



Fysische grondslagen radioprotectie deel 1

dhr. Rik Leyssen
Fysicus Radiotherapie
Limburgs Oncologisch Centrum
rik.leyssen@jessazh.be



Fysische grondslagen radioprotectie

Wat is straling?

Gevaarlijk?

Radioactiviteit?

Hoe mee omgaan in praktijk?

Bescherming?

=> Wetenschappelijke achtergrond



Wat is straling?

- **Dagelijks in aanraking (radio,gsm,...)**
- **Niet direct waarneembaar met menselijke zintuigen (horen, zien,...)**
- **Bepaald soort straling is schadelijk =>**

Schrik,angst!?

- **Vergelijk met autorijden**

=> Wetenschappelijke achtergrond



Fysische grondslagen radioprotectie

H1: INLEIDING

H2: STRALING - RADIOACTIVITEIT

**H3: WISSELWERKING TUSSEN
STRALING EN MATERIE**

H4: STRALINGSEENHEDEN EN GROOTHEDEN

H5: RADIOPROTECTIE IN DE PRAKTIJK



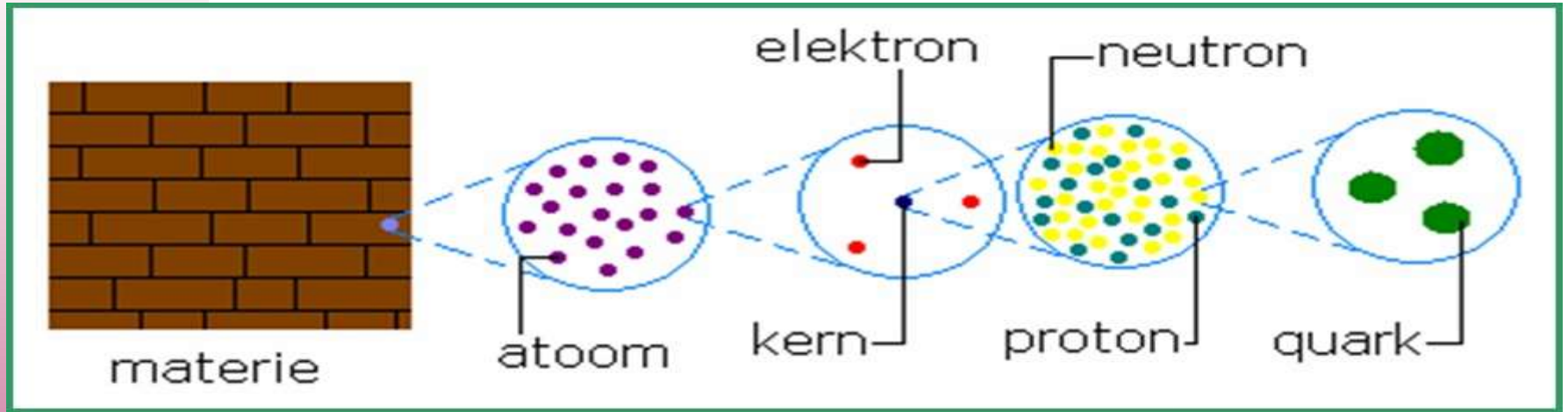
H1: INLEIDING

Straling:

- **Niet direct waarneembaar**
- **Oorsprong op “atomair” niveau**
- **1 miljardste meter = 1 nanometer**
(zelfde verhouding aarde - tennisbal)



H1: INLEIDING





H1: INLEIDING

WATER



MOLECULEN (H₂O)



ATOMEN (H, O)



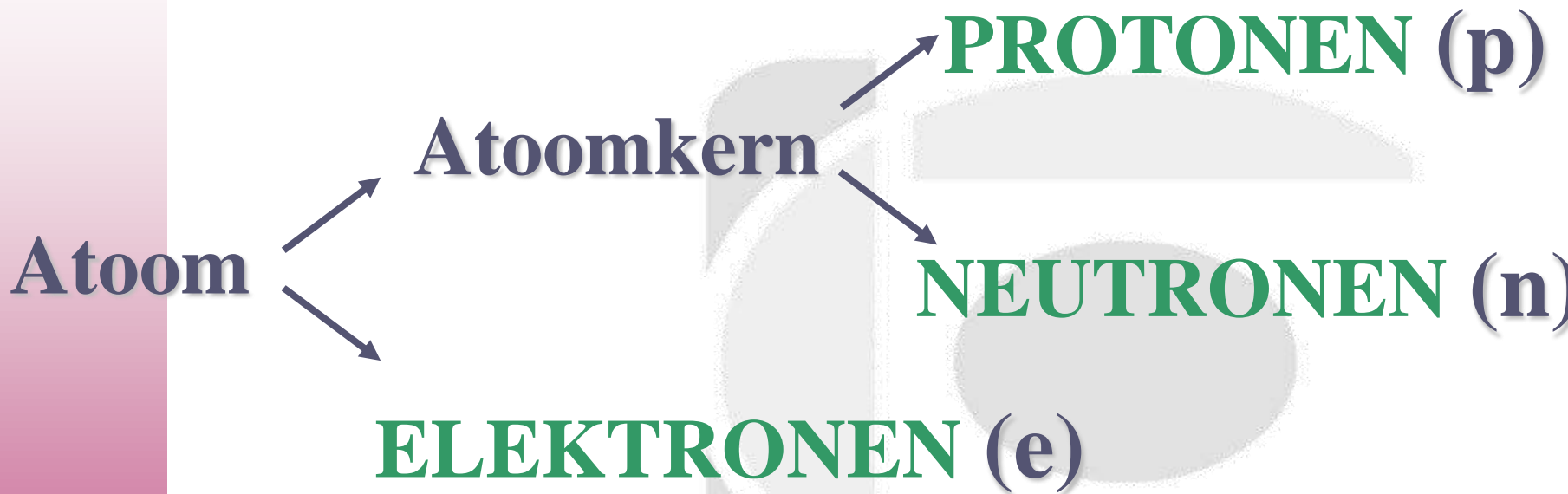
elementaire deeltjes (e, p, n)



...

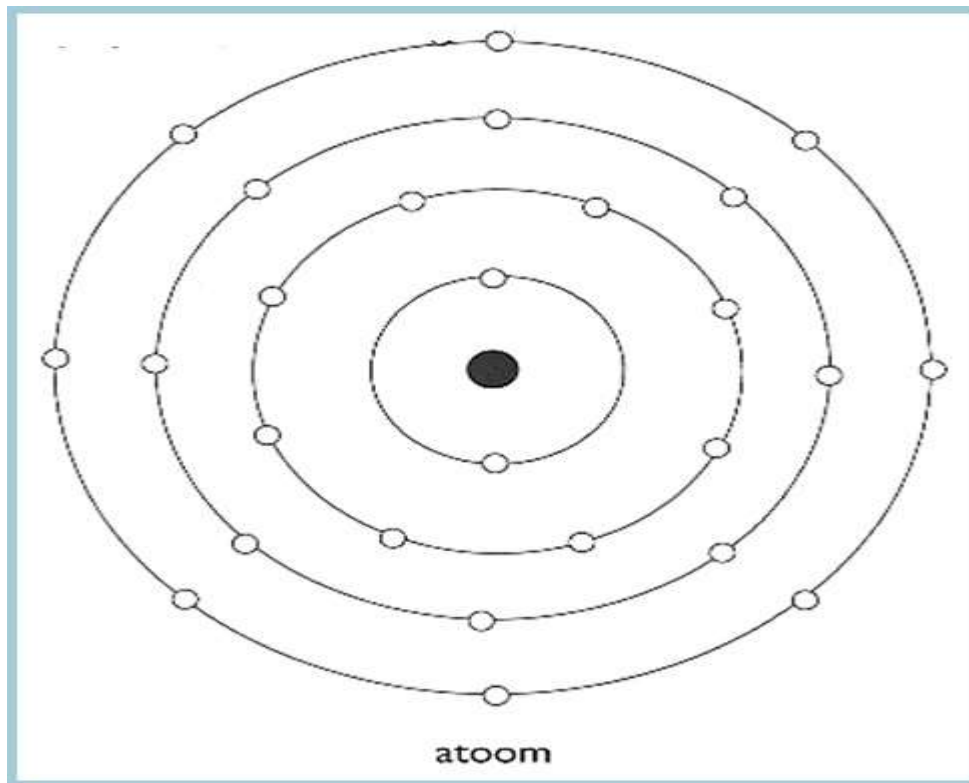


H1: INLEIDING





voorstelling atoomstructuur





voorstelling atoomstructuur





overzicht elementaire deeltjes

deeltje	rustmassa ^a	lading ^b
Proton (p)	1.0072765	+1
Elektron (e ⁻ , β ⁻)	0.0005486	-1
Neutron (n)	1.0086650	0
Positron (e ⁺)	0.0005486	+1
Foton	0	0

X 2000 →

^a amu = $1.67 \cdot 10^{-27}$ kg ^b e = $1.60 \cdot 10^{-19}$ C

!! > 99.9% van de massa zit in de kern !!



Samenstelling van het atoom

± 106 ≠ atoomsoorten (H, O, Tc, Po, ...)

massagetal
atoomnummer *Symbol*

$^{210}_{84}Po$

$^{56}_{26}Fe$

$^{16}_8O$



Samenstelling van het atoom

$\pm 106 \neq$ atoomsoorten (H, O, Tc, Po, ...)



atoomnummer (Z) = # protonen in de kern
(= *plaats in tabel van Mendeljev*)

massagetal (A) = totaal # deeltjes in kern
= # protonen + # neutronen



ISOTOPEN

gelijk # protonen \Rightarrow zelfde atoomsoort

verschillend # neutronen in de kern

vb: ^{208}Po 84 protonen en 124 neutronen

^{209}Po 84 protonen en 125 neutronen

^{210}Po 84 protonen en 126 neutronen



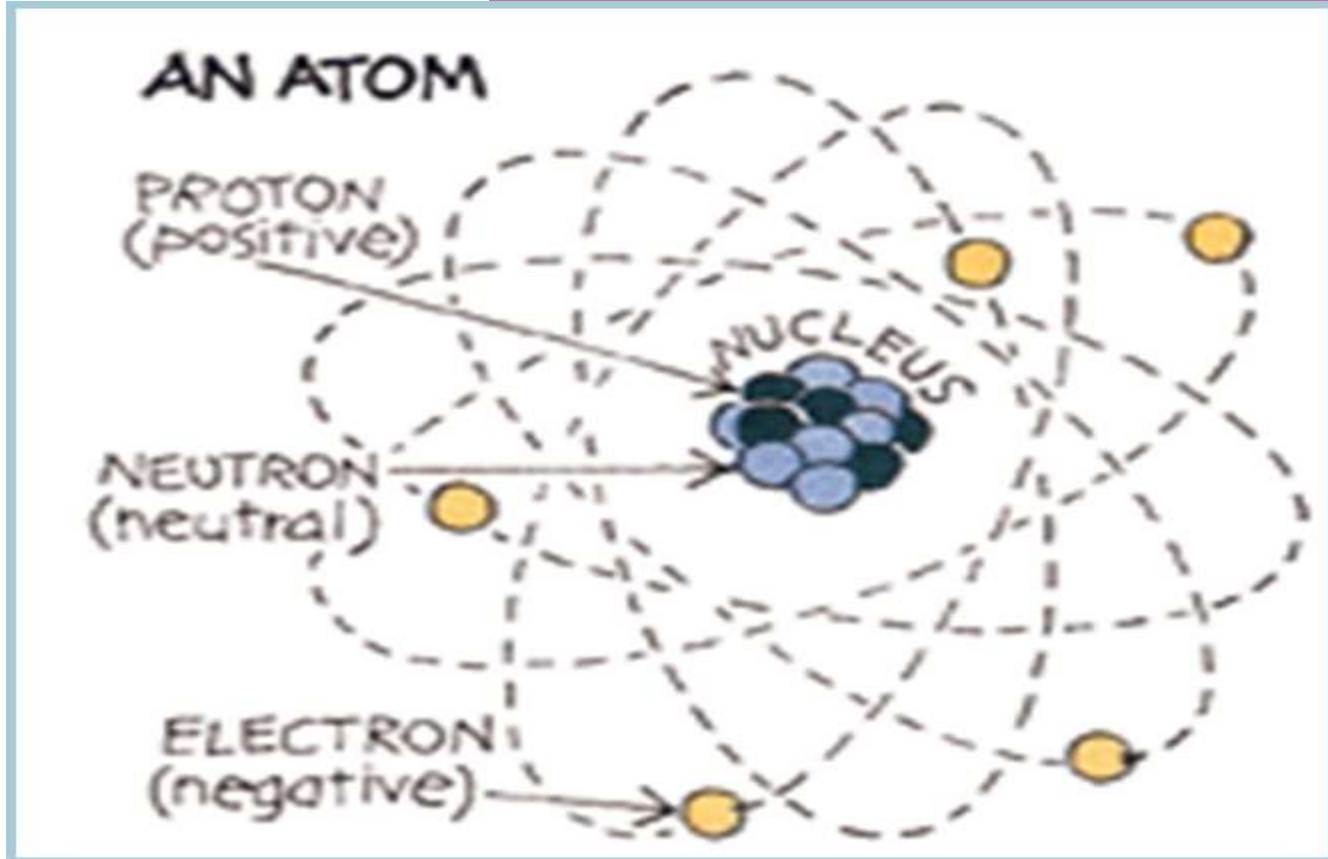
Samenstelling van het atoom

$\pm 106 \neq$ atoomsoorten (H, O, Tc, Po, ...)

Atoom is neutraal geladen
protonen = # elektronen



overzicht atoommodel





Fysische grondslagen radioprotectie

H1: INLEIDING

H2: STRALING - RADIOACTIVITEIT

H3: WISSELWERKING TUSSEN
STRALING EN MATERIE

H4: STRALINGSEENHEDEN EN GROOTHEDEN

H5: RADIOPROTECTIE IN DE PRAKTIJK



H2A: STRALING

- Wat is straling?

Vorm van energie-overdracht
zonder dat er direct contact is.



H2A: STRALING

- Wat is straling?

Vorm van energie-overdracht zonder dat er direct contact is.

- Energie:
beweging, warmte, kracht zetten,
breken,...
- Energie & contact: bal trappen



H2A: STRALING

- Wat is straling?

Vorm van energie-overdracht zonder dat er direct contact is.

- Zonlicht
- Infraroodverwarming
- Microgolfoven
- Röntgenstraling
- ...



H2A: STRALING

- Opdeling van straling:
 - Elektromagnetische straling en deeltjesstraling
 - Ioniserende straling en niet-ioniserende straling.



H2A: STRALING

Straling	Elektromagnetisch	Deeltjes
niet-ioniserend	radiogolven warmtestraling licht	komt nauwelijks voor
ioniserend	röntgenstraling γ -straling	α -straling β -straling protonen neutronen



H2A: STRALING

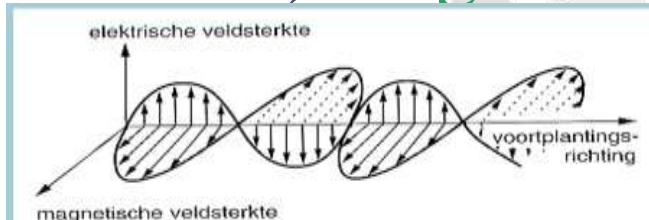
Straling	Elektromagnetisch	Deeltjes
niet-ioniserend	radiogolven warmtestraling licht	komt nauwelijks voor
ioniserend	röntgenstraling γ -straling	α -straling β -straling protonen neutronen



EM-STRALING

(Wetenschappelijk)

- vorm van **energietransport** wanneer een elektrische lading wordt versneld
- in de ruimte uitbreidende combinatie van een golfvormig **elektrisch** en **magnetisch** veld
- sinusvormige golven met een bepaalde **frequentie** (# trillingen per seconde) en **golflengte**





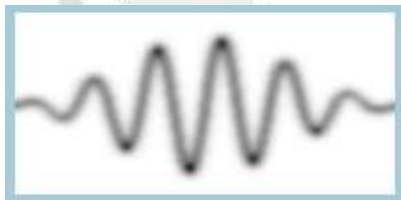
EM-STRALING

Deze vorm van energietransport stellen we voor de een **FOTON**.

Foton is “fictief” deeltje dat de energie overbrengt.

Bvb. Zon zendt warmtepakket uit (= foton)

Massa van foton is 0!





EM-STRALING

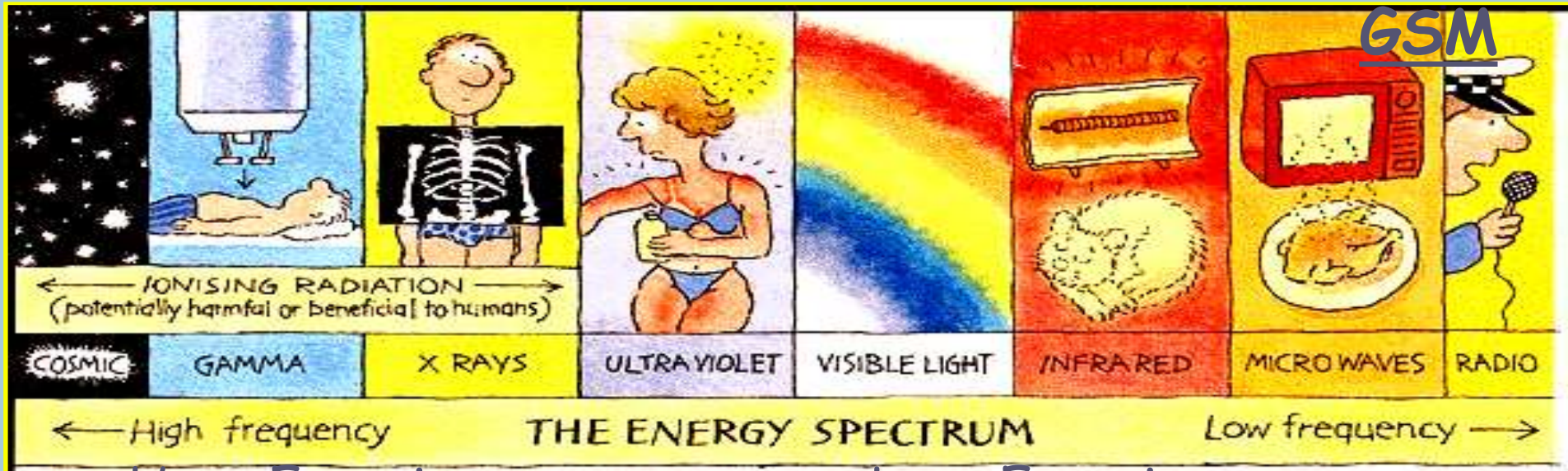
(Wetenschappelijk)

FOTON = aantal discrete verstoringen in de ruimte met een bepaalde energie E
= discreet pakketje (quantum) van EM energie

$$E_{\text{foton}} = hf \text{ (energie } \propto \text{ met frequentie)}$$



ELEKTROMAGNETISCH SPECTRUM



GSM

Hoge Energie

Lage Energie

Korte golflengte

Lange golflengte



DEELTJESSTRALING

Straling

niet-ioniserend

Elektromagnetisch

radiogolven

warmtestraling

licht

ioniserend

röntgenstraling

γ -straling

Deeltjes

komt nauwelijks voor

α -straling

β -straling

elektronen

protonen

neutronen



DEELTJESSTRALING

- Wat is straling?

Vorm van energie-overdracht zonder dat er direct contact is.

