



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



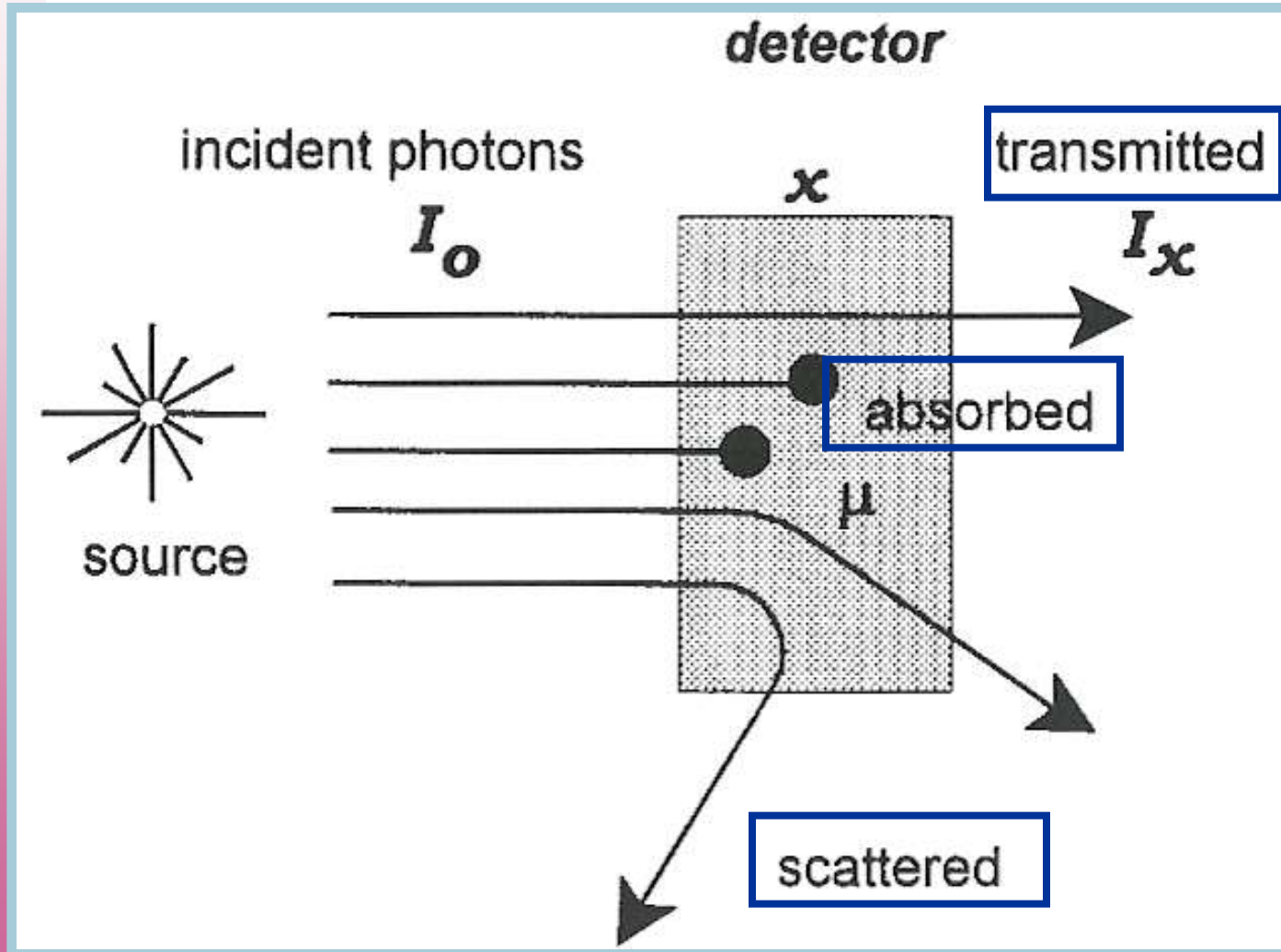
H3: Wisselwerking tussen straling en materie

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

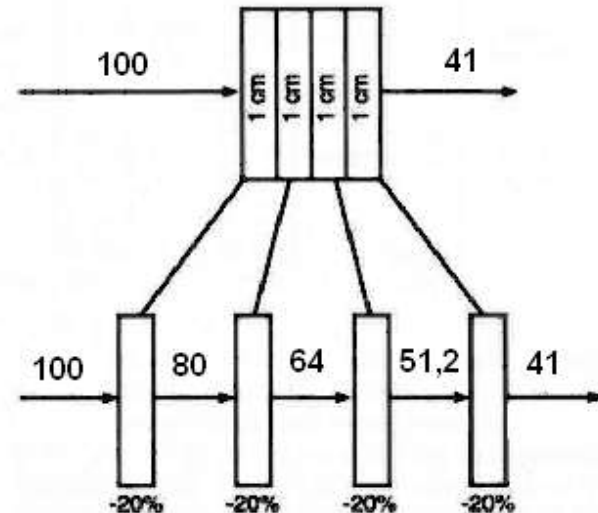
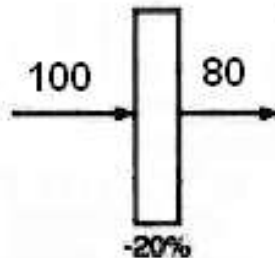
- voor een *mono-energetische* bundel geldt:

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

D = dikte van afscherming

μ = lineaire attentuatiecoëfficiënt

Afhankelijk van soort straling,
energie, soort afscherming





Absorptie van straling

- voor een *mono-energetische* bundel geldt:

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

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

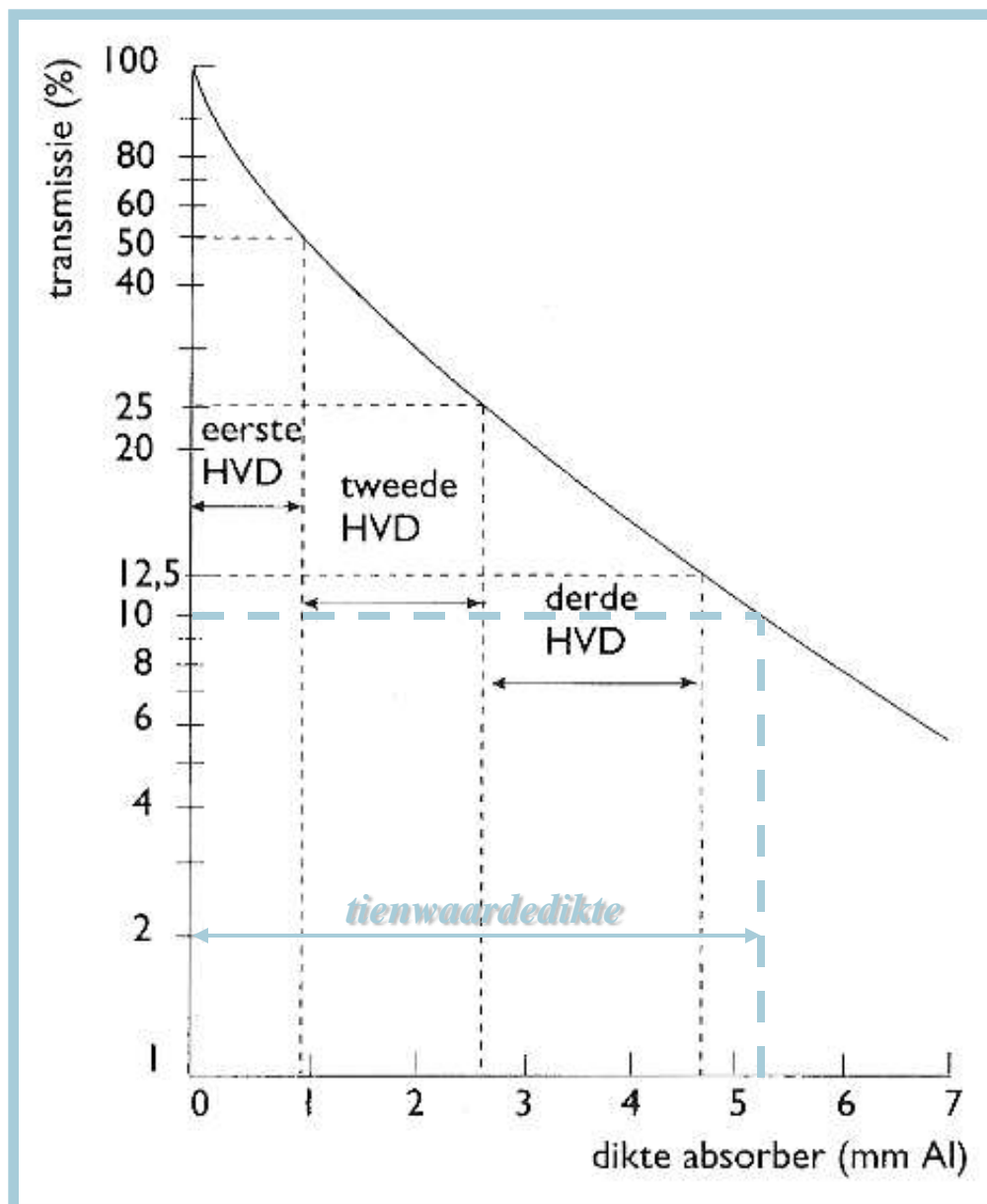
dikte van het materiaal waarbij de intensiteit wordt gehalveerd

- **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 is de beste bescherming?

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



Tijd, afscherming, afstand

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 een 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

