze dosis hangt af van de equivalente dosis op het orgaan/weefsel en van de zogenaamde weefselweegfactor W_t [bijdrage t.o.v. het lichaam (1)]

- De gevoeligheid voor straling van alle weefsels is verschillend (bijv. longen, darmen = 0,12 en botoppervlak_{totaal} = 0,01)

Effectieve dosis (E)

Afhankelijk van:

- de W_r van de ioniserende straling en van de
- 'gevoeligheid' van het orgaan W_t

$$E = \sum w_r \cdot \sum w_t \cdot D_{T,R} \quad [\text{Sievert}]$$

Voorbeeld: bite-wing opname

- Stel: geabsorbeerde dosis is 1 mGy
- De equivalente dosis (H) is dan $\approx 1,7$ mSv;
- De effectieve dosis (E) bedraagt ongeveer 3 μ Sv

Conclusie:

- De W_t (bijdrage van de schade op het hele lichaam) is ‘slechts’ ongeveer 0,002

Bijna vergeten.....!

Vuistregels voor de hoeveelheid strooistraling bij bite-wing en OPG

- 1) maximaal 1 μSv op 1 m afstand van het verstrooiende vlak;
- 2) maximaal 1 ‰ van de huiddosis (= intreedosis) bij een veldoppervlak van 10 cm x 10 cm

Jaarlijks ontvangen effectieve dosis

Bronnen	Effectieve dosis (mSv/j)
• Radon (huizen)	0,65
• Bouwmaterialen	0,39
• ^{40}K (in lichaam)	0,30
• Kosmische straling	0,24
• Overig	0,03
• RD en NG	<u>1,00*₊</u>
<i>Totaal bevolkingsgemiddelde</i>	<i>2,61 mSv/j</i>

* waarde uit 2016-2018

How do you feel now?



QUESTIONS?