- Volgens “definitie” geen echte straling want energie overdracht gebeurt via deeltjes
- Waarom wel?
 - Vertoont eigenschappen van straling (kwantummechanica)
 - Historisch



DEELTJESSTRALING

Elementaire deeltjes: protonen, neutronen en elektronen:

- α -straling, twee protonen en twee neutronen
- β -straling, elektronen *of positronen*
- Neutronenstraling
- Protonenstraling



(Benaming is historisch)



IONISERENDE STRALING

Straling

Elektromagnetisch**Deeltjes**

niet-ioniserend

radiogolven

komt nauwelijks voor

warmtestraling

licht

ioniserend

röntgenstraling

α -straling

γ -straling

β -straling

elektronen

protonen

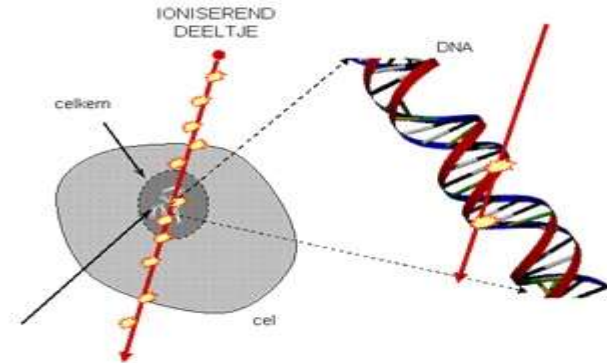
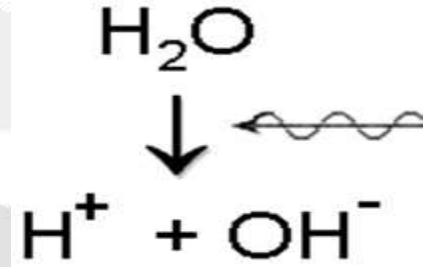
neutronen



IONISERENDE STRALING

= straling die in staat is *ionen* te vormen in materie
waarop ze valt

ION = atoom met te weinig of teveel e^-
= elektrisch geladen atoom





IONISERENDE E-M STRALING

Straling

Elektromagnetisch

Deeltjes

niet-ioniserend

radiogolven
warmtestraling
licht

komt nauwelijks voor

ioniserend

röntgenstraling
 γ -straling

α -straling
 β -straling
elektronen
protonen
neutronen



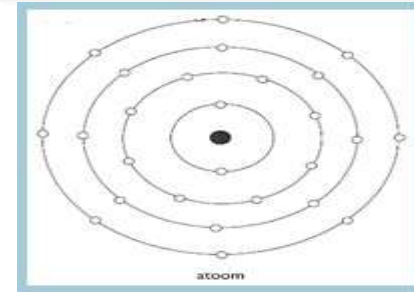
ioniserende (EM) straling

• γ -straling

- Oorsprong = verval van aangeslagen atoomkernen
- pure energie (1 energie)

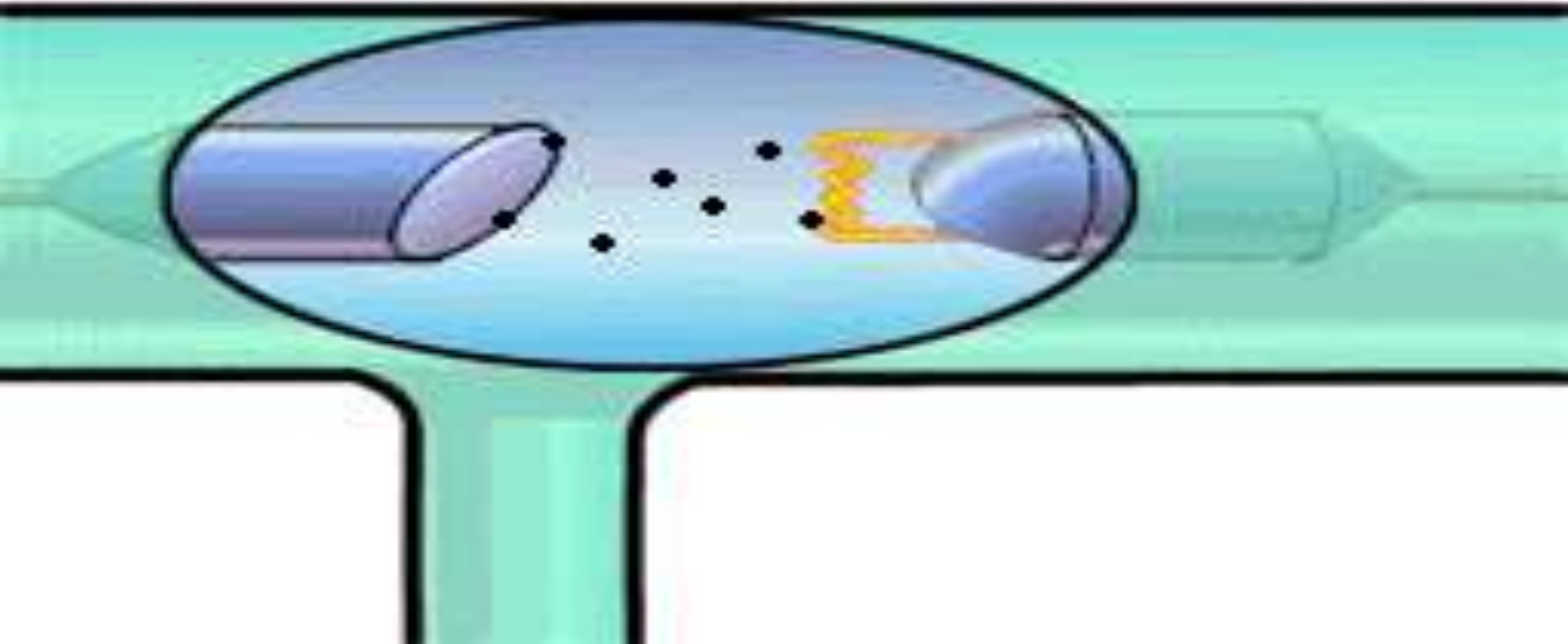
• röntgenstraling

- Oorsprong = interactie tussen elektronen en atomen
- Energie spectrum (meerdere energieën)





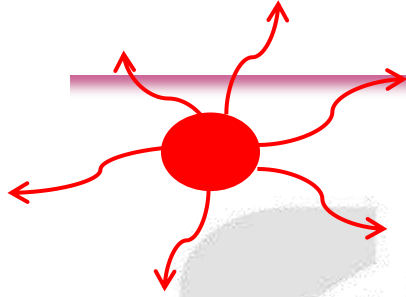
ioniserende (EM) straling



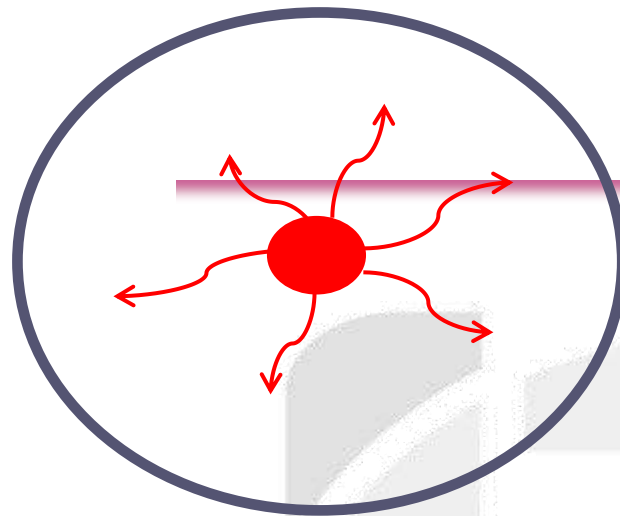


Belangrijke eigenschap van straling = Kwadratenwet.

**Hoe verder van de stralingsbron hoe minder straling => Logisch
Verband tussen intensiteit en afstand is
KWADRATISCH**



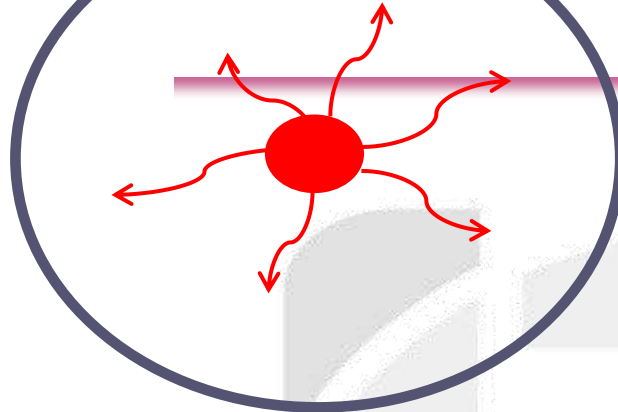
Stralingsbron zendt evenveel straling uit in alle richtingen (uniform)



Ieder punt op cirkel rondom stralingsbron krijgt evenveel straling

Stel dat er exact 10 personen langs elkaar kunnen staan in deze cirkel en stel dat de stralingsbron 100 stralingsdeeltjes uitzendt.

Dan krijgt iedere persoon 10 stralingsdeeltjes

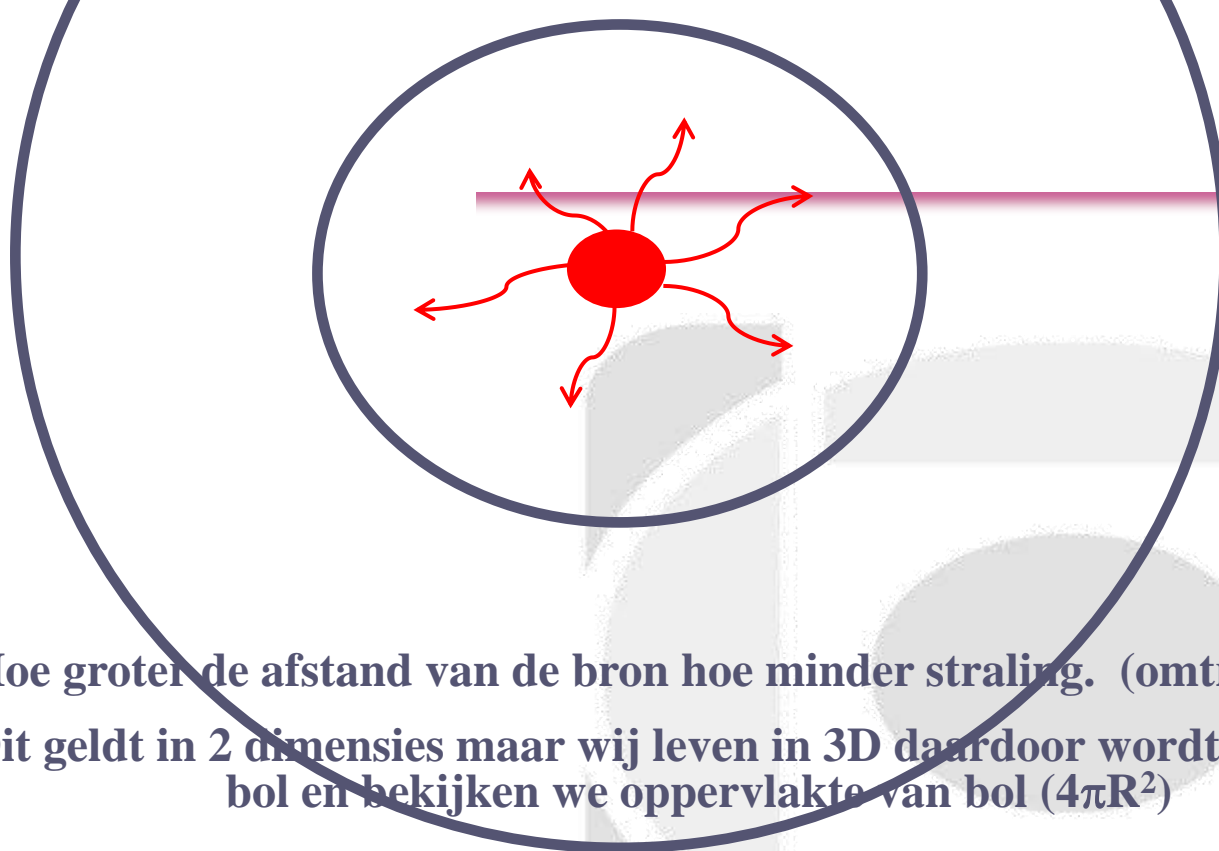


Ieder punt op cirkel rondom stralingsbron krijgt evenveel straling

Als we straal van cirkel verdubbelen dan kunnen er 20 personen op de grote cirkel $(2\pi R)$

Stralingsbron zendt 100 stralingsdeeltjes uit

Dan krijgt iedere persoon op grote cirkel 5 stralingsdeeltjes



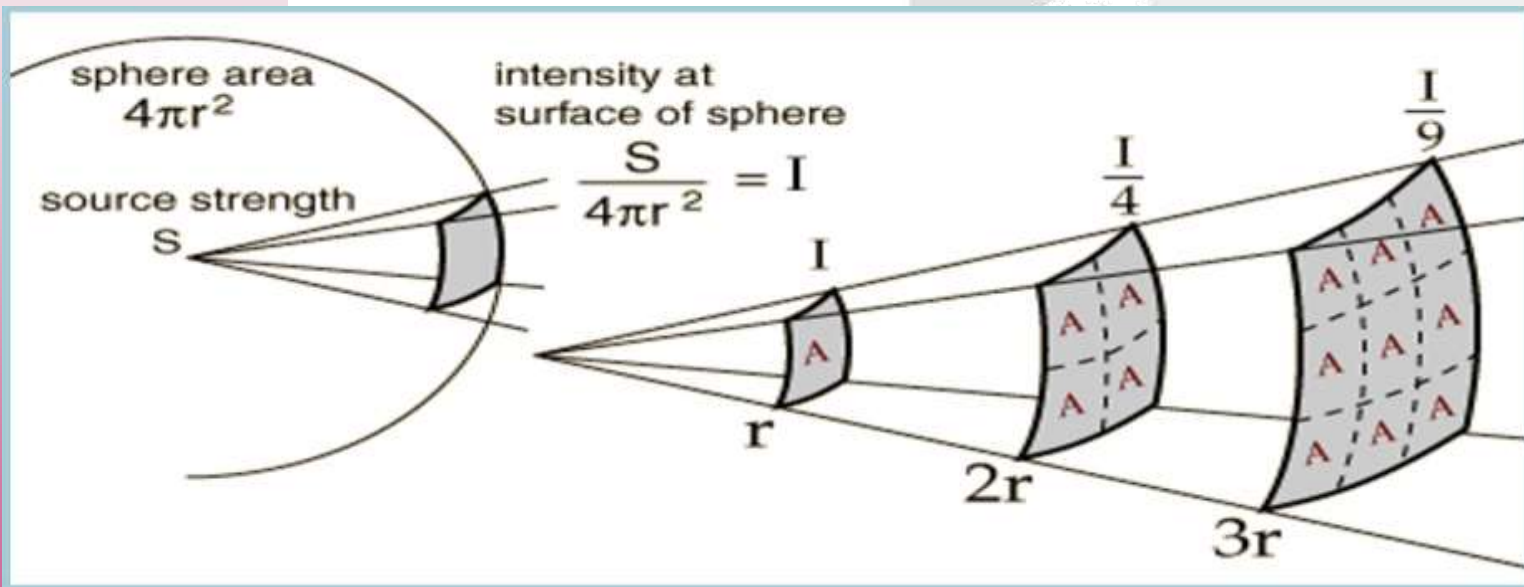
Hoe groter de afstand van de bron hoe minder straling. (omtrek cirkel)
Dit geldt in 2 dimensies maar wij leven in 3D daardoor wordt cirkel een
bol en bekijken we oppervlakte van bol ($4\pi R^2$)



Belangrijke eigenschap:

KWADRATENWET

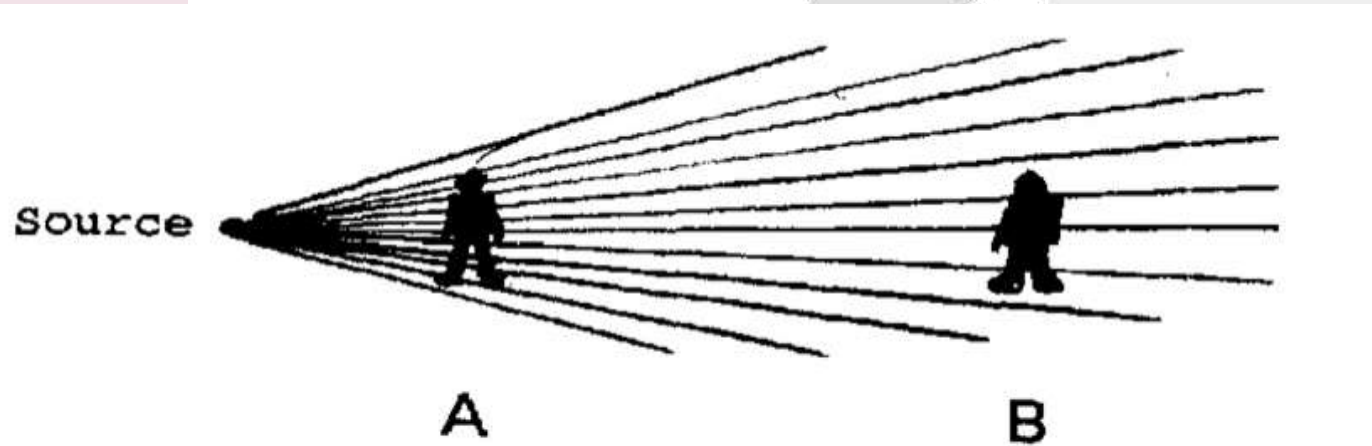
= intensiteit is omgekeerd evenredig met het kwadraat van de afstand





KWADRATENWET

= intensiteit ($\Delta E / \Delta t$) is omgekeerd evenredig met het kwadraat van de afstand



bv. als je 3x zover van de bron staat dan lijkt hij 9x zo zwak.



KWADRATENWET

= intensiteit ($\Delta E / \Delta t$) is omgekeerd evenredig met het kwadraat van de afstand

AFSTAND HALVEREN \Rightarrow DOSIS $\times 4$!!!

belangrijkste stralingsbescherming principes

♠ TIJD

♠ AFSCHERMING

♠ AFSTAND



Stralingsbescherming

Tijd, afscherming, afstand

Actie: radioactieve bron van punt A naar punt B verzetten. Actie duurt 10 seconden en bron straalt met 10 dosiseenheden per seconde.

Opgelopen dosis = $10 \cdot 10 = 100$ dosiseenheden

Wat als we afstand verdubbelen met bvb. lange pincet maar actie duur dubbel zo lang (20s)?

Opgelopen dosis = $10 \cdot 20 = 200$ dosiseenheden (langere tijd)
maar grotere afstand dus $2^2 = 4$ keer minder
= $200/4 = 50$ dosiseenheden



Fysische grondslagen radioprotectie

H1: INLEIDING

H2: STRALING - **RADIOACTIVITEIT**

H3: WISSELWERKING TUSSEN
STRALING EN MATERIE

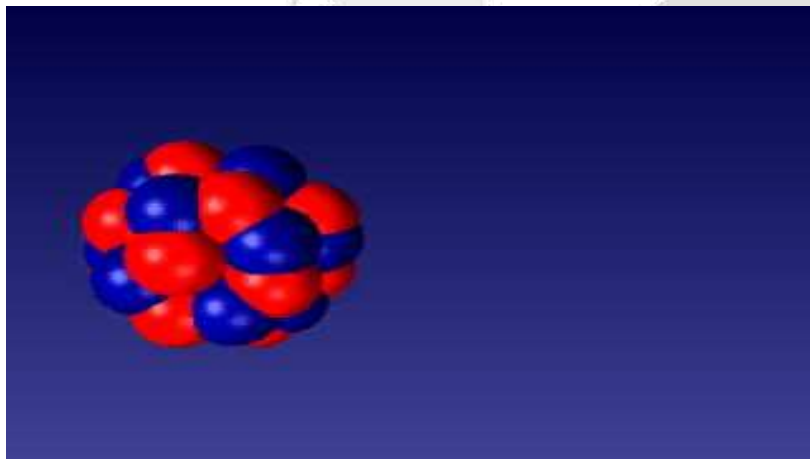
H4: STRALINGSEENHEDEN EN GROOTHEDEN

H5: RADIOPROTECTIE IN DE PRAKTIJK



H2B: RADIOACTIVITEIT

= natuurlijk verschijnsel waarbij **onstabiele atoomkernen** een beter evenwicht bereiken door **ioniserende straling uit te zenden**





De PIONEERS

1898



Marie Curie



Pierre Curie



In het laboratorium:
extraheren van Radium

“Le Radium est bon pour tout ...”