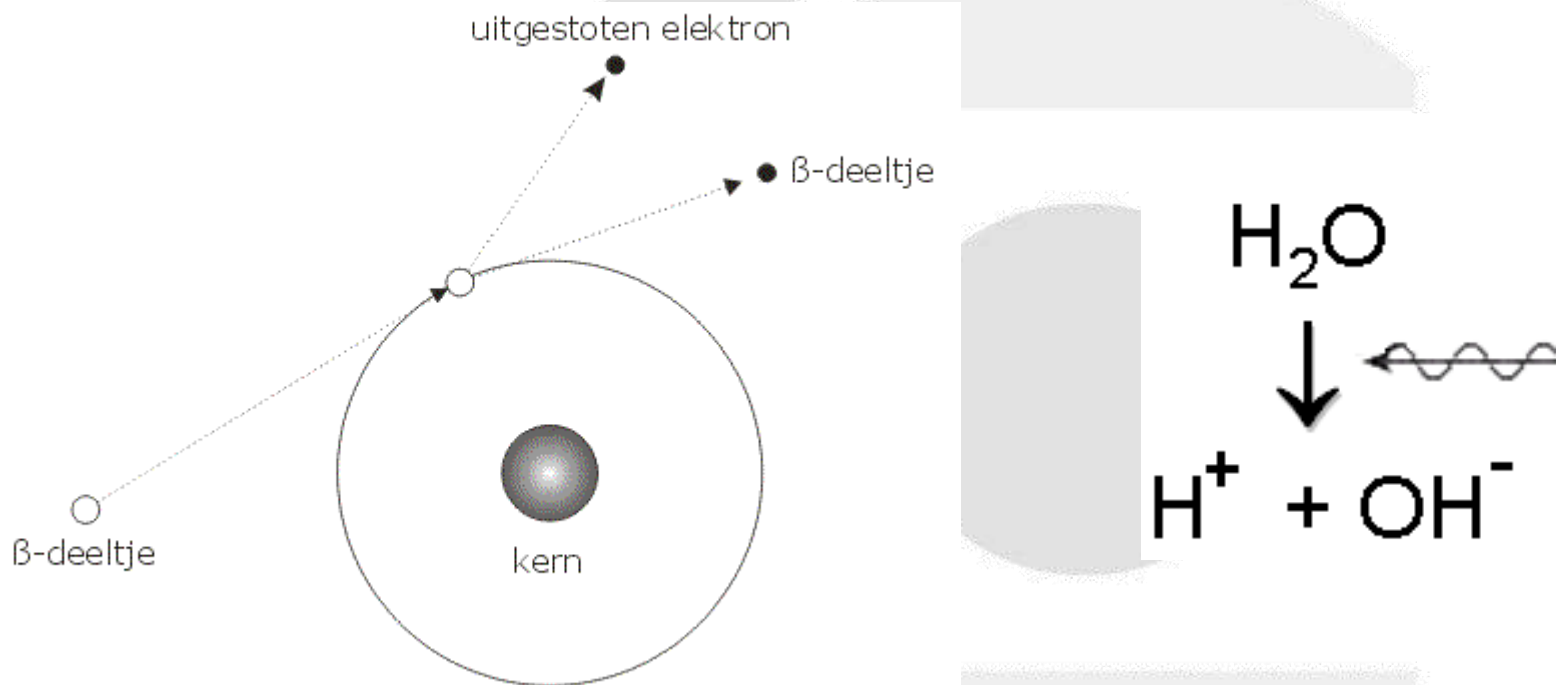
indirect ioniserende straling

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



Geladen deeltjes - Materie

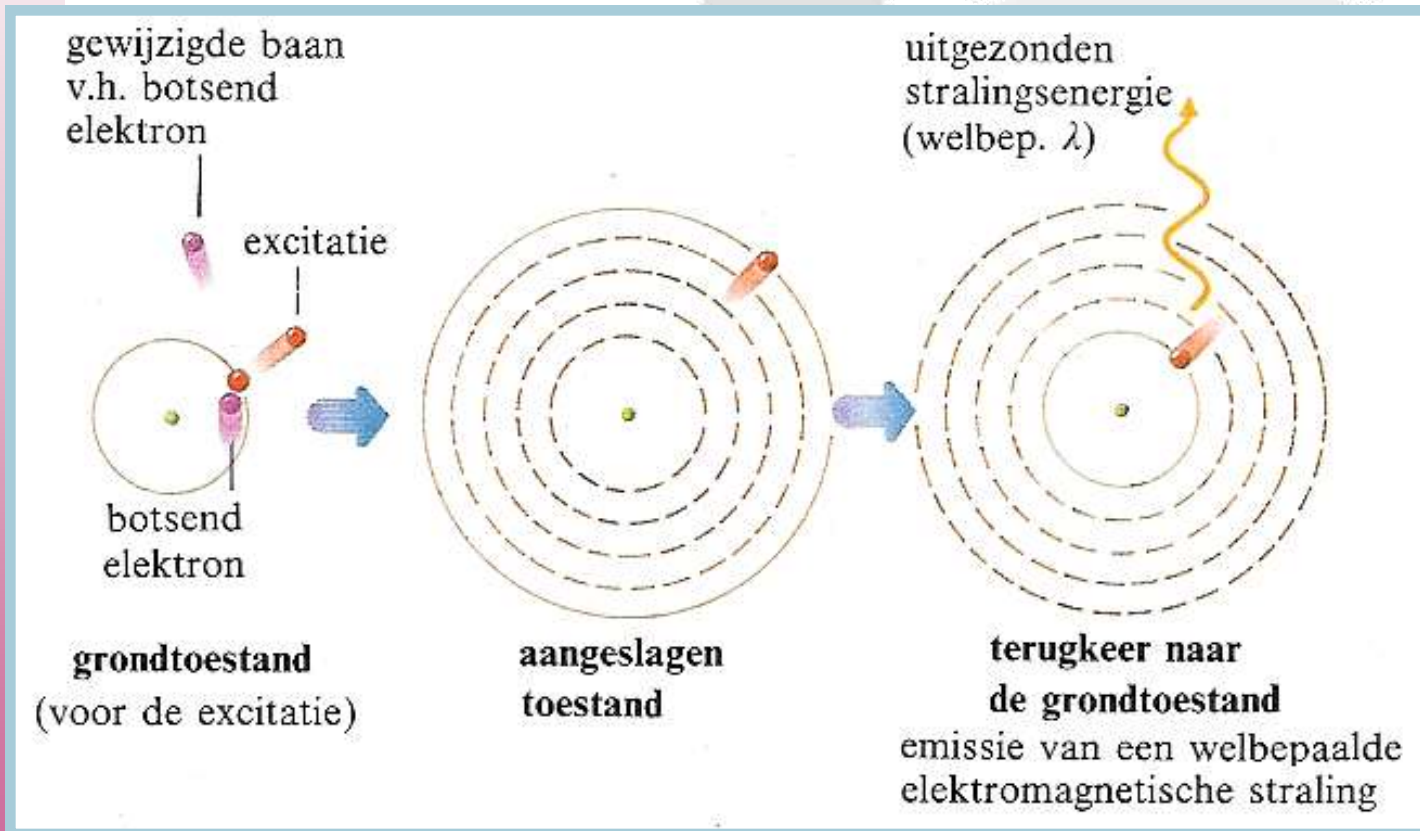
IONISATIE: een elektron wordt vrijgemaakt van het atoom => ionenpaar





Geladen deeltjes - Materie

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

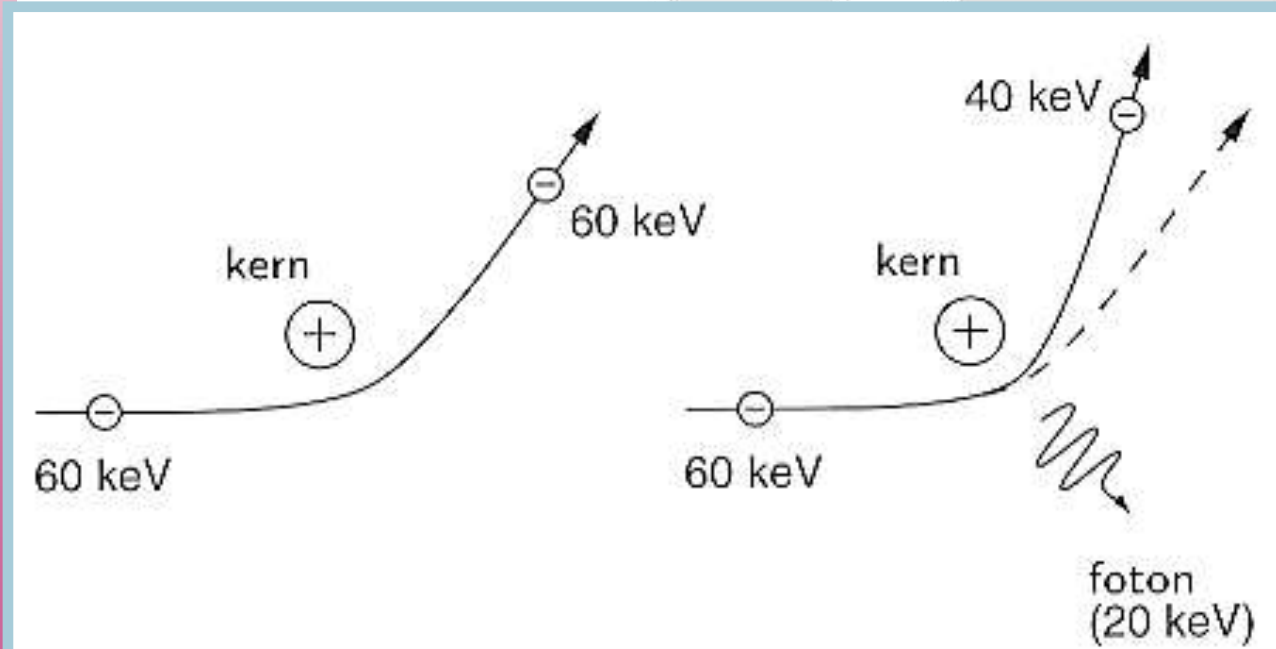




Geladen deeltjes – Materie:

REMSTRALING

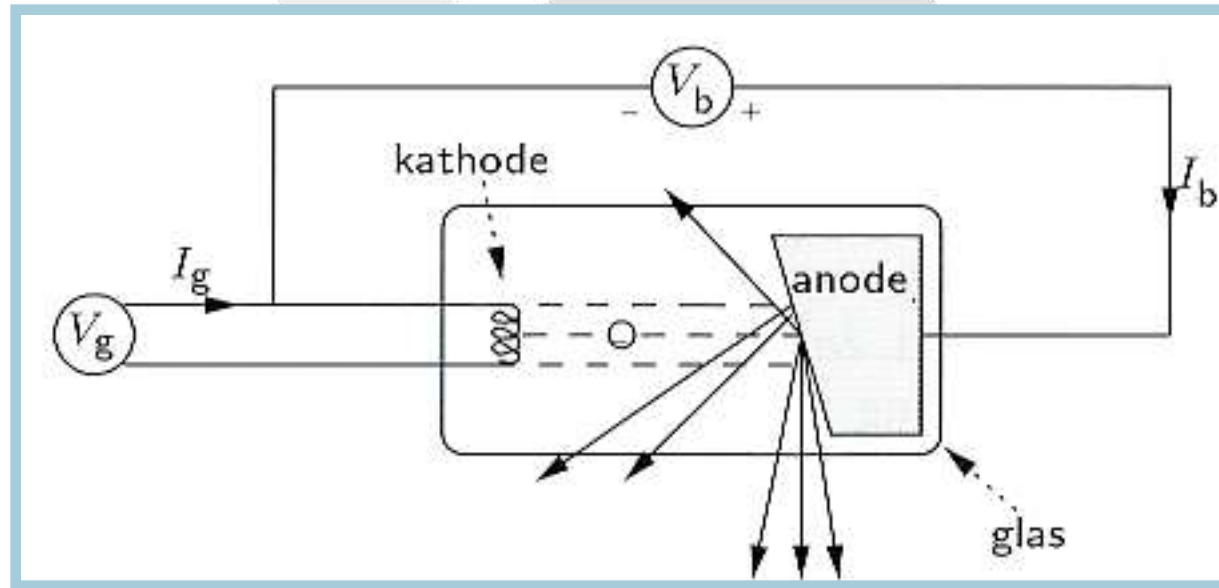
Elektronen kunnen tot vlak bij de atoomkern geraken, deze ondergaan een interactie met deze kern waardoor het elektron energie verliest onder de vorm van een foton \Rightarrow **REMSTRALING**