Publiciteit voor radioactieve stoffen



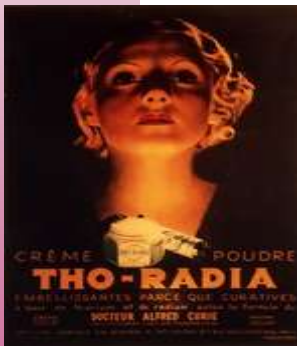
Science-fiction verhaal



Dieët-producten



Schoonheidsproducten: ‘Stimulerende crèmes’



Schoonheidsproducten: Make-up



Schoonheidsproducten: ‘Stimulerende baden’



“Neem twee tabletten met een glas water vóór en na elke maaltijd. Om het meest effectieve effect te bereiken, dient ARIUM gebruikt te worden zoals aangegeven.”



“Zwakke Ontmoedigde Mannen!
Bruis over van levensvreugde door het gebruik van Radium”



NIET BEWUST VAN HET GEVAAR

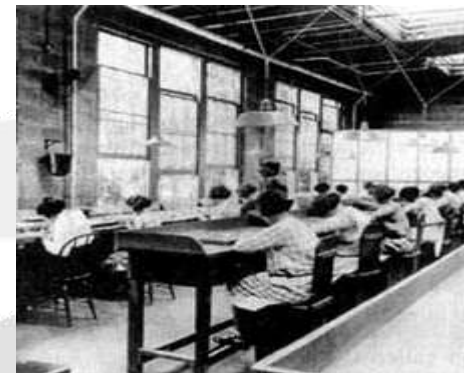
1920-1930



Schoenpasser
fluoroscoop



Extraheren van radium
met pipetten



De “radium-meisjes”
verven van horloges



1901-1920

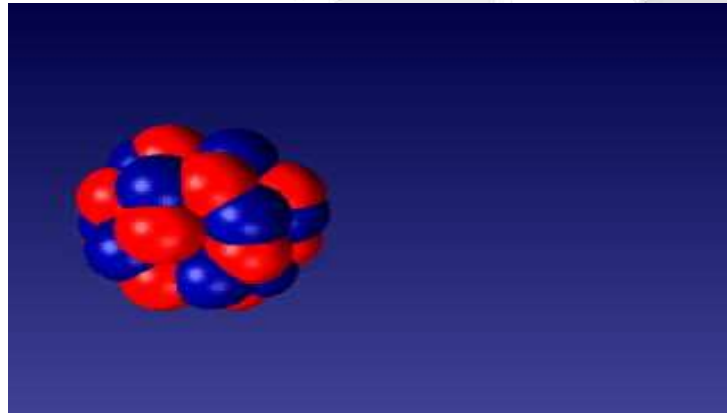
Beroepsmatige risico's van Radiumtherapie





H2B: RADIOACTIVITEIT

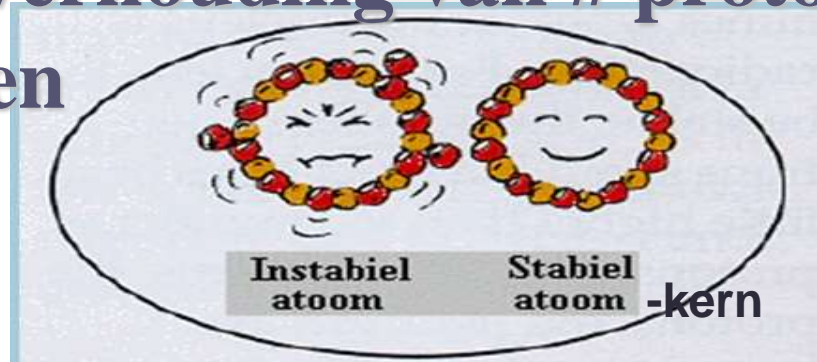
= natuurlijk verschijnsel waarbij **onstabiele atoomkernen** een beter evenwicht bereiken door **ioniserende straling uit te zenden**





RADIOACTIVITEIT

- *sterke kernkracht*: houdt kerndeeltjes samen
- *afstotende kracht*: tussen de protonen
- beide krachten in evenwicht bij een bepaalde verhouding van # protonen en # neutronen





ISOTOPEN

gelijk # protonen \Rightarrow zelfde atoomsoort

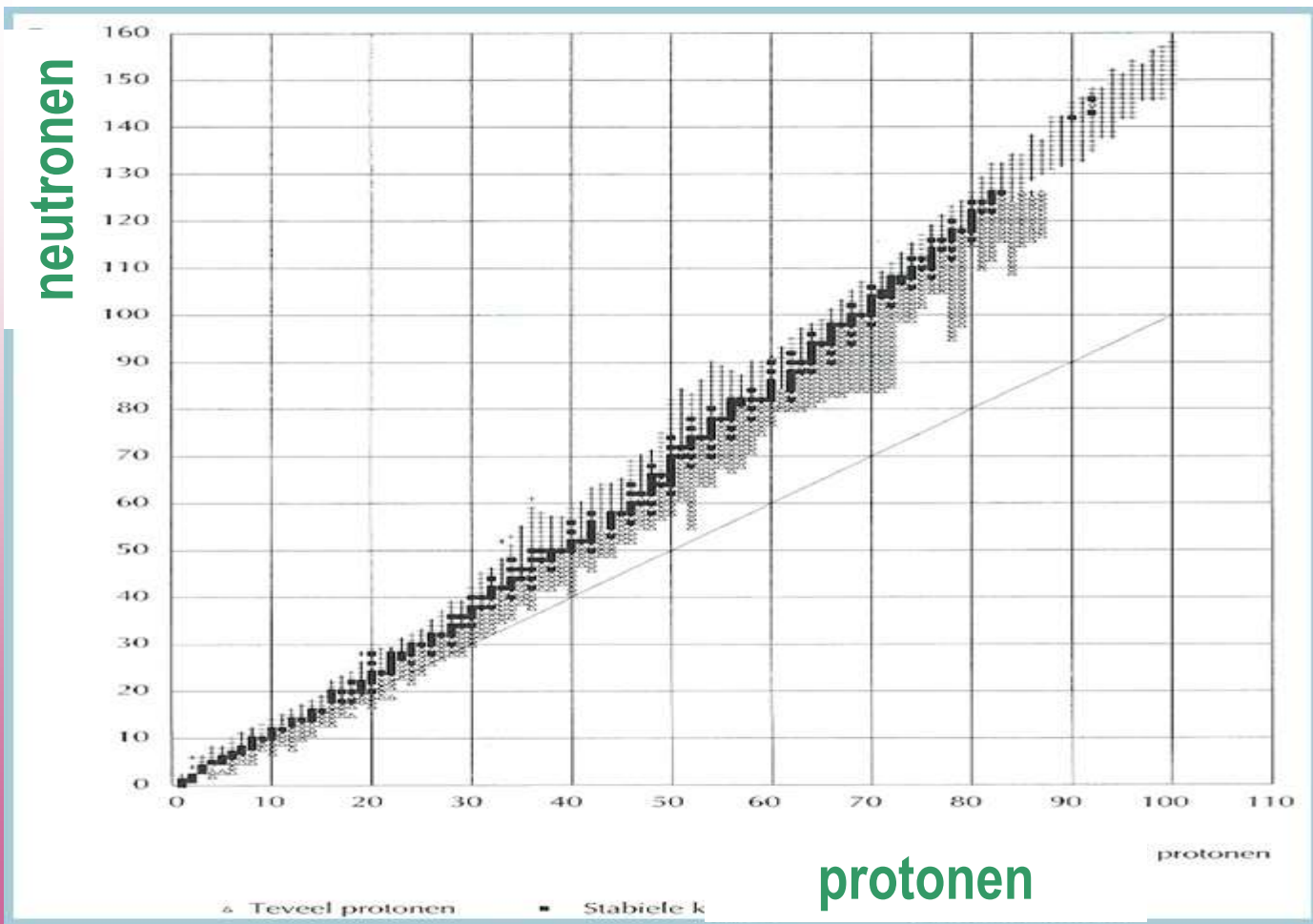
verschillend # neutronen in de kern

vb: ^{208}Po 84 protonen en 124 neutronen

^{209}Po 84 protonen en 125 neutronen

^{210}Po 84 protonen en 126 neutronen

ISOTOPENTABEL





α -straling

- twee protonen en twee neutronen

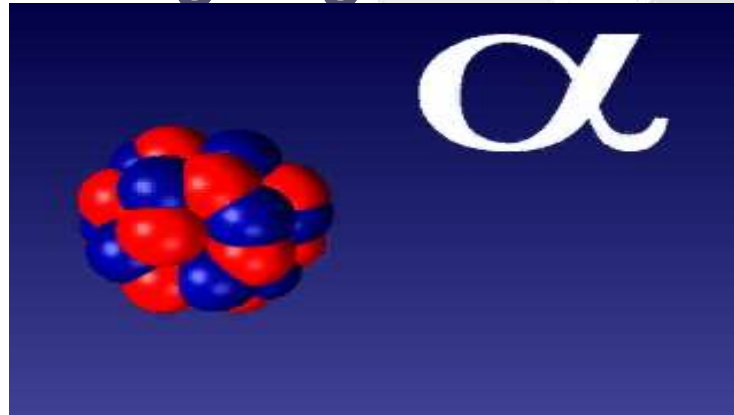
= Heliumkern





α -straling

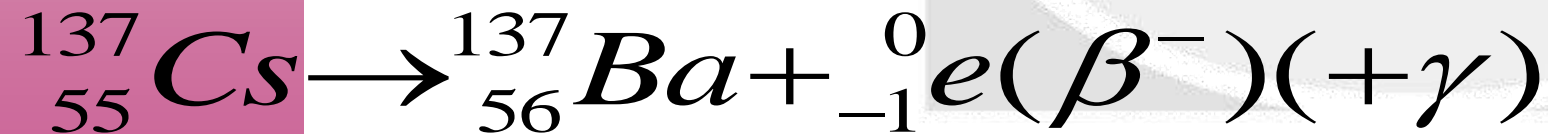
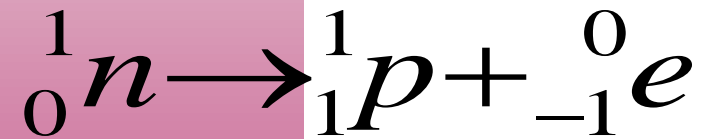
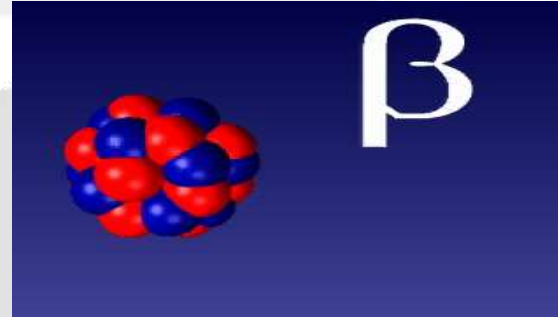
- relatief zwaar deeltje (≈ 4 amu)
- gering doordringvermogen
- eenvoudig tegen te houden





β^- -straling

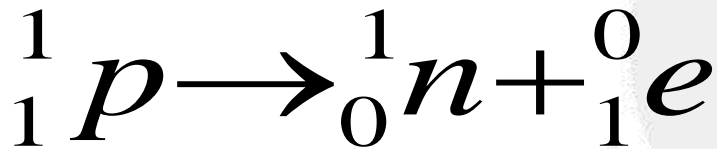
- kernen met teveel **neutronen** zetten deze om in een **proton** en zenden een **elektron** (= β^- -straling) uit
- groter doordringvermogen dan alfa's,





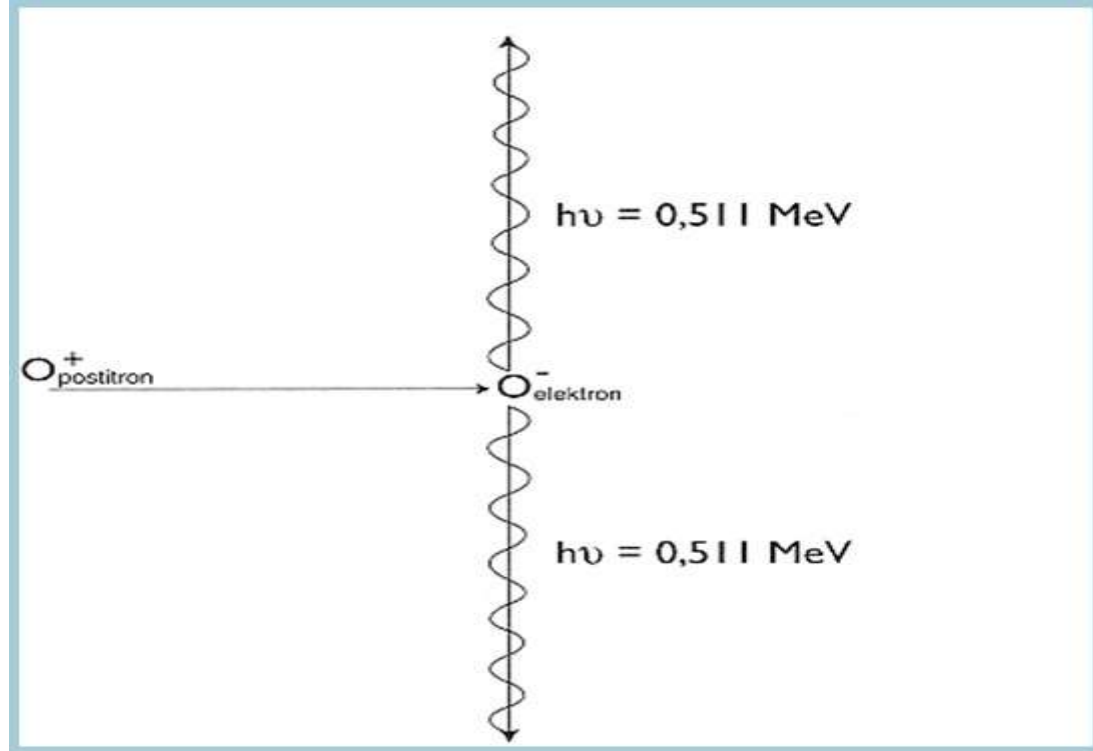
β^+ -straling

- kernen met teveel **protonen** zetten deze om in een neutron en zenden een **positron** (= β^+ -straling) uit
- annihilatie, basis voor PET

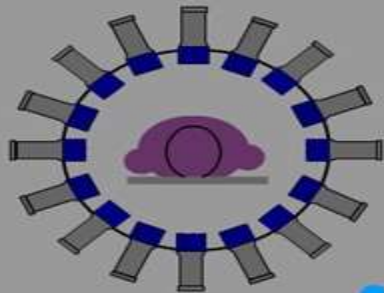
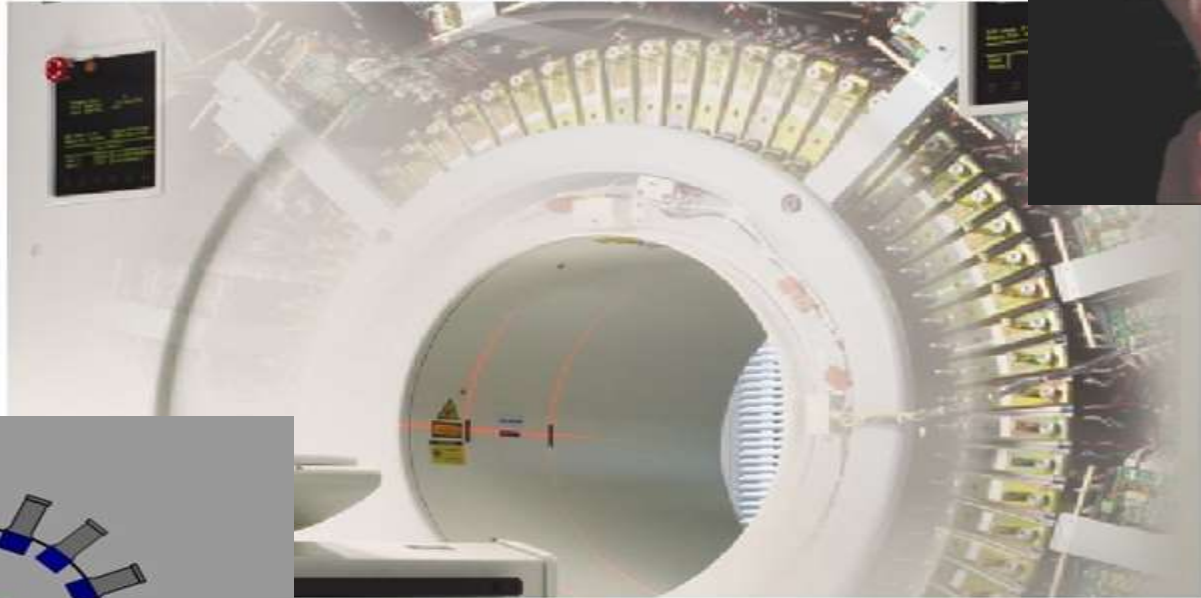




ANNIHILATIE



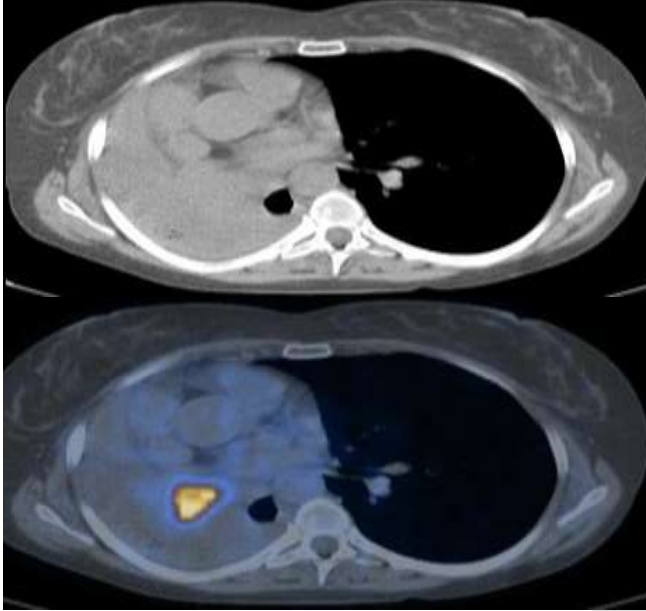
Positron Emission Tomografie





CT-PET Voorbeelden

TUMOR ??



NSCLC met atelectase



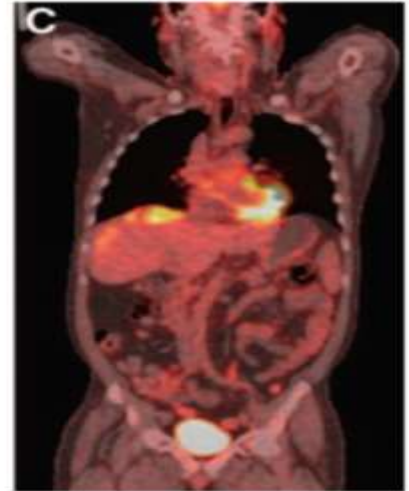
CT-PET Voorbeelden



Wb CT
(+ [contrast])

Wb PET

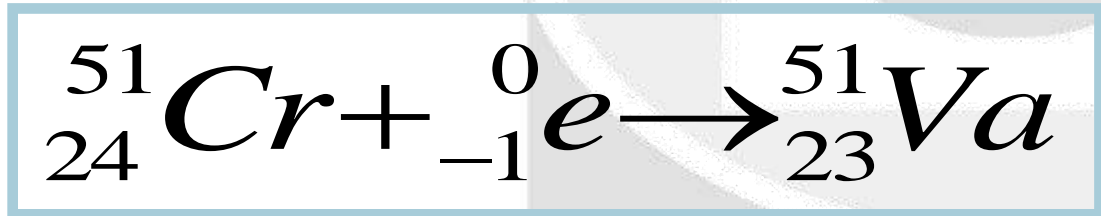
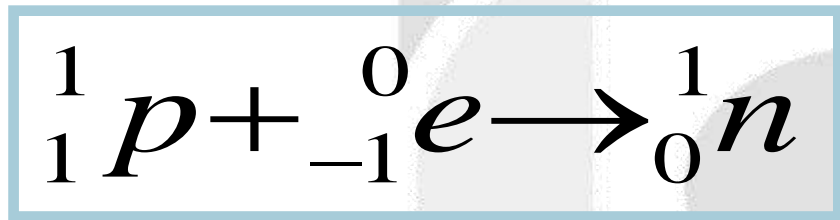
(CT for
Attenuation
correction)





Elektronvangst

- kern met teveel **protonen** vangt een elektron



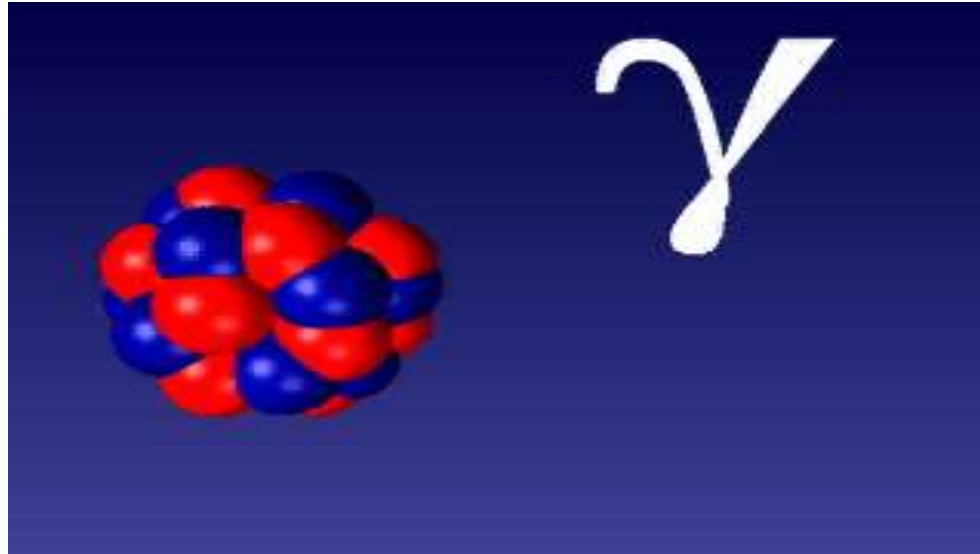


γ -straling

- na verval via alfa- of bètastraling blijft de atoomkern achter in een aangeslagen toestand, het teveel aan energie wordt uitgezonden via **gammastraling**
- groot energiegebied (100 keV - 25 MeV)
- groot doordringvermogen (geen massa)

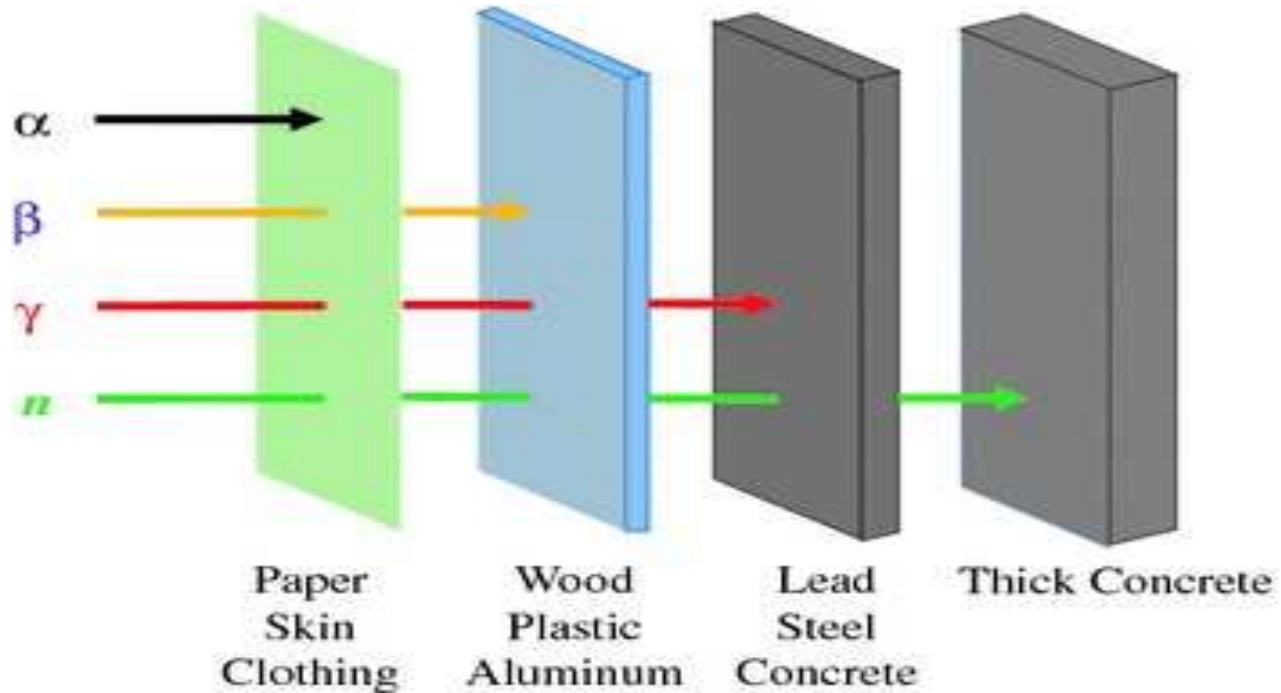


γ -straling





afscherming stralingssoorten





RADIOACTIEF VERVAL

= instabiele atomen vervallen naar stabiele atomen door uitzenden van ioniserende straling

- toevallig en spontaan proces - *statistisch*
- verval in een bepaalde tijdspanne is altijd hetzelfde
⇒ *exponentieel verval*
- snelheid verval beschreven op 2 manieren

vervalconstante (λ) of **halveringstijd** ($T_{1/2}$)



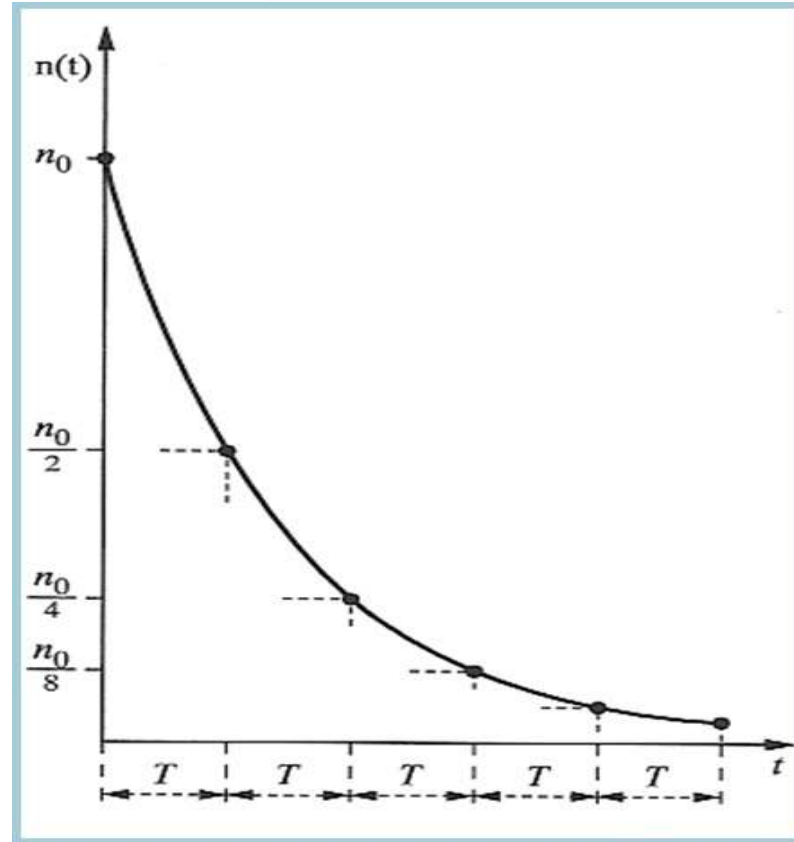
RADIOACTIEF VERVAL

$$N_t = N_0 * e^{-\lambda t}$$

$$N_t = N_0 * 2^{-t/T_{1/2}}$$



RADIOACTIEF VERVAL





HALVERINGSTIJD

Radionuclide	Fysische Halveringstijd
U-238 (uranium)	4.5 10^9 jaar
Cs-137 (cesium)	30 jaar
Po-210 (polonium)	138 dagen
Co-60 (cobalt)	5.3 jaar
I-125 (jodium)	60 dagen
Ir-192 (iridium)	74 dagen

fysische ↔ biologische halveringstijd



ACTIVITEIT

- = het aantal kernen dat per seconde vervalft van een stof
- berekening van activiteit tov kalibratiedatum

$$A_t = A_0 * e^{-\lambda t}$$

$$A_t = A_0 * 2^{-t/T_{1/2}}$$

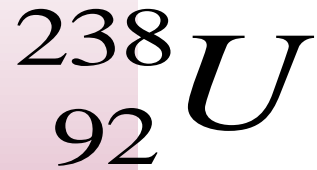


ACTIVITEIT

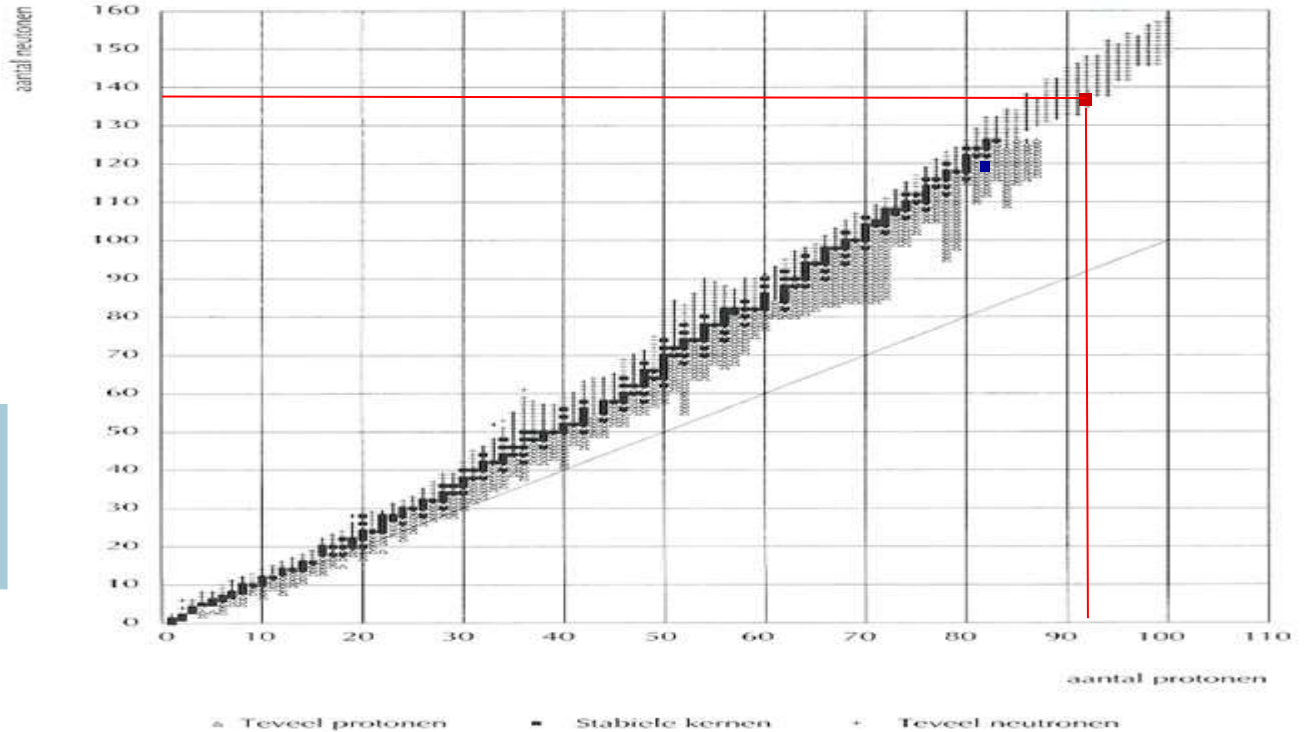




Vervalreeks U-238



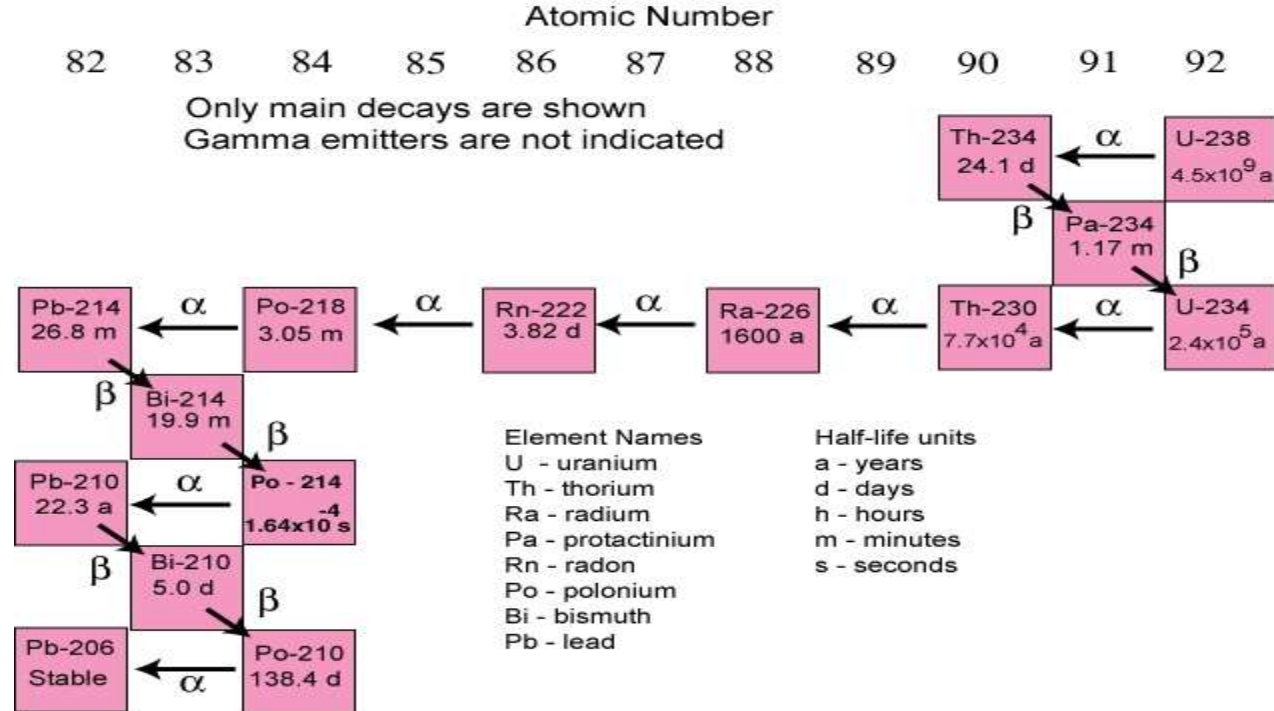
92 protonen
146 neutronen





Vervalreeks U-238

The Uranium-238 Decay Chain



Leeftijd Aarde: 4,6 miljard jaar



Fysische grondslagen radioprotectie deel 2

dhr. Rik Leyssen
Fysicus Radiotherapie
Limburgs Oncologisch Centrum
rik.leyssen@jessazh.be



Fysische grondslagen radioprotectie

H1: INLEIDING

H2: STRALING - RADIOACTIVITEIT

H3: WISSELWERKING TUSSEN
STRALING EN MATERIE

H4: STRALINGSEENHEDEN EN GROOTHEDEN

H5: RADIOPROTECTIE IN DE PRAKTIJK



H3: Wisselwerking tussen

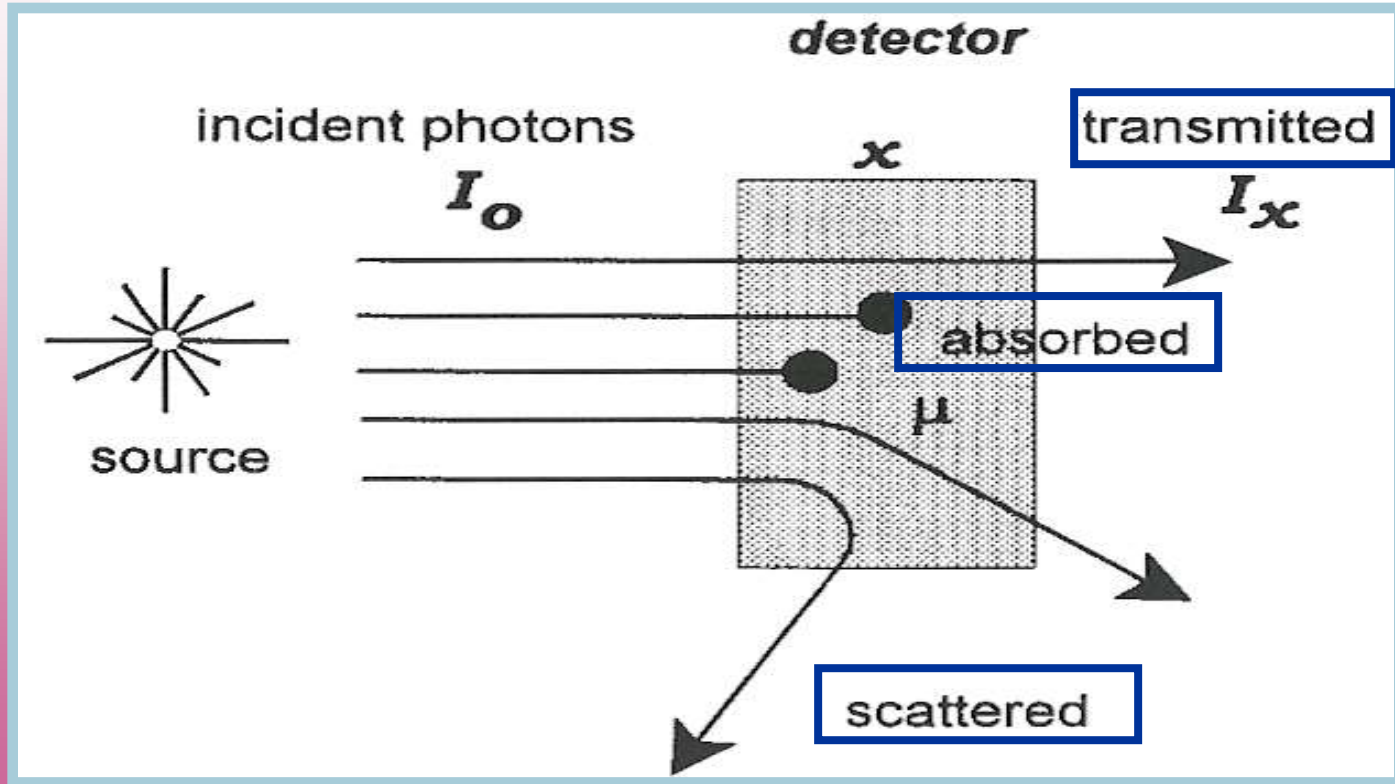
straling en materie

complexe materie omwille van:

- inhomogene samenstelling van het menselijk lichaam
- energiespectrum, bundel is nooit mono-energetisch
- verstrooiing wegens brede stralingsbundel
- *energie-opharding*



3A Macroscopische wisselwerking





Absorptie van straling

- voor een *mono-energetische* bundel geldt:

$$I_x = I_0 e^{-\mu D}$$

D = dikte van afscherming

μ = lineaire attentuatiecoëfficiënt

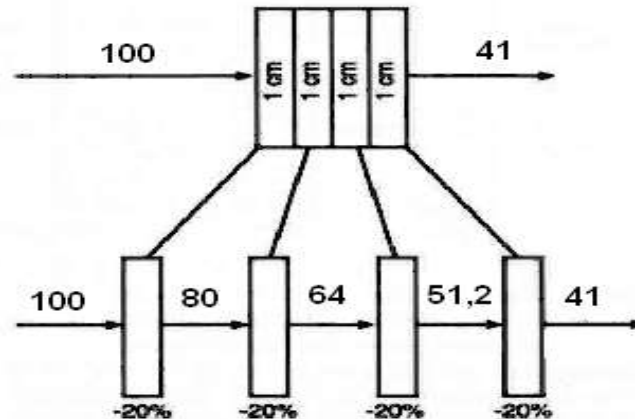
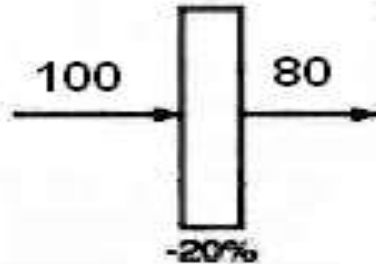
Afhankelijk van soort straling,
energie, soort afscherming



Absorptie van straling

- voor een *mono-energetische* bundel geldt:

$$I_x = I_0 e^{-\mu D}$$





Absorptie van straling

- voor een *mono-energetische* bundel geldt:

$$I = I_0 e^{-\mu D}$$

- **HALFWAARDEDIJKTE** $D_{1/2}$

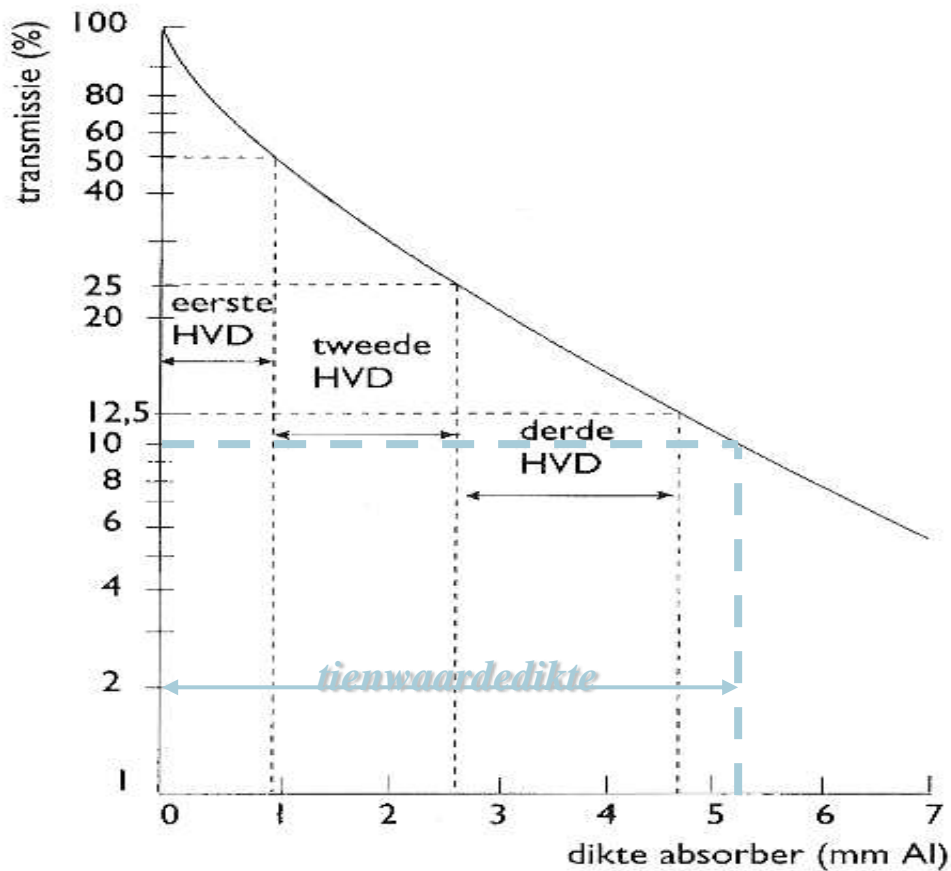
dikte van het materiaal waarbij de intensiteit wordt gehalveerd

- **TIENWAARDEDIJKTE**

dikte van het materiaal waarbij de intensiteit wordt gereduceerd tot één tiende (10%)



Absorptie van straling





Belangrijkste stralingsbescherming principes

♠ TIJD

♠ AFSCHERMING

♠ AFSTAND



Tijd, afscherming, afstand

We doen een bepaalde handeling met radioactieve bron. Wat geeft de beste bescherming?

- A) We doen de handeling dubbel zo snel
- B) We verdriedubbelen de afstand
- C) We plaatsen een afscherming met één halfwaardedikte
- D) We halveren de afstand
- E) We plaatsen een afscherming met een tienwaardedikte



We doen een bepaalde handeling met radioactieve bron. Wat geeft de beste bescherming?

- A) We doen de handeling dubbel zo snel (:2)
- B) We verdriedubbelen de afstand (: $3^2 = :9$)
- C) We plaatsen een afscherming met één halfwaarde dikte (:2)
- D) We halveren de afstand (x4)**
- E) We plaatsen een afscherming met een tienwaardedikte (:10)**



3B Microscopische wisselwerking

direct ioniserende straling

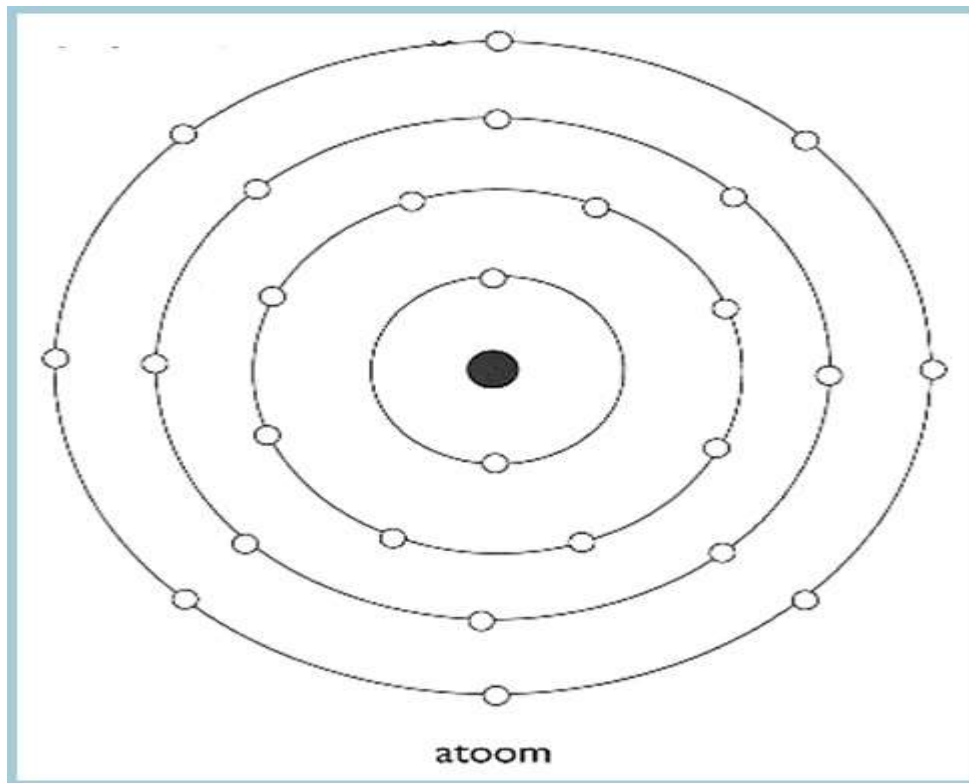
geladen deeltjes (elektronen, alfa's, protonen) geven energie *direct* af aan de materie

indirect ioniserende straling

ongeladen deeltjes (fotonen, neutronen) geven energie af aan geladen deeltjes



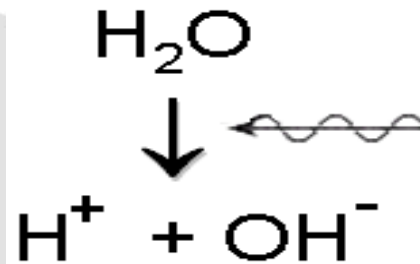
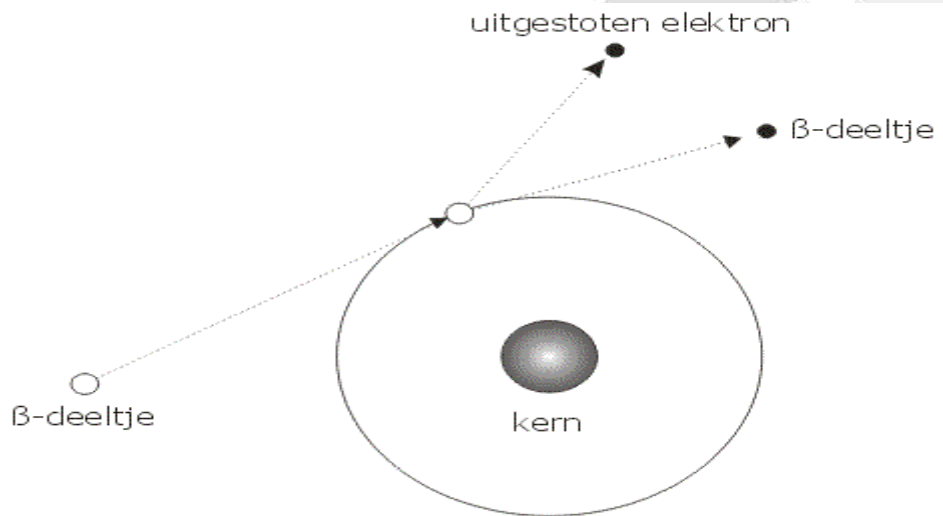
voorstelling atoomstructuur





Geladen deeltjes - Materie

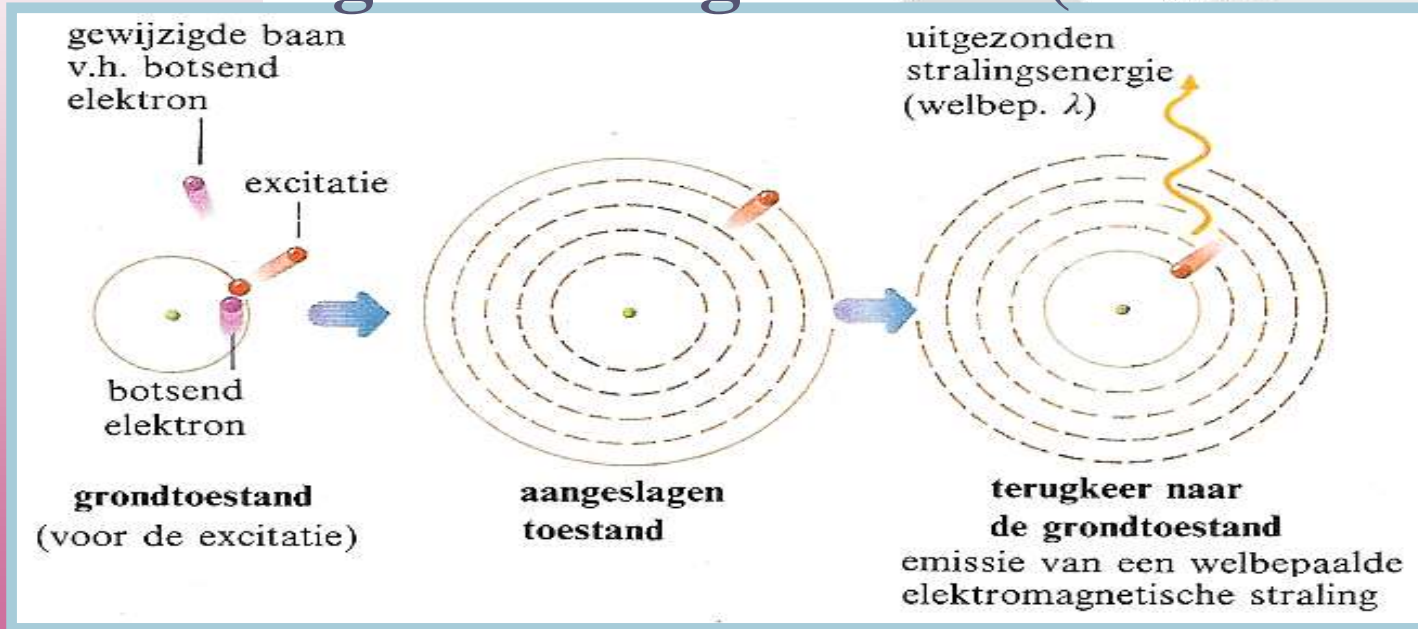
IONISATIE: een elektron wordt vrijgemaakt van het atoom => ionenpaar





Geladen deeltjes - Materie

EXCITATIE: een elektron wordt op een hoger energieniveau gebracht (*elektrisch neutraal*)



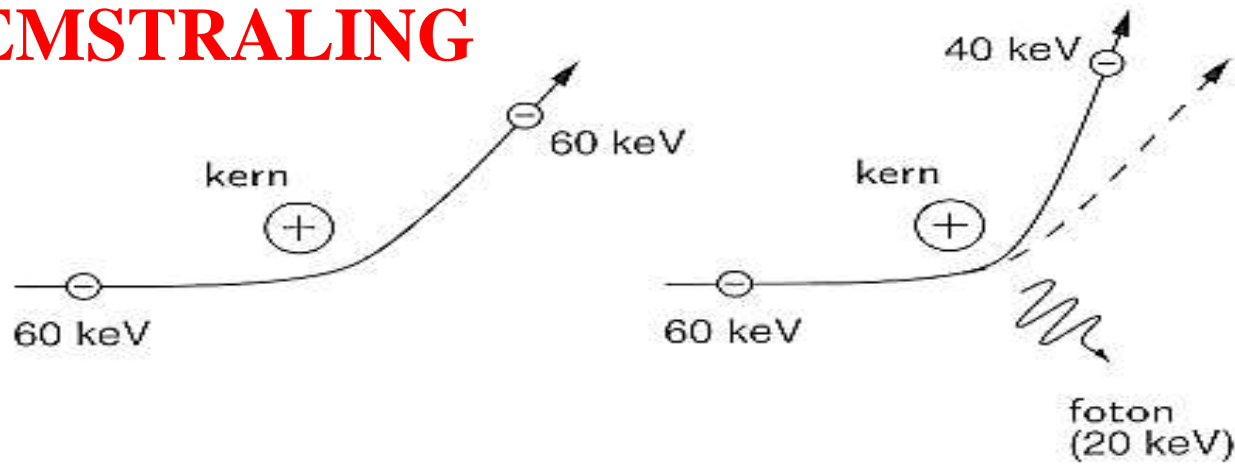


Geladen deeltjes – Materie:

REMSTRALING

Elektronen kunnen tot vlak bij de atoomkern geraken, deze ondergaan een interactie met deze kern waardoor het elektron energie verliest onder de vorm van een foton

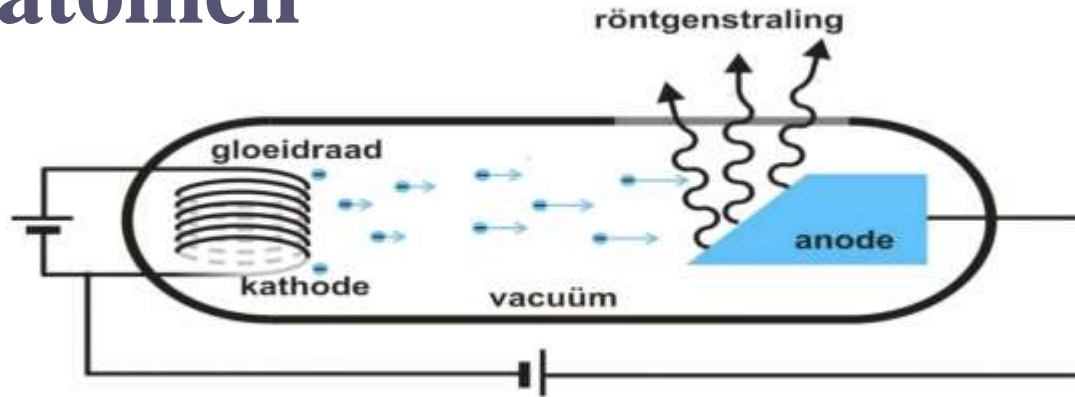
⇒ **REMSTRALING**





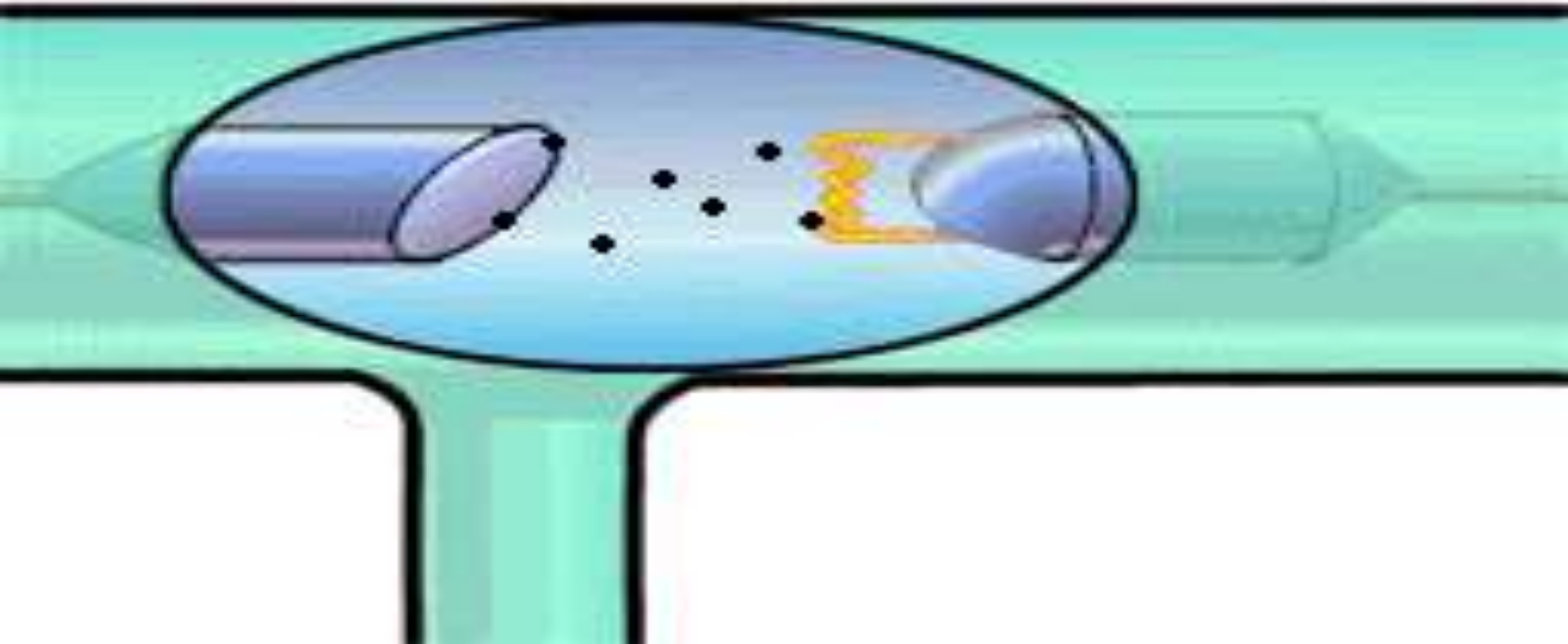
Ioniserende (EM) straling

- **röntgenstraling**, wordt opgewekt in een röntgenbuis, interactie tussen elektronen en atomen