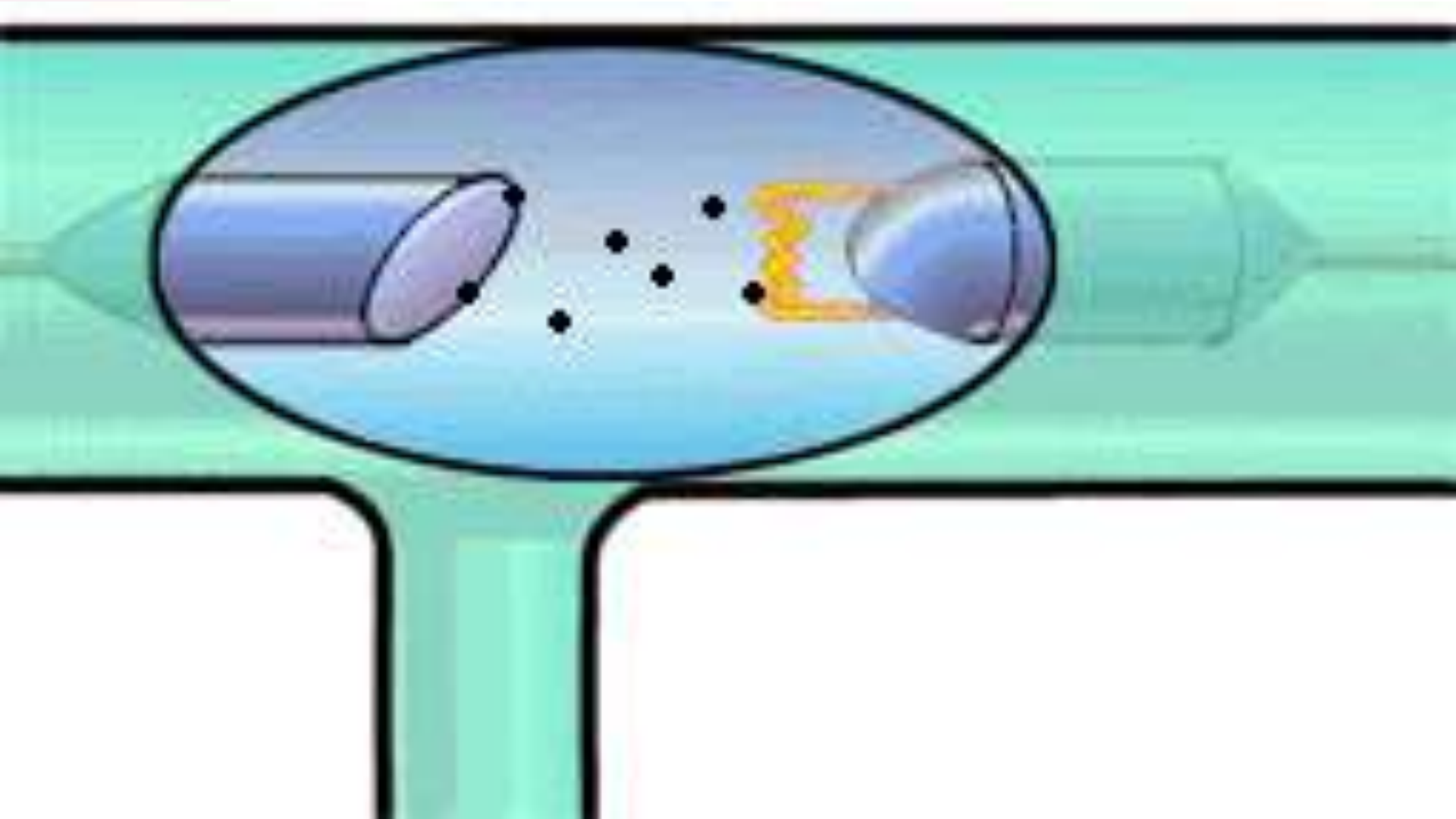
Ioniserende (EM) straling

- **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***

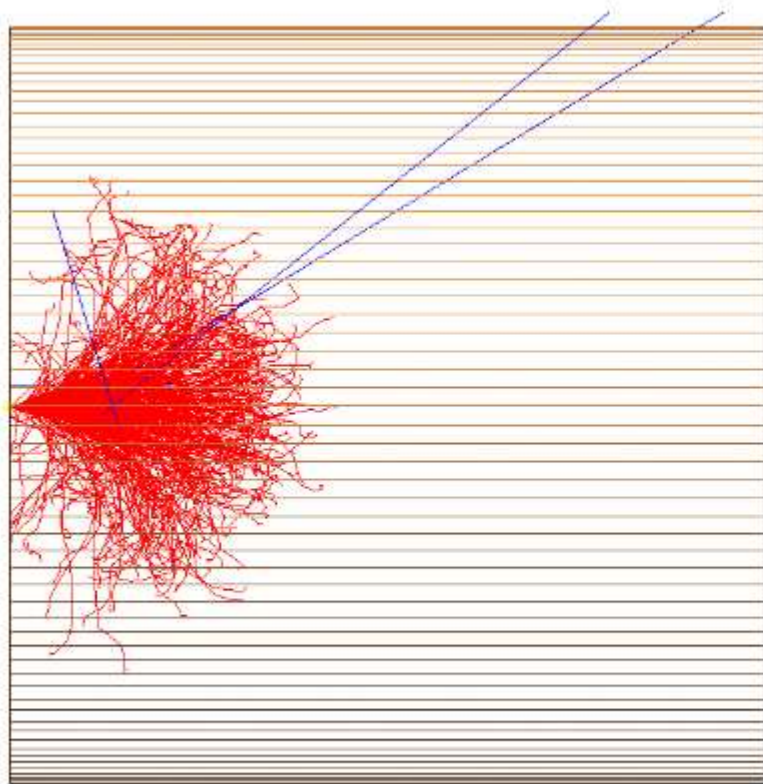
* Energie van elektron/foton is lager dan inkomend elektron