Ioniserende (EM) straling





Geladen deeltjes – Materie

Overzicht inkomend elektron op materie:

- **Ionisatie: resultaat 2 elektronen***
- **Excitatie: resultaat 1 elektron* + 1foton***
- **Remstraling: 1 elektron* + 1foton***

* Energie van elektron/foton is lager dan inkomend elektron

Geeft kettingreactie totdat energie te laag is

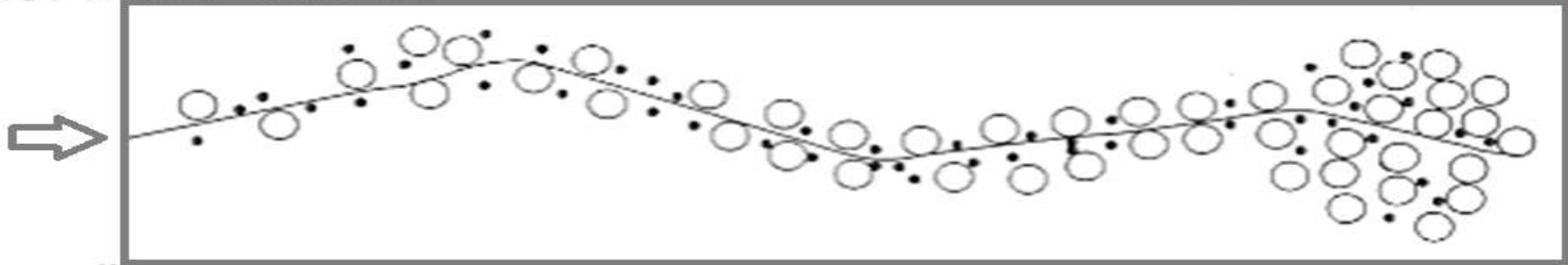
Merk op: richting van elektron verandert



DRACHT van een elektron

← dracht van het elektron →

begin baan van
het snelle elektron



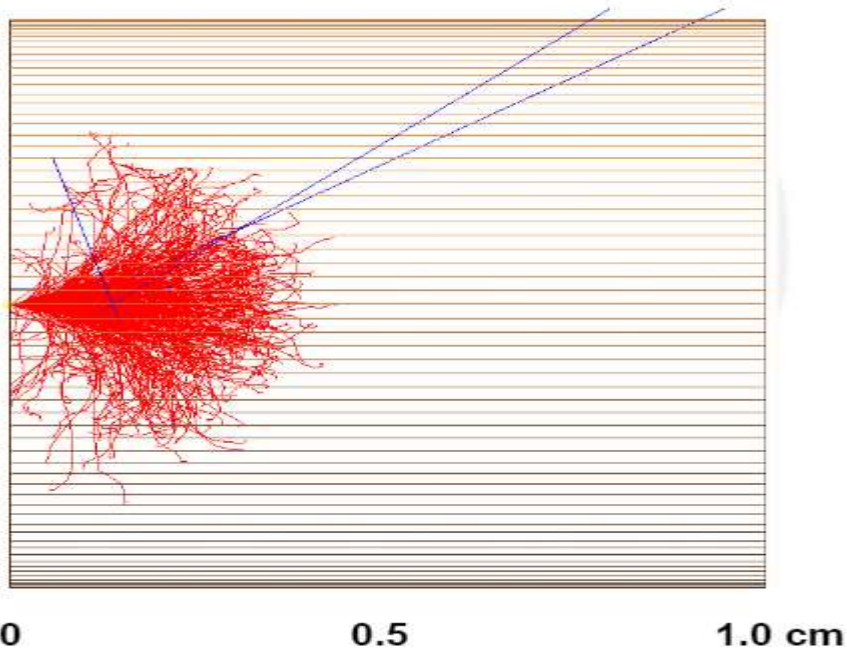
einde baan van
het snelle elektron

**Merk op: Dracht van elektron vertoont
grillig patroon**

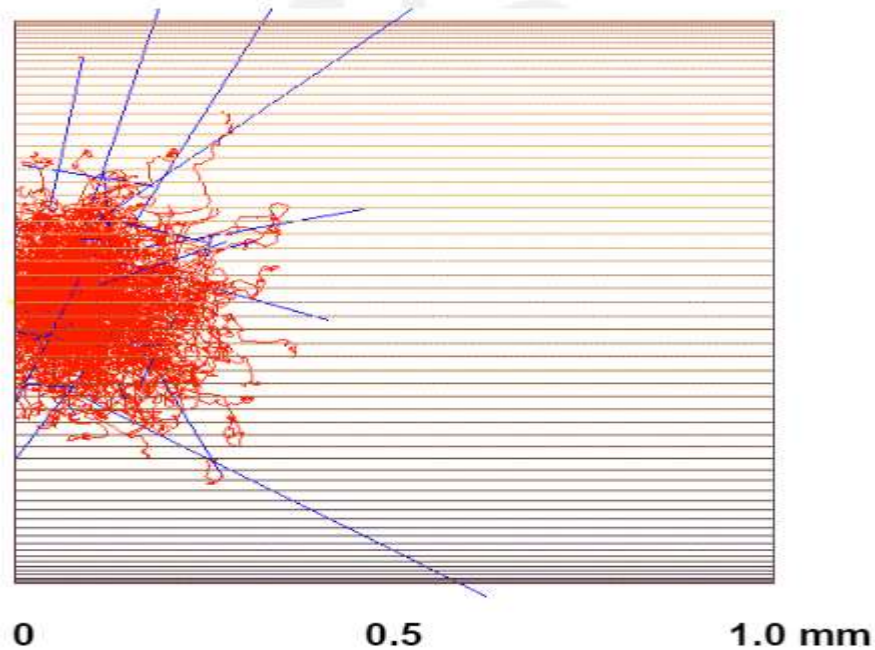


DRACHT van een elektron

1 MeV elektronen in weefsel



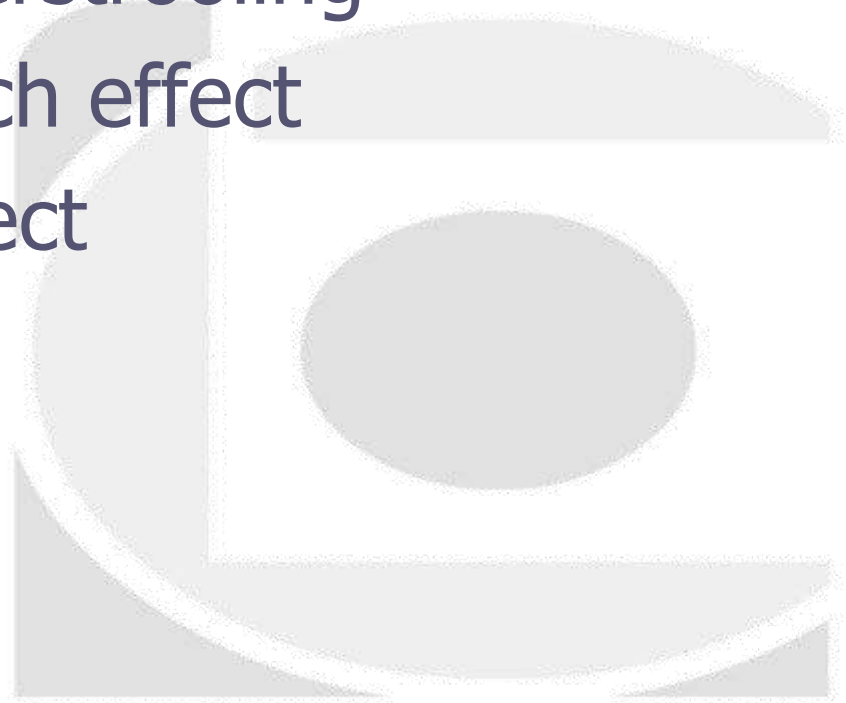
1 MeV elektronen in lood





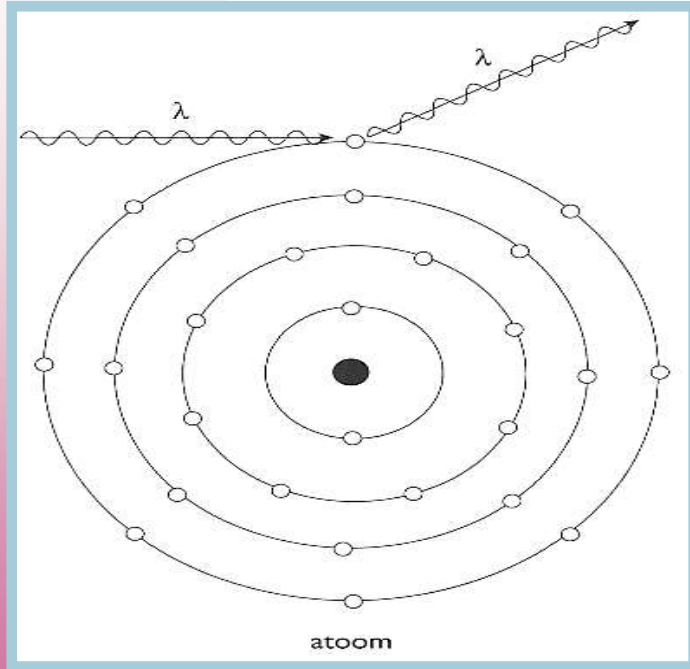
Ongeladen deeltjes - Materie

- Coherente verstrooiing
- Foto-elektrisch effect
- Compton effect
- Paarvorming





Coherente verstrooiing

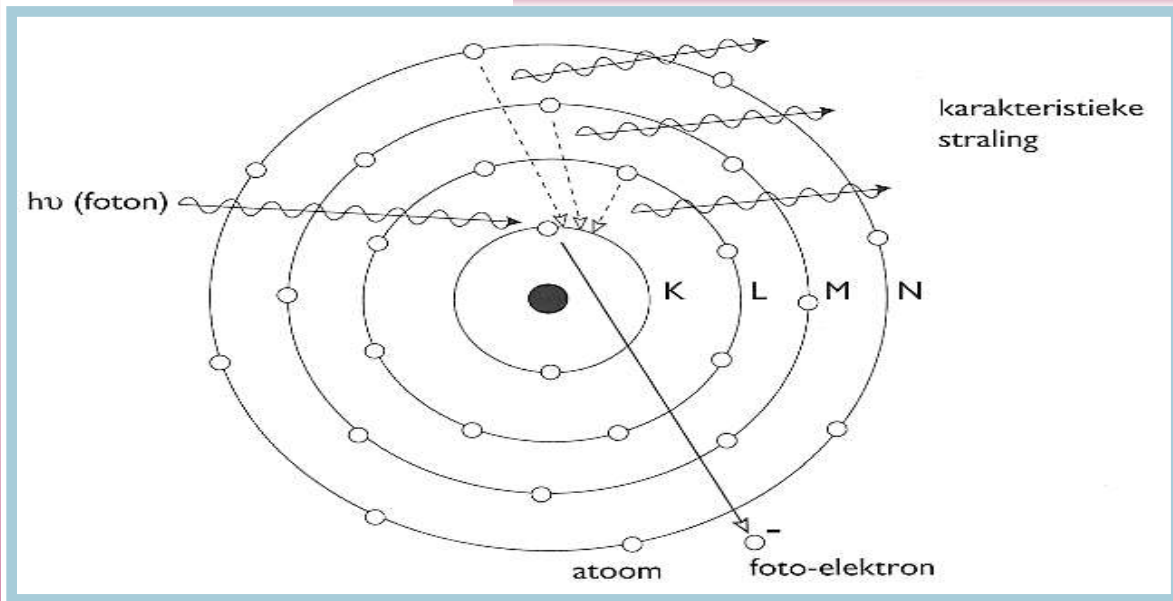


- $E_{\text{foton}} < \text{bindingsenergie}$
- géén energie-afgifte
- belangrijk bij laag energetische fotonen

⇒ **STROOISTRALING**



Foto-elektrisch effect

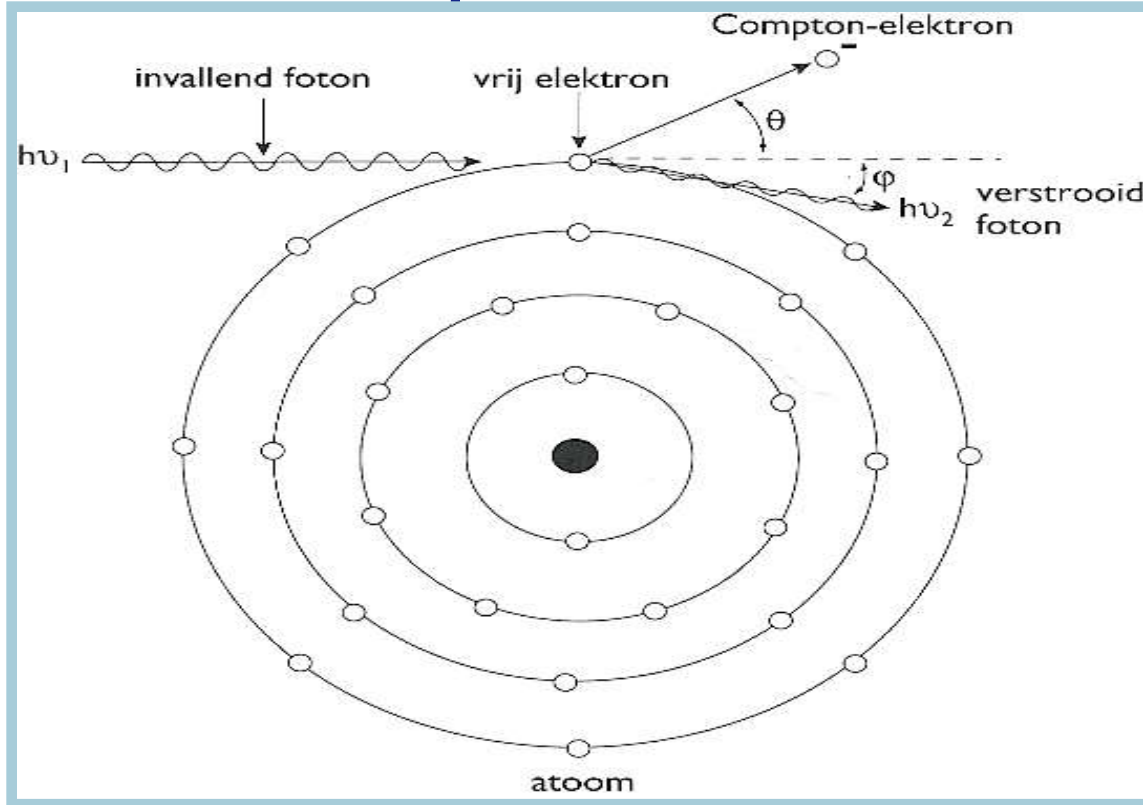


- foton verdwijnt!! \Rightarrow **ABSORPTIE**

- foto-elektron ontstaat



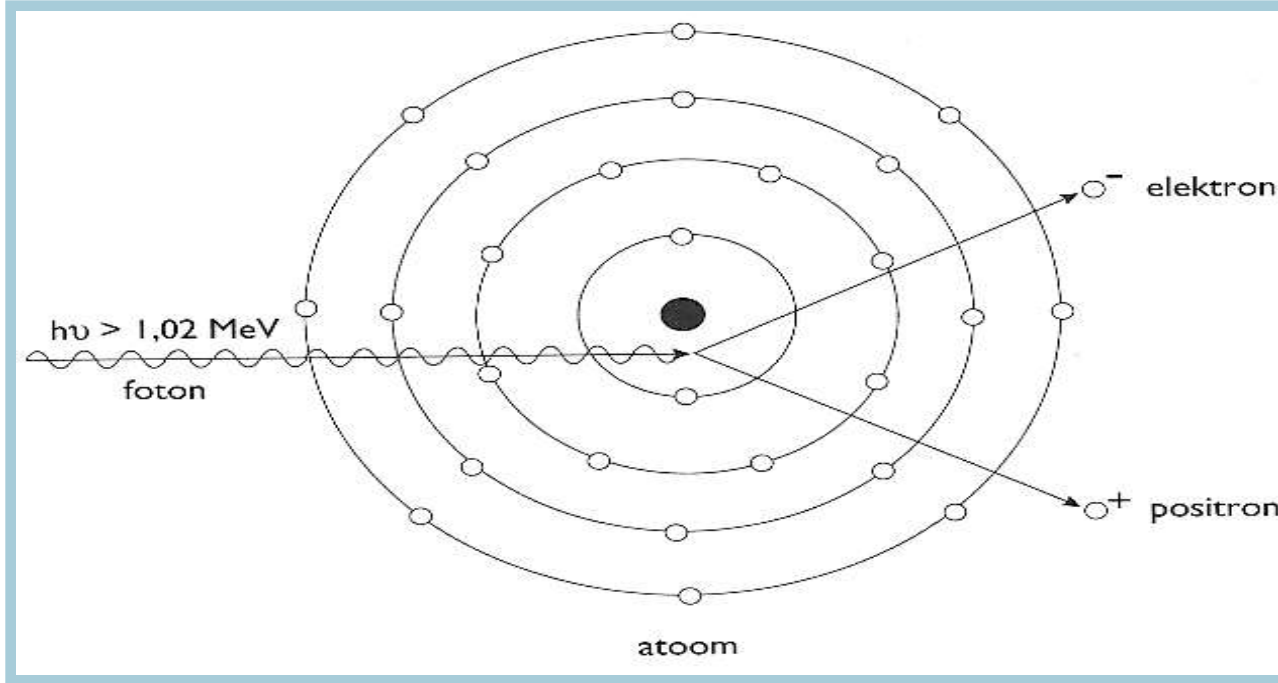
Compton effect



⇒ **STROOISTRALING**



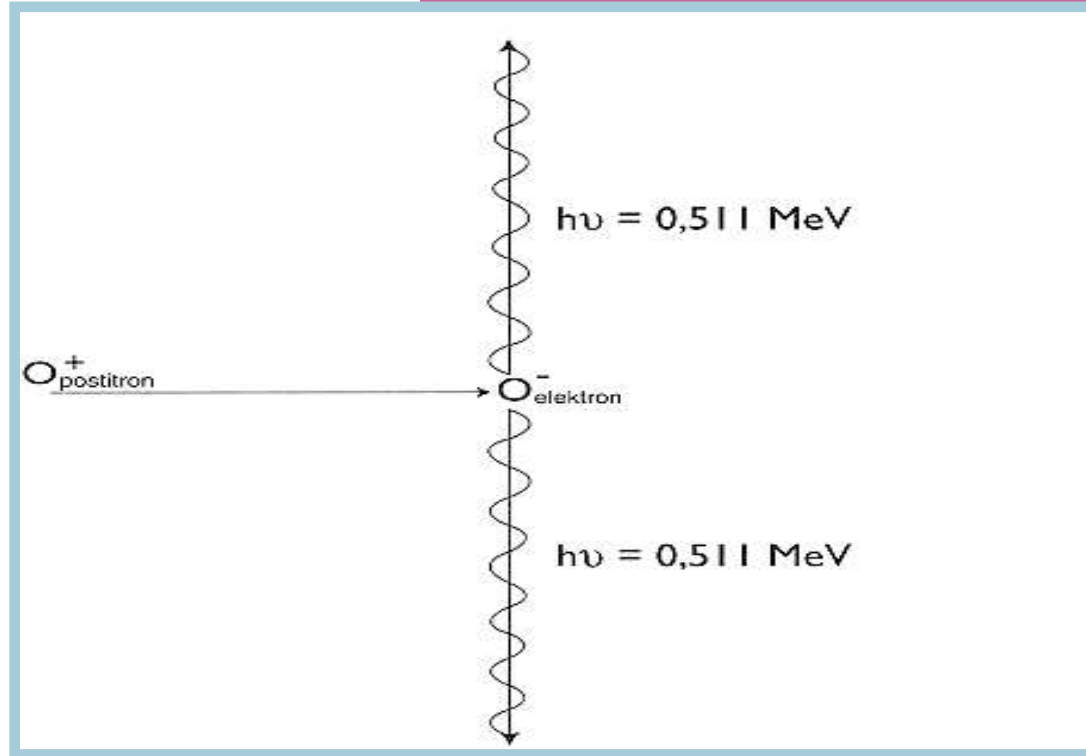
Paarvorming



- energie → massa

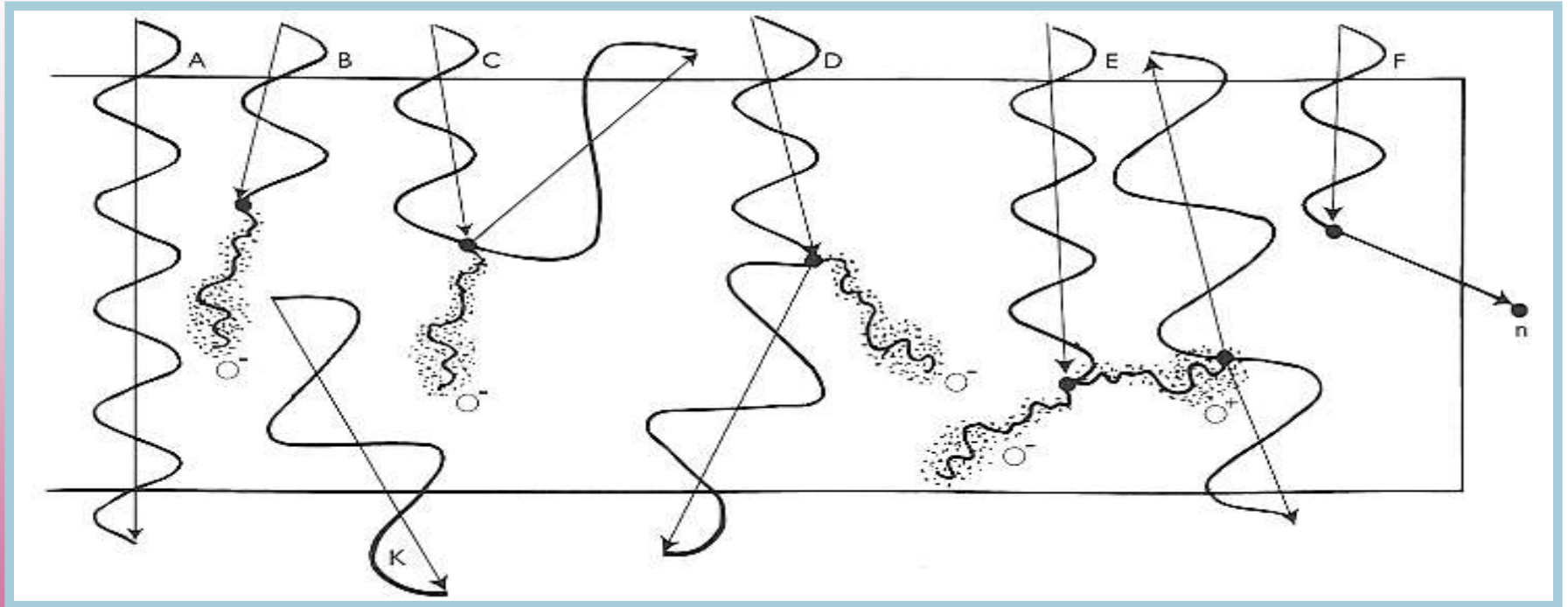


Annihilatie





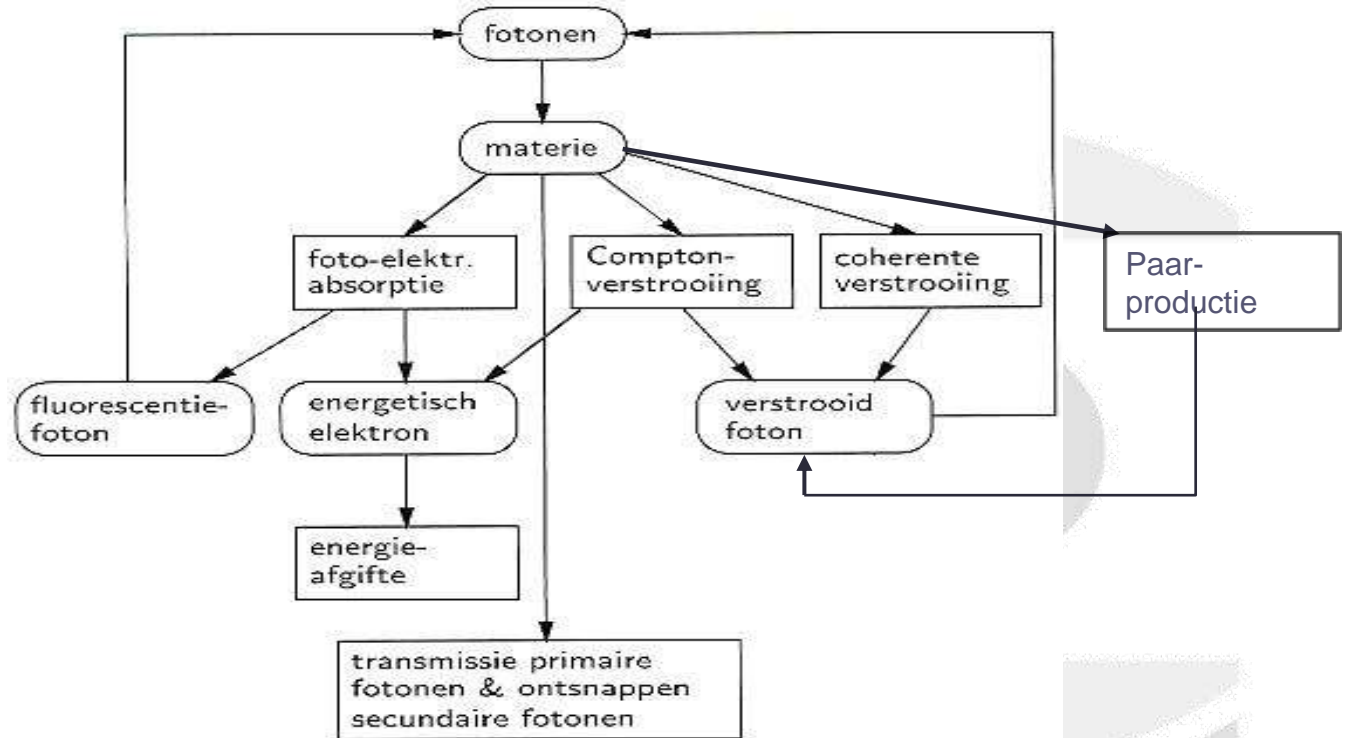
Mogelijke wisselwerkingsprocessen



- K* karakteristiek foton
- n* neutron
- O⁺ baan van een positron
- O⁻ baan van een elektron



Overzicht foton – Materie





Foton – Materie

Overzicht inkomend foton op materie:

- **Coherente verstrooiing: 1 foton^a**
- **Fotoelektrisch effect: 1 elektron* + 1 (karakteristiek) foton***
- **Compton effect: 1 foton* + 1 elektron***
- **Paarproductie: 1 elektron* + 2 fotonen* (0.511MeV)**

^a **Energie foton blijft gelijk**

*** Energie van elektron/foton is lager dan inkomend foton**

Geeft kettingreactie totdat energie te laag is

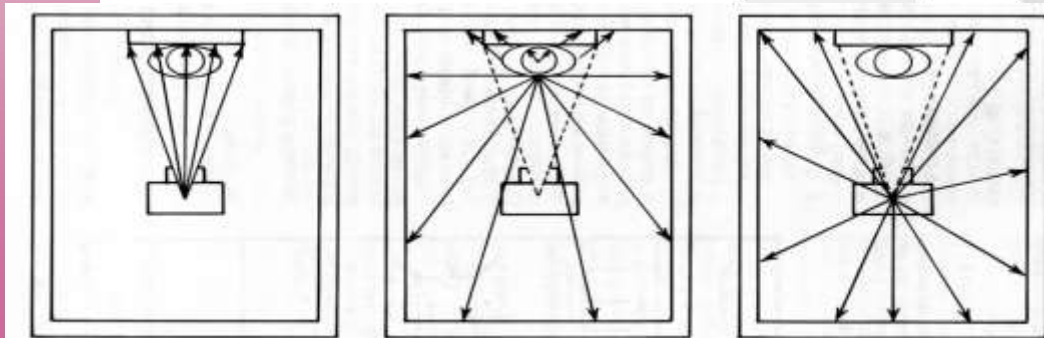


Ongeladen deeltjes – Materie

Overzicht inkomend foton op materie:

Opgelet: richting foton kan veranderen na interactie = STROOISTRALING

Belangrijk gevolg voor protectie: Niet enkel primaire straal afschermen maar ook rekening houden met strooistraling !!!





Belangrijkste stralingsbescherming principes

♠ TIJD

♠ AFSCHERMING (ook strooistraling)

♠ AFSTAND



Fysische grondslagen radioprotectie

H1: INLEIDING

H2: STRALING - RADIOACTIVITEIT

**H3: WISSELWERKING TUSSEN
STRALING EN MATERIE**

H4: STRALINGSEENHEDEN EN GROOTHEDEN

H5: RADIOPROTECTIE IN DE PRAKTIJK

H4: Stralingseenheden en grootheden

GROOTHEID: fysisch verschijnsel (*lengte, tijd,...*)

EENHEID: grondeenheden ↔ afgeleide eenheden

– meter	m	lengte
– kilogram	kg	massa
– seconde	s	tijd
– ampère	A	elektrische stroom
– Kelvin	K	temperatuur
– mol	mol	hoeveelheid stof
– candela	cd	lichtsterkte



<http://www.spaceref.com/news/viewpr.html?pid=2937>

A failure to recognize and correct an error in a transfer of information between the Mars Climate Orbiter spacecraft team in Colorado and the mission navigation team in California led to the loss of the spacecraft last week, preliminary findings by NASA's Jet Propulsion Laboratory internal peer review indicate.

"People sometimes make errors," said Dr. Edward Weiler, NASA's Associate Administrator for Space Science. "The problem here was not the error, it was the failure of NASA's systems engineering, and the checks and balances in our processes to detect the error. That's why we lost the spacecraft."

The peer review preliminary findings indicate that one team used English units (e.g., inches, feet and pounds) while the other used metric units for a key spacecraft operation. This information was critical to the maneuvers required to place the spacecraft in the proper Mars orbit.

"Our inability to recognize and correct this simple error has had major implications," said Dr. Edward Stone, director of the Jet Propulsion Laboratory. "We have underway a thorough investigation to understand this issue."

Two separate review committees have already been formed to investigate the loss of Mars Climate Orbiter: an internal JPL peer group and a special review board of JPL and outside experts. An independent NASA failure review board will be formed shortly. "Our clear short-term goal is to maximize the likelihood of a successful landing of the Mars Polar Lander on December 3," said Weiler. "The lessons from these reviews will be applied across the board in the future."

Mars Climate Orbiter was one of a series of missions in a long-term program of Mars exploration managed by the Jet Propulsion Laboratory for NASA's Office of Space Science, Washington, DC. JPL's industrial partner is Lockheed Martin Astronautics, Denver, CO. JPL is a division of the California Institute of Technology, Pasadena, CA.

http://en.wikipedia.org/wiki/Mars_Climate_Orbiter

1999

http://en.wikipedia.org/wiki/Gimli_Glider 1983



STRALINGSENERGIE

- SI-eenheid ***Joule***, maar geeft veel te kleine waarden (*vb: $2 * 10^{-13} J$ voor een ^{60}Co bron*)
- nieuwe eenheid, **elektronvolt (eV)**

1 eV = energie die een elektron wint als het een spanningsverschil van 1 Volt doorloopt

$$1 \text{ eV} = 1.6 * 10^{-19} \text{ J}$$



STRALINGSENERGIE

- nieuwe eenheid, **elektronvolt (eV)**

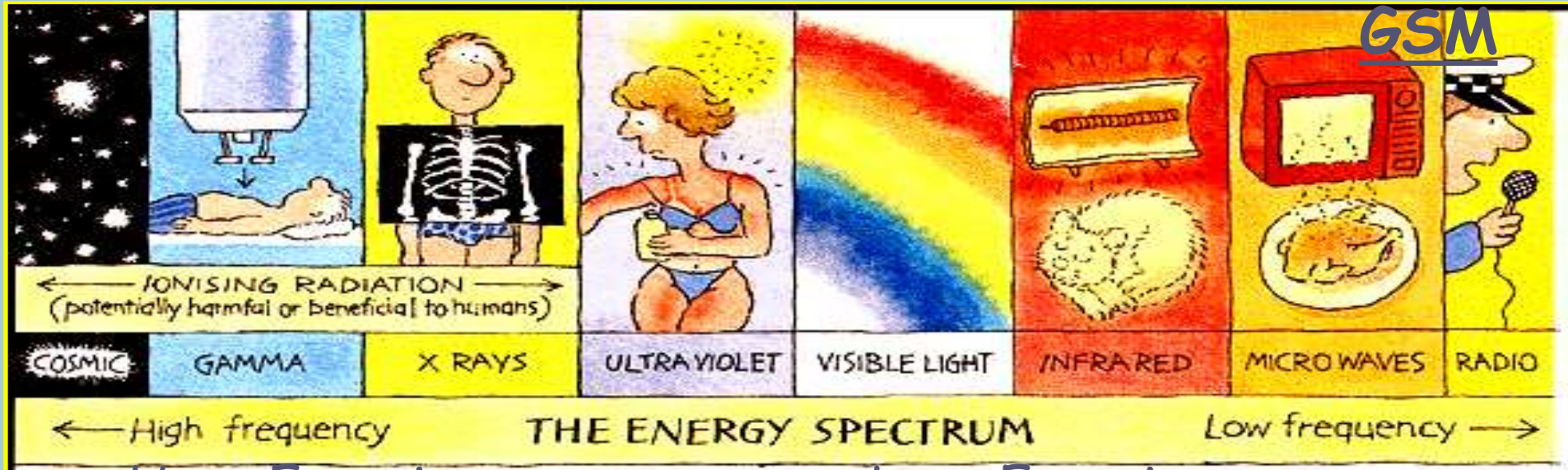
1 eV = energie die een elektron wint als het een spanningsverschil van 1 Volt doorloopt

$$1 \text{ eV} = 1.6 * 10^{-19} \text{ J}$$

- **zichtbaar licht: enkele eV**
- **diagnostische röntgenstraling: 30 - 150 keV**
- **radiotherapie: 1 - 25 MeV**



ELEKTROMAGNETISCH SPECTRUM



GSM

Hoge Energie

Lage Energie

Korte golflengte

Lange golflengte



RADIOACTIVITEIT

- radioactiviteit = aantal kernen dat per seconde vervalt
- SI-eenheid, **Becquerel (Bq)**

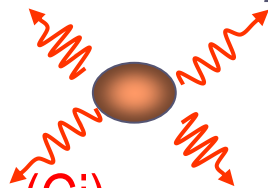
1 Bq = verval van één kern per seconde

WEINIG ACTIVITEIT

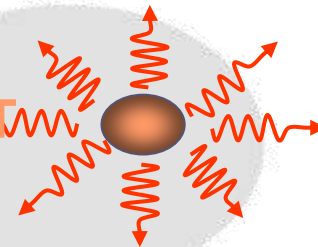
- oude eenheid, **curie (Ci)**

1 Ci = activiteit van 1 gram radium-226

1 Ci = $3.7 \cdot 10^{10}$ Bq



VEEL ACTIVITEIT





RA VOORBEELDEN

- *Prostaat* implantaten met ^{125}I zaadjes : 0,4 mCi of 14,8 MBq per zaadje
- $^{99\text{m}}\text{Tc}$ voor *nucleair geneeskundig* onderzoek: ± 10 mCi of 370 MBq
- *Coronaire brachytherapie* in-stent restenosis: ^{90}Sr 1,7 GBq (46 mCi)
- *LDR brachytherapie* met ^{192}Ir draad: 90 mCi of 3.33 GBq
(HDR: 10 Ci of 370 GBq)
- *Schildklier(carcinoom)* therapie met ^{131}I : 100 mCi of 3,70 GBq



GEABSORBEEERDE DOSIS

= hoeveelheid geabsorbeerde **ENERGIE** (dE)
per **MASSA**-eenheid (dm)

$$D = \frac{dE}{dm}$$

- SI-eenheid, Jkg^{-1} of **Gray (Gy)**
- oude eenheid, **rad (radiation absorbed dose)**

$$1 \text{ Gy} = 100 \text{ rad}$$

- dosistempo:

$$\dot{D} = \frac{dD}{dt}$$



EQUIVALENTE DOSIS

- niet voor iedere stralingssoort en energie is de biologische schade identiek
- \Rightarrow **stralingsweegfactor w_R**

Soort straling en energiegebied	w_R
Fotonen, alle energieën	1
Elektronen (β), alle energieën	1
Neutronen	
< 10keV	5
10-100 keV	10
100keV – 2MeV	20
2MeV-20MeV	10
>20MeV	5
protonen	5
α -deeltjes, zware deeltjes	20



EQUIVALENTE DOSIS

$H = D \times w_R$ = gewogen geabsorbeerde dosis

- SI-eenheid, Jkg^{-1} of **sievert (Sv)**
- oude eenheid, **rem (röntgen equivalenten men)**

$$1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem}$$



EFFECTIEVE DOSIS

= effectieve dosis rekening houdend met de orgaangevoeligheid via de *weefselweegfactor* w_T

Orgaan of weefsel	Weefselweegfactor, w_T
Geslachtsorganen	0.20
Beenmerg (rood)	0.12
Dikke darm	0.12
Longen	0.12
Maag	0.12
Blaas	0.05
Borstweefsel	0.05
Lever	0.05
Slokdarm	0.05
Schildklier	0.05
Huid	0.01
Botoppervlak	0.01
Overige organen/weefsels	0.05
Gehele lichaam	1.00



EFFECTIEVE DOSIS

$$E = \sum w_R \sum w_T D_{R,T}$$

- SI-eenheid, Jkg^{-1} of **sievert (Sv)**



EQ. DOSIS VOORBEELDEN

- **mammografie**: dosis over het borstklierweefsel is +/-2mSv
- conventioneel **thoraxonderzoek**: effectieve dosis van ongeveer 0.09mSv
- **CT-thoraxonderzoek**: de effectieve dosis 5-15 mSv voor \neq lokalisaties kan dit oplopen tot bijna 50 mSv!
- Overzichtsfoto van de **buik**: effectieve dosis van ca 1mSv
- **CT-buikonderzoek**: ongeveer 10-25 mSv
- **Lumbale wervelkolom**: een effectieve dosis van 2mSv



EQ. DOSIS VOORBEELDEN

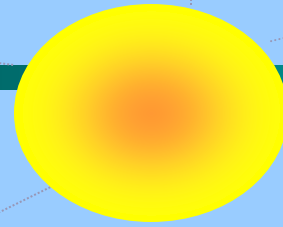
- **Intra-orale** tandheelkundige röntgenopname: 1-15 μSv
- **Skeletscintigram**: 550-750 MBq $^{99\text{m}}\text{Tc}$ geeft een effectieve dosis van 4-6 mSv
- **Myocardscintigram**: ^{201}Tl geeft een relatief hoge stralingsbelasting van gemiddeld 17 mSv
- **Radiotherapie**: lokaal hoge dosissen zijn vereist om het tumorweefsel te vernietigen, een typische dosis voor een mammacarcinoom is 66 Gy ($33 \times 2\text{Gy}$)