Geeft kettingreactie totdat energie te laag is

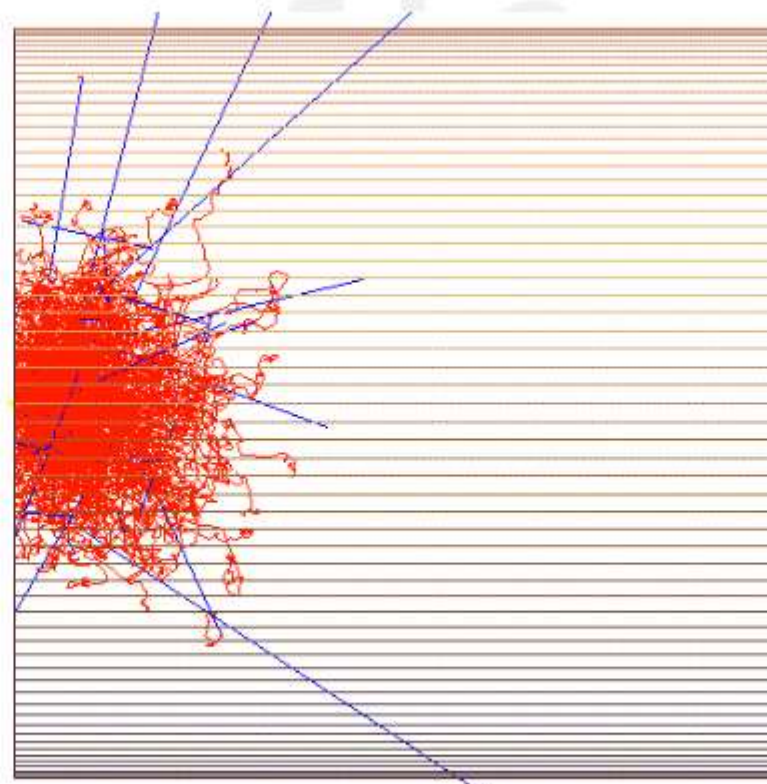


DRACHT van een elektron

1 MeV elektronen in weefsel



1 MeV elektronen in lood



0

0.5

1.0 cm

0

0.5

1.0 mm



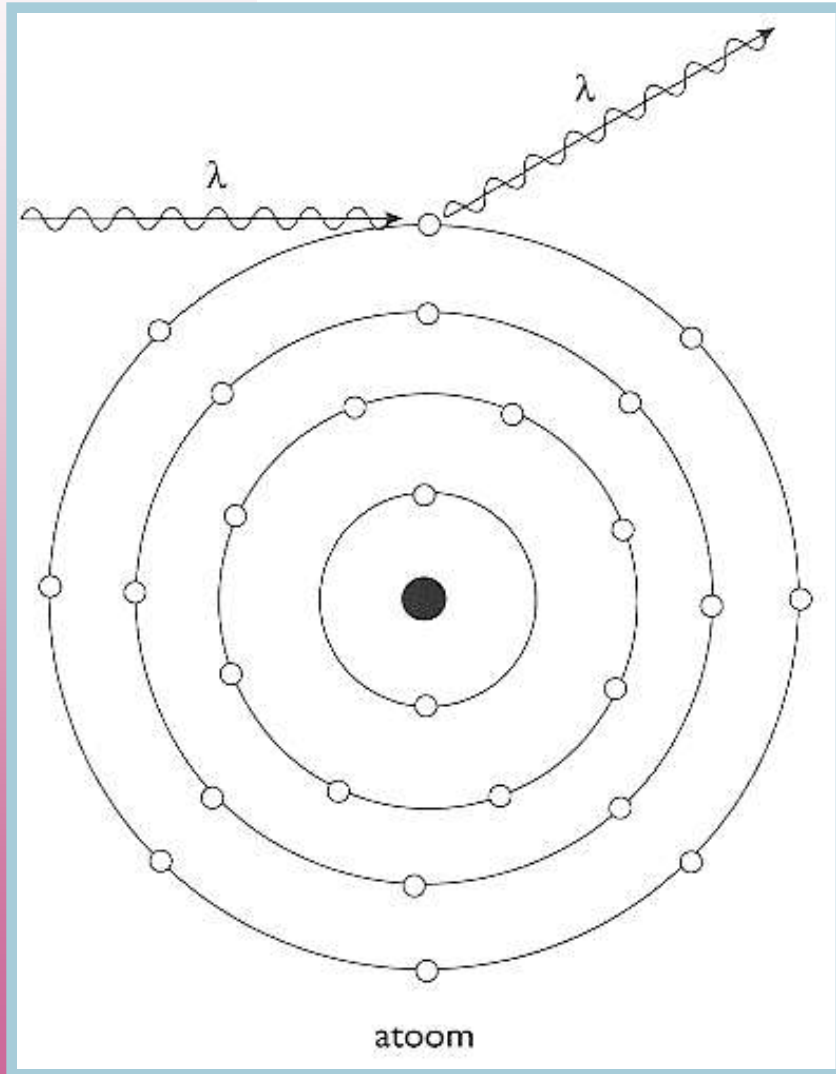
Ongeladen deeltjes - Materie

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





Coherente verstrooiing

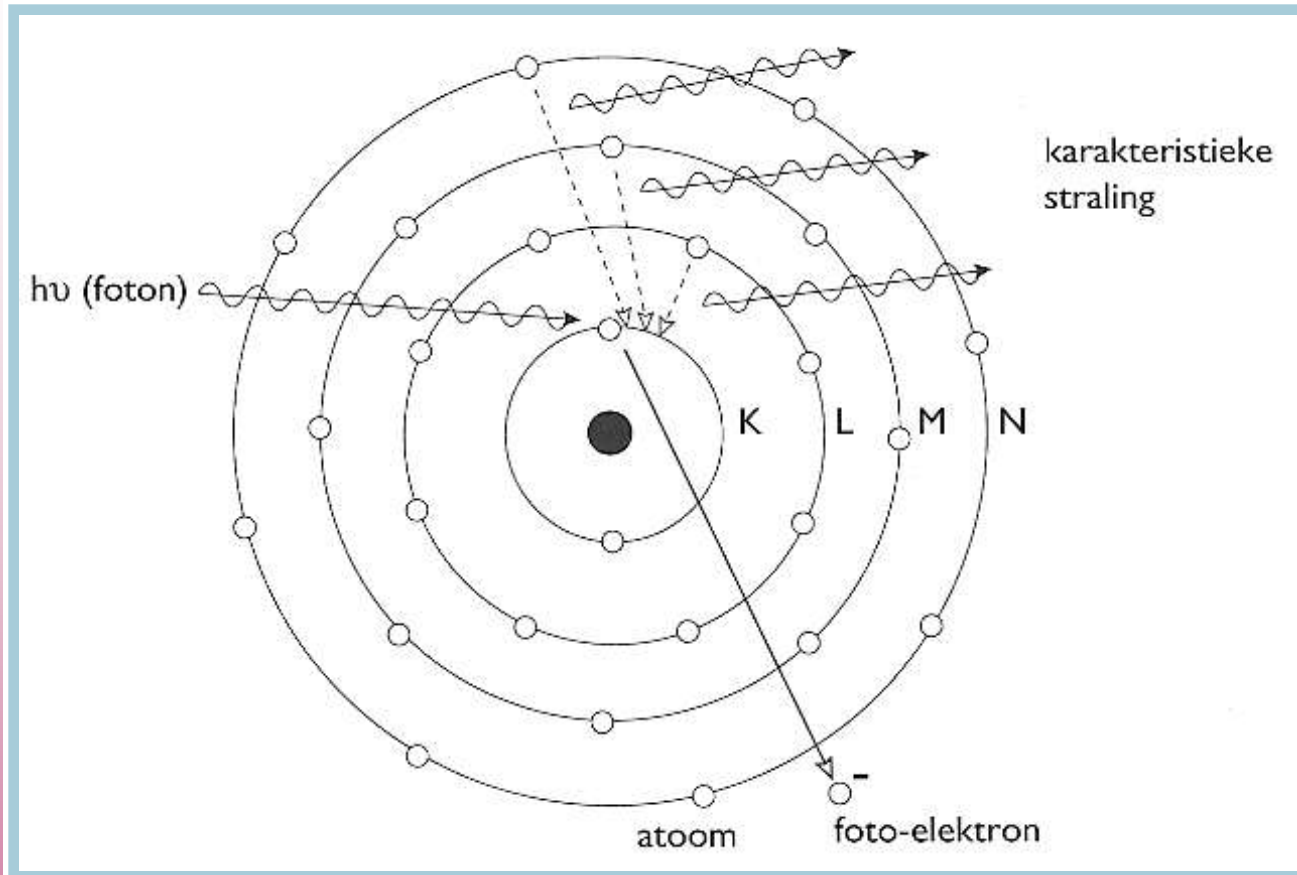


- $E_{\text{foton}} < \text{bindingsenergie}$
- géén energie-afgifte
- belangrijk bij laag energetische fotonen