• **Wat is 1 mSv?**

Straling is Overal

Kosmos



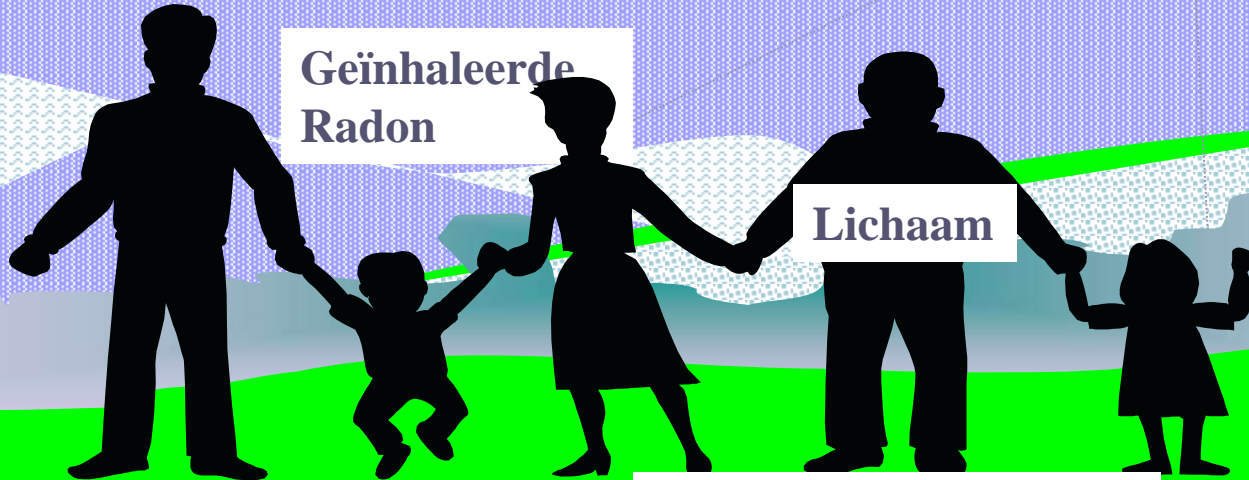
Geïnhaleerde
Radon

Lichaam

Planten

Gesteente

Radioactieve elementen





Tussendoortje

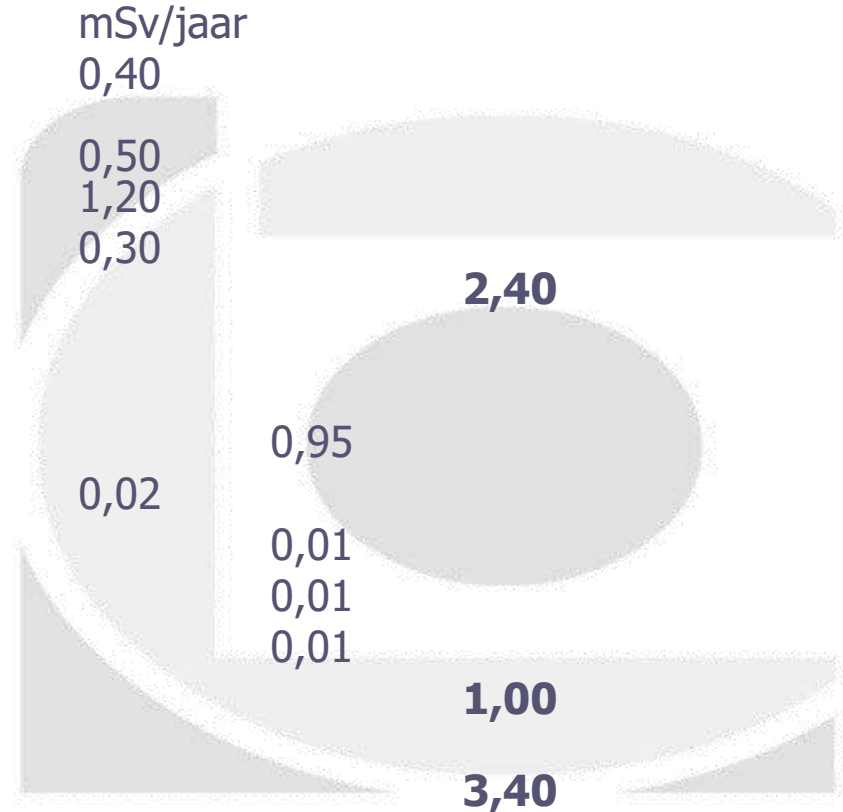
natuurlijke achtergrondstraling

- kosmische straling
 - bodem en bouwmaterialen
 - uitwendige bestraling
 - inwendige bestraling
 - radioactiviteit in het lichaam
- subtotaal:

kunstmatige stralingsbelasting

- gezondheidszorg
 - energieproductie kerncentrales
 - gebruiksgoederen
 - fall-out
 - Tsjernobyl
- subtotaal:

Totaal





Tussendoortje

- In België gemiddeld 3,40 mSv per jaar
 - In de Ardennen: 0,8 – 1 mSv hoger
 - Transatlantische vlucht (7u): 0,05 mSv



Tussendoortje

- ☞ Sterfterisico 1 per miljoen/jaar
- ☞ 90 km autorijden
- ☞ 2500 km trein
- ☞ 4000 km vliegen
- ☞ 3 uur werken op vissersboot
- ☞ 1.5 uur skiën
- ☞ 6 min kayakken
- ☞ 1.5 sigaret
- ☞ 2 dagen new York (lucht)
- ☞ 33 uur thuis zijn

of éénmalig 1 mSv



Fysische grondslagen radioprotectie

H1: INLEIDING

H2: STRALING - RADIOACTIVITEIT

**H3: WISSELWERKING TUSSEN
STRALING EN MATERIE**

H4: STRALINGSEENHEDEN EN GROOTHEDEN

H5: RADIOPROTECTIE IN DE PRAKTIJK

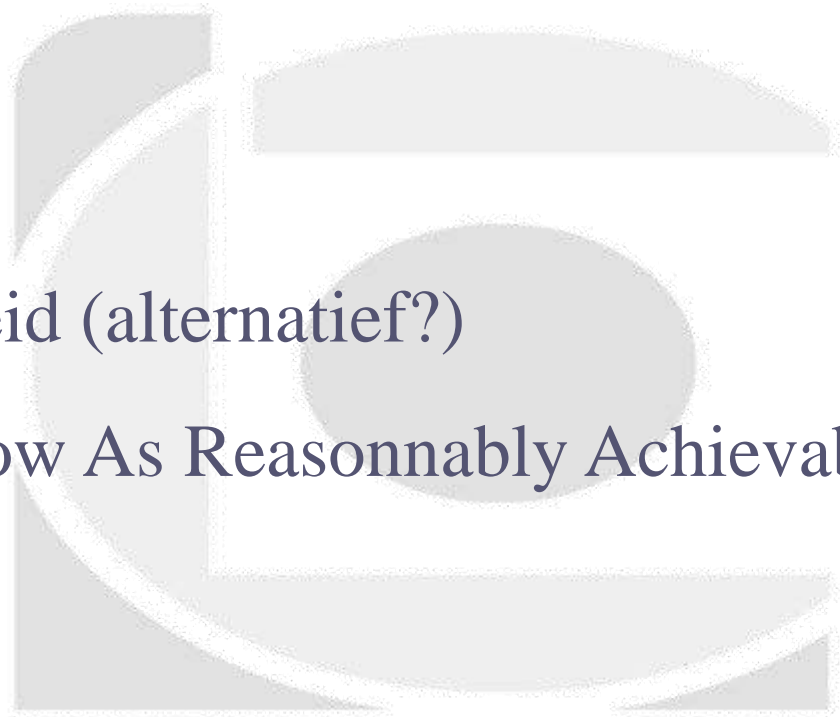


Radioprotectie in praktijk

Doel van radioprotectie: stralingsbelasting zo laag mogelijk te houden

3 pijlers:

- Rechtvaardigheid (alternatief?)
- ALARA (As Low As Reasonably Achievable)
- Dosislimieten





Radioprotectie in praktijk

Dosislimieten

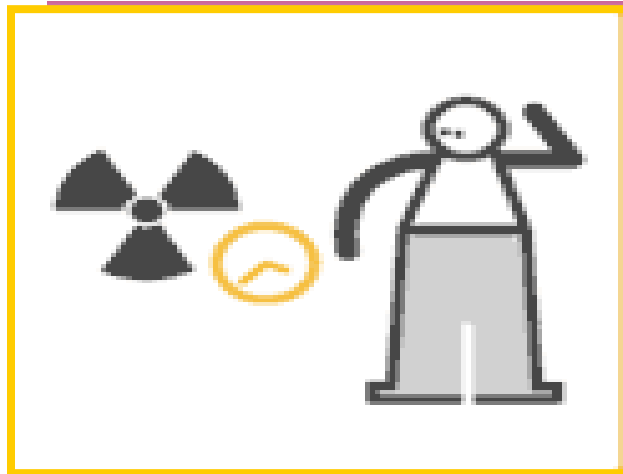
Dosislimieten	publiek	Professioneel blootgestelde personen	Leerlingen en studenten (16-18 jaar oud)
Effectieve dosis (e)	1 mSv per jaar 1 mSv tijdens de zwangerschap	20 mSv per 12 opeenvolgende rollende maanden	6 mSv per jaar

ALARA: dosis zo laag mogelijk houden



Dosisbeperking

1. TIJD



DOSIS IS **EVENREDIG** MET TIJD



Tijd:

- zorgvuldige planning van onderzoeken, dry runs
- RX: beperken van fluoroscopietijden



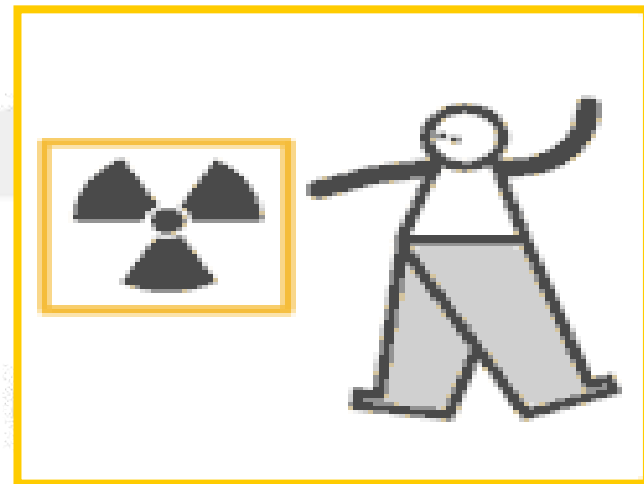


Dosisbeperking

2. AFSCHERMING

INSLUITING

STROOISTRALING

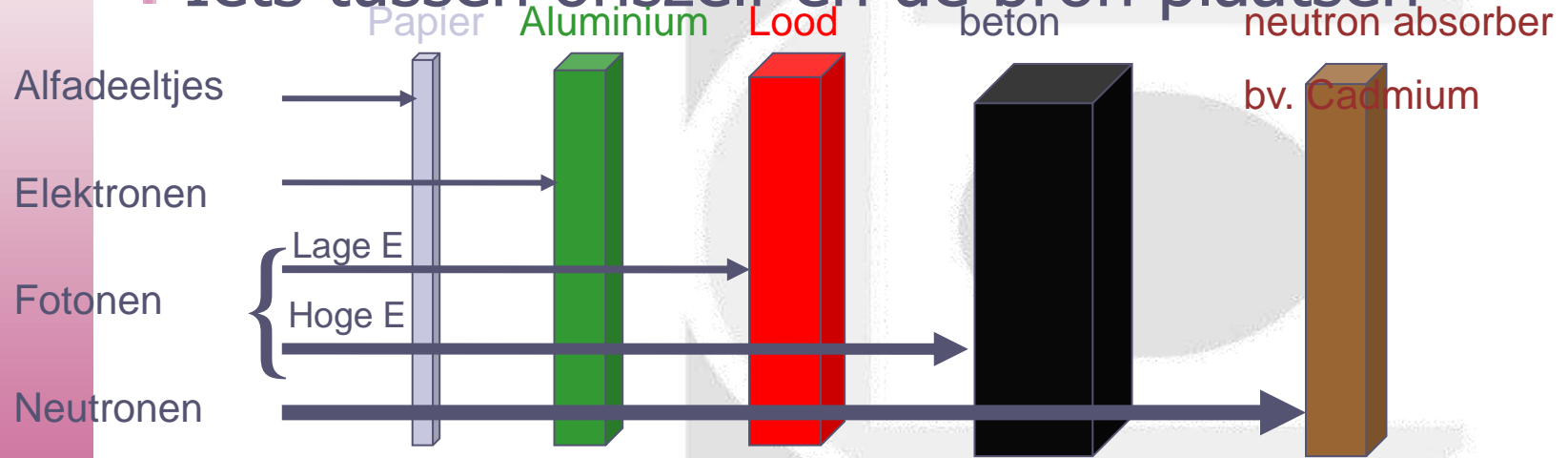




Afscherming:



Iets tussen onszelf en de bron plaatsen

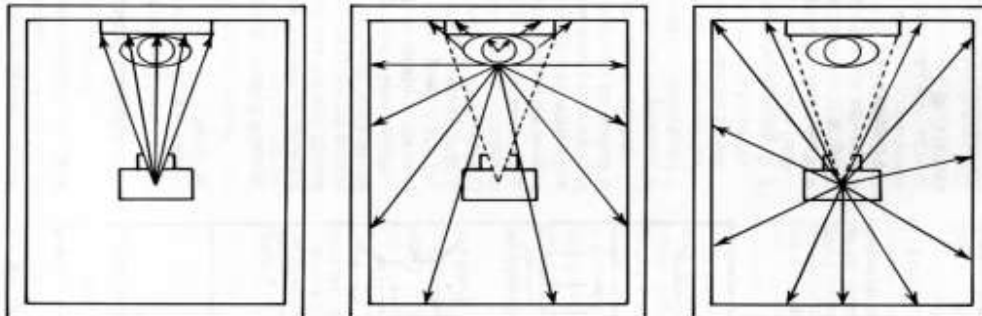




Afscherming:



- Voor hoge energie -> meer lood nodig -> lood wordt relatief minder efficiënt, onpraktisch, duur -> beton
- Primaire straling, strooistraling, lekstraling





Afscherming:

- Straling afschermen onder dosislimiet
- Lood is een goed afschermmateriaal



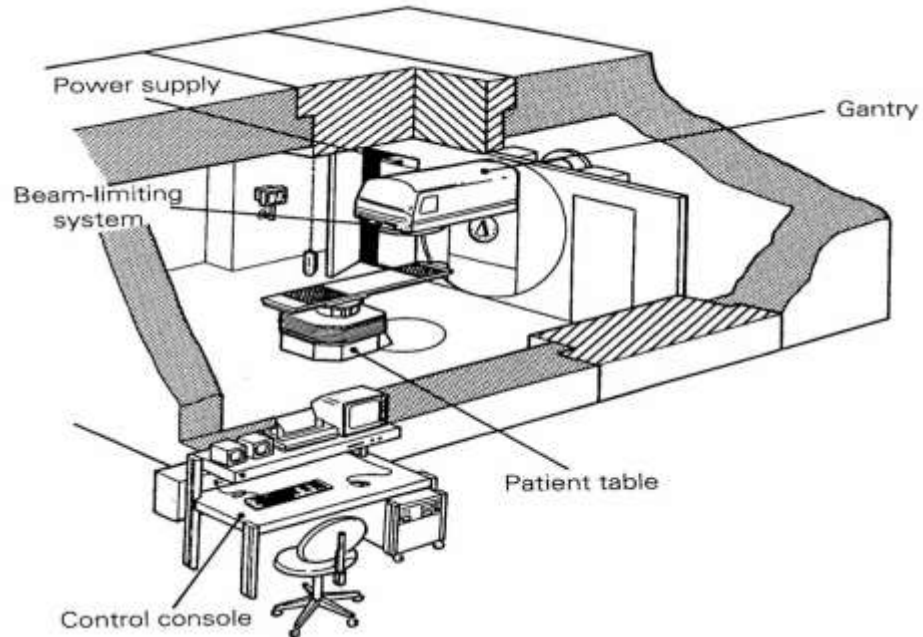


Praktijk



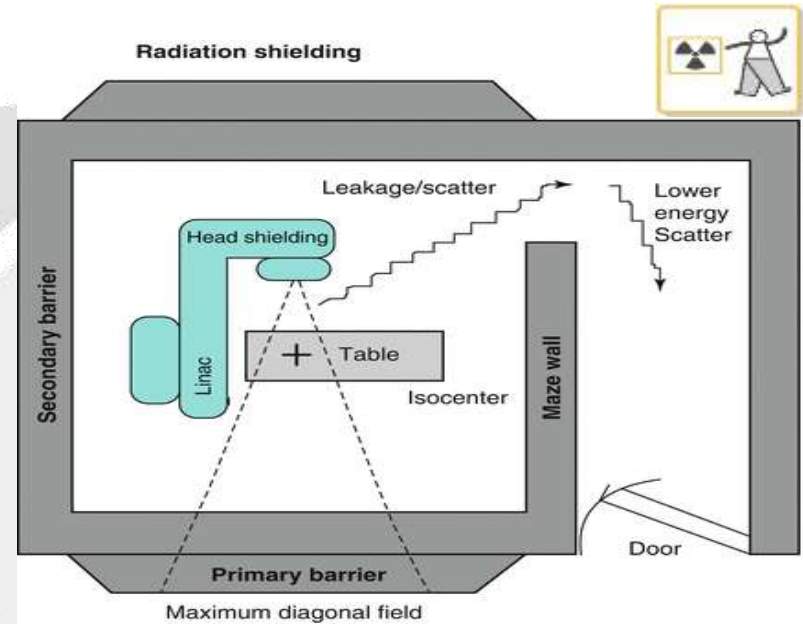


Afscherming:





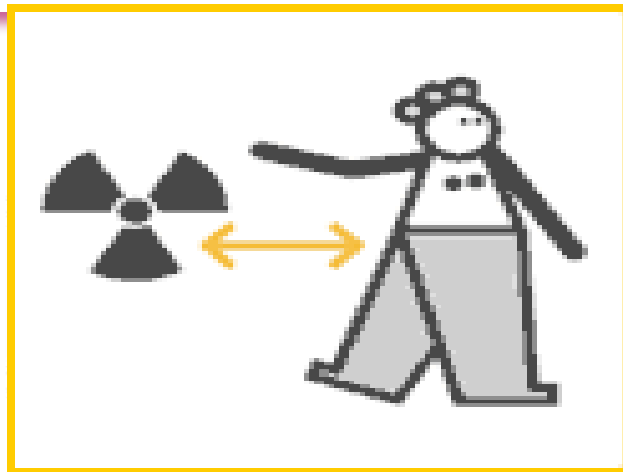
Praktijk





Dosisbeperking

3. AFSTAND



**STRALINGSINTENSITEIT NEEMT AF
MET HET KWADRAAT VAN DE
AFSTAND TOT DE BRON !!!**



Dosisbeperking



- Bedieningsruimte bevindt zich in ander lokaal
- Afstand houden bij scopie



Andere maatregelen

Dosimeters:





Andere maatregelen

- Het waarschuwingsteken moet voorkomen bij elke ingang tot de gecontroleerde zone, en op elk toestel dat ioniserende straling uitzendt.





Andere maatregelen

- Controles
- Getraind personeel
 - Opleiding radioprotectie
 - Goede procedures
- Melden van incidenten
- ...





Bedankt voor uw aandacht!