⇒ **STROOISTRALING**



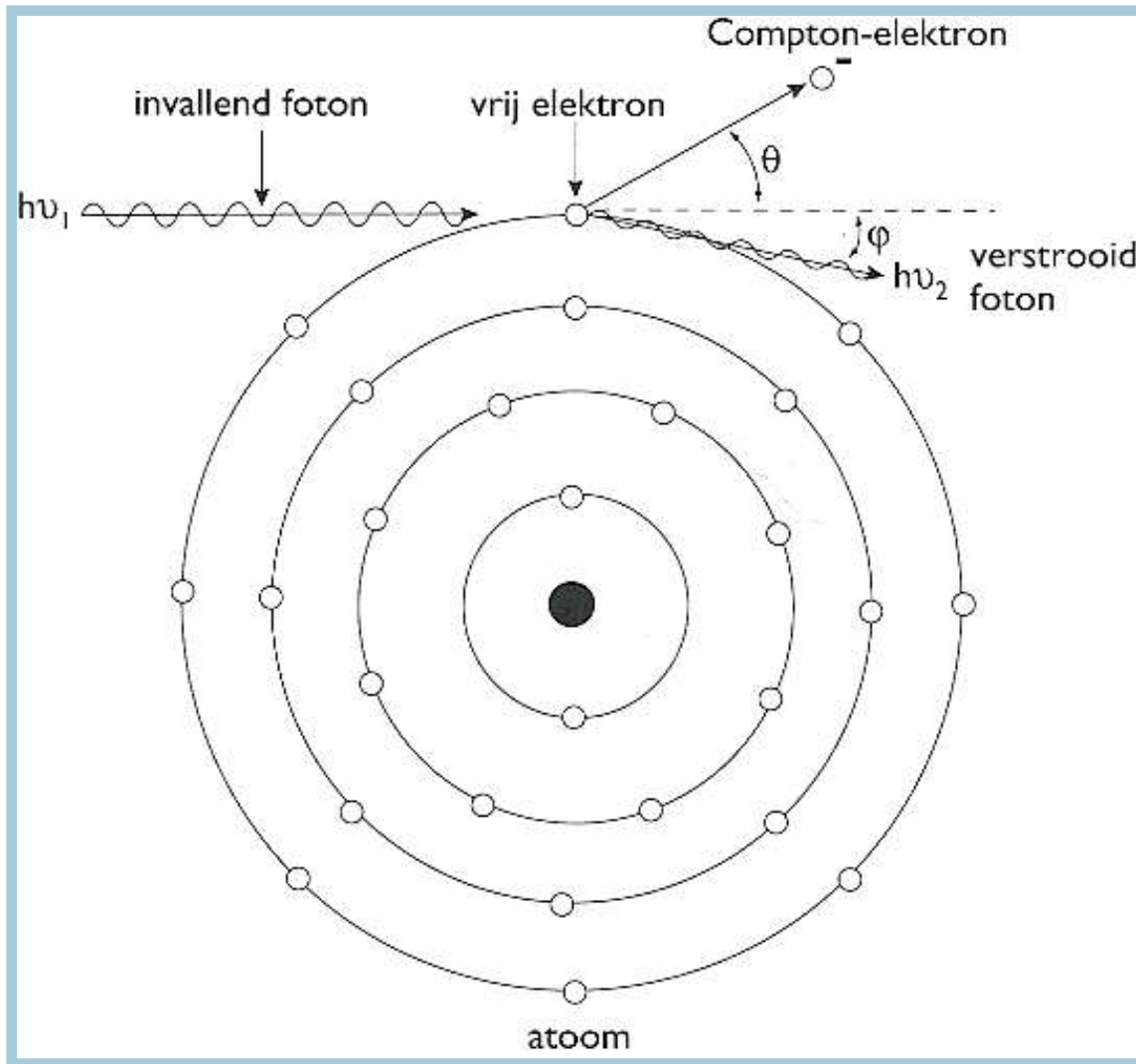
Foto-elektrisch effect



- foton verdwijnt!! \Rightarrow **ABSORPTIE**
- foto-elektron ontstaat



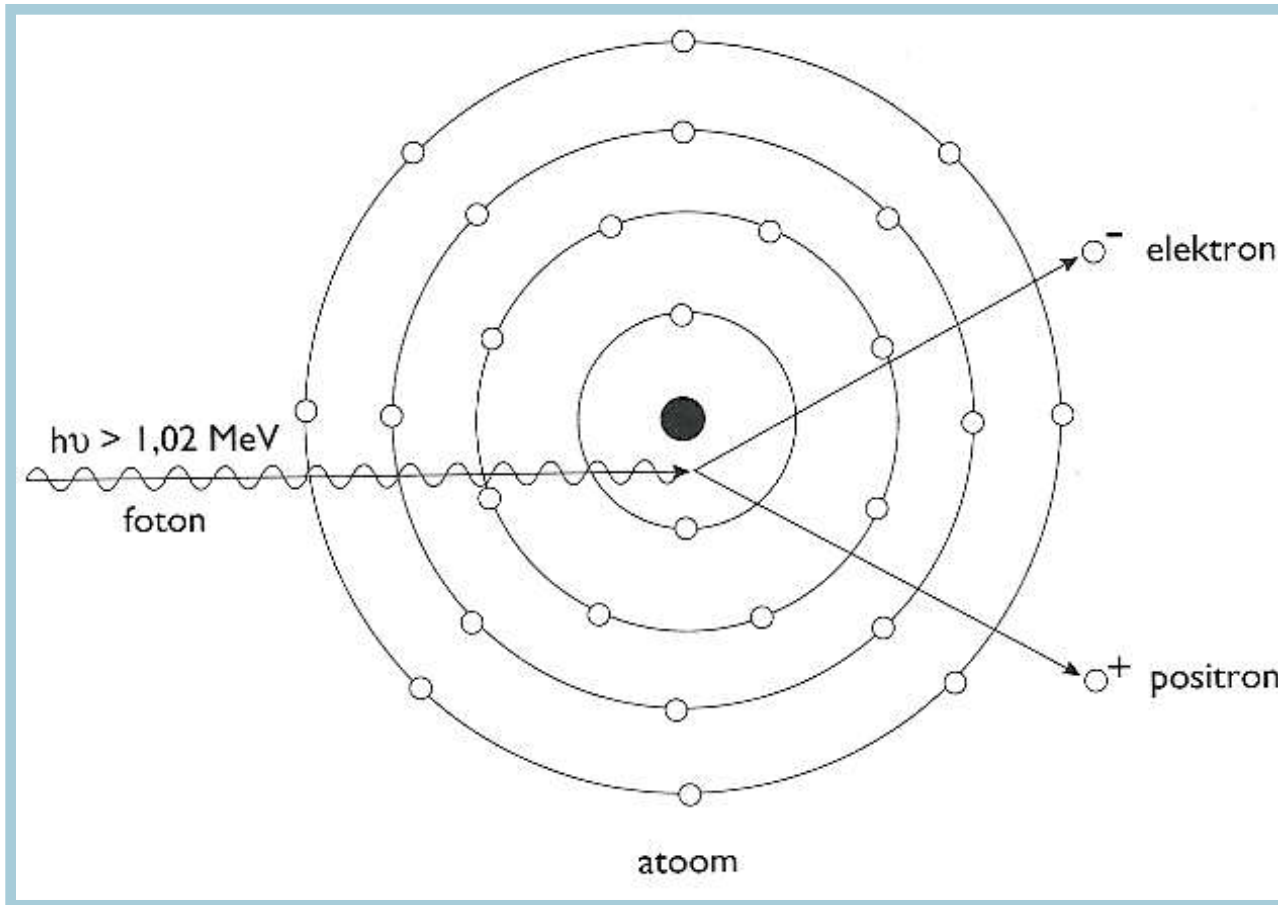
Compton effect



⇒ **STROOISTRALING**



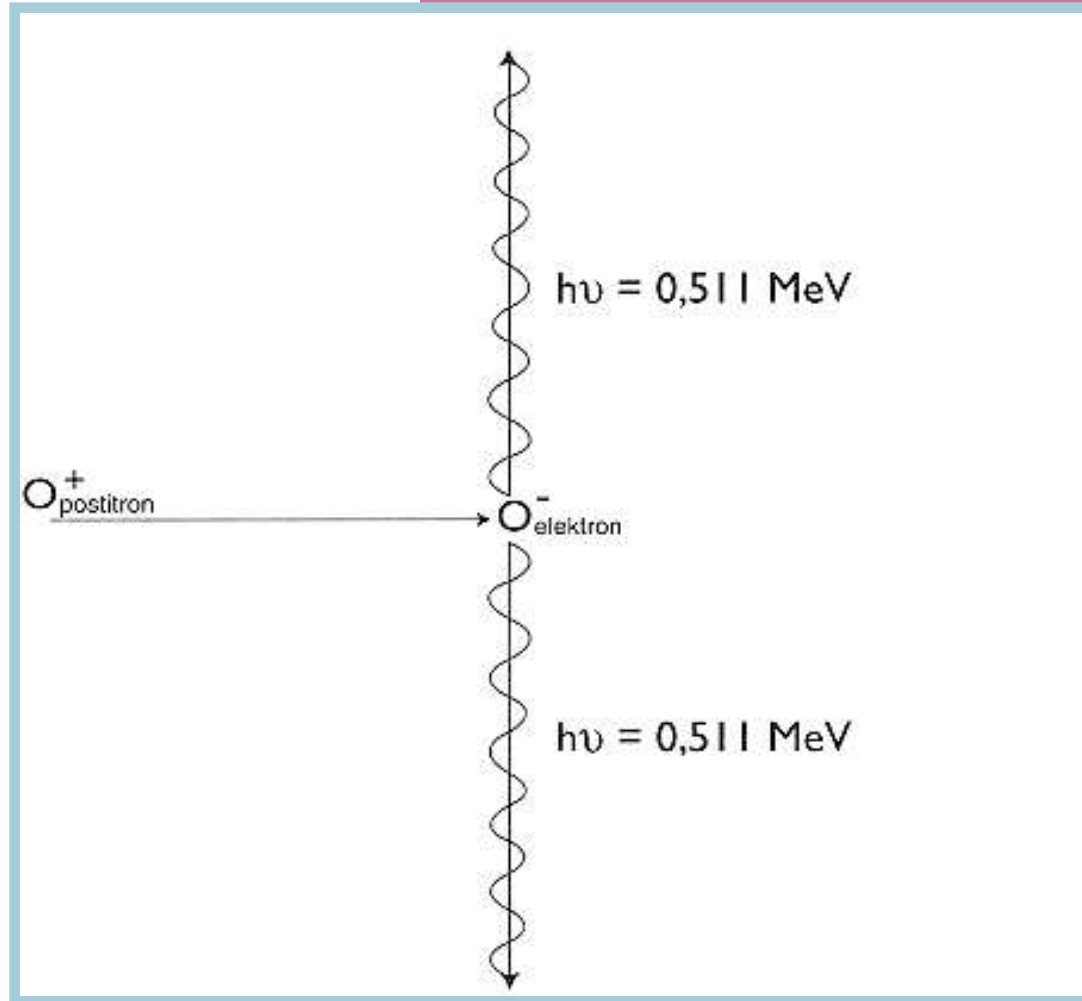
Paarvorming



- energie \rightarrow massa

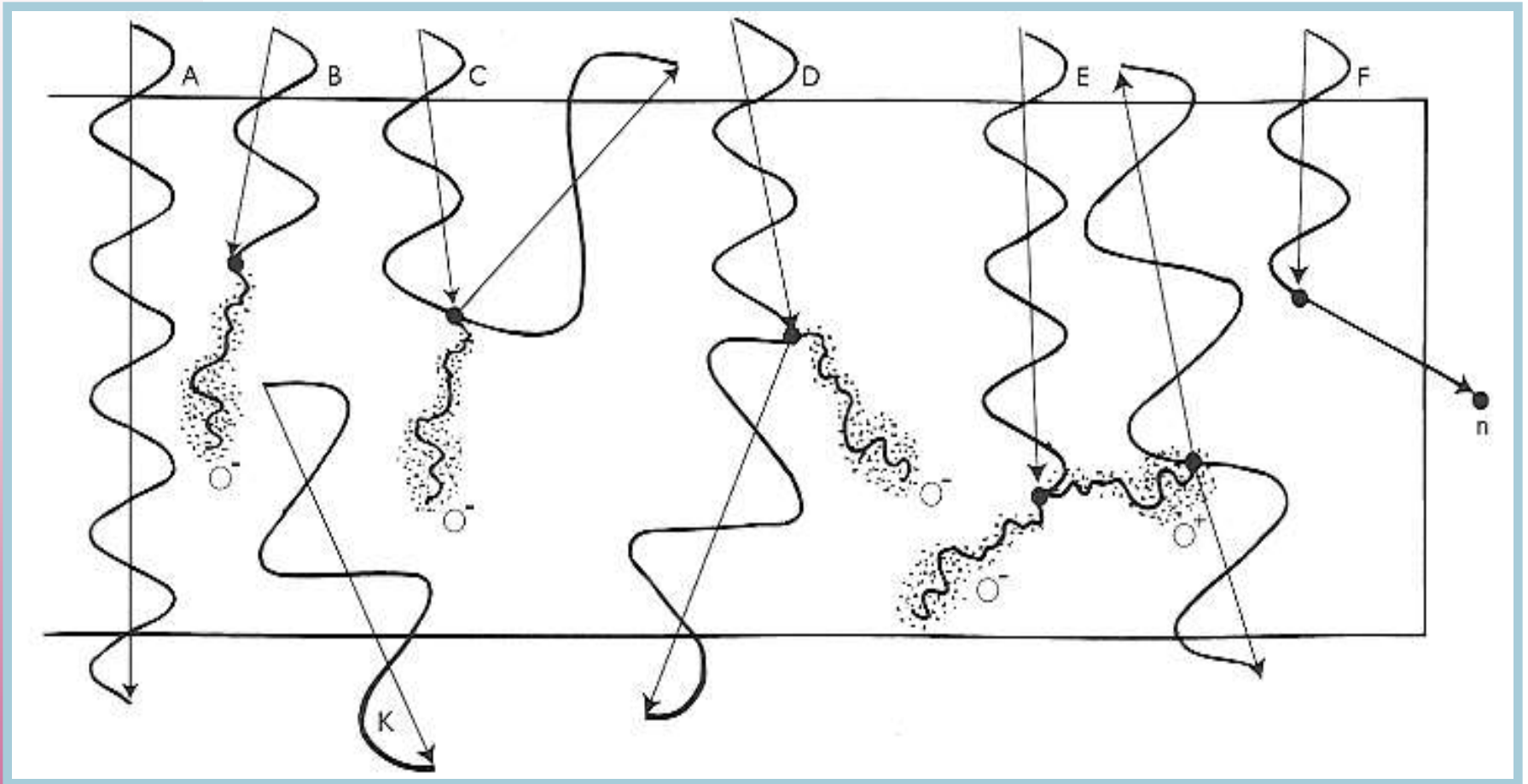


Annihilatie





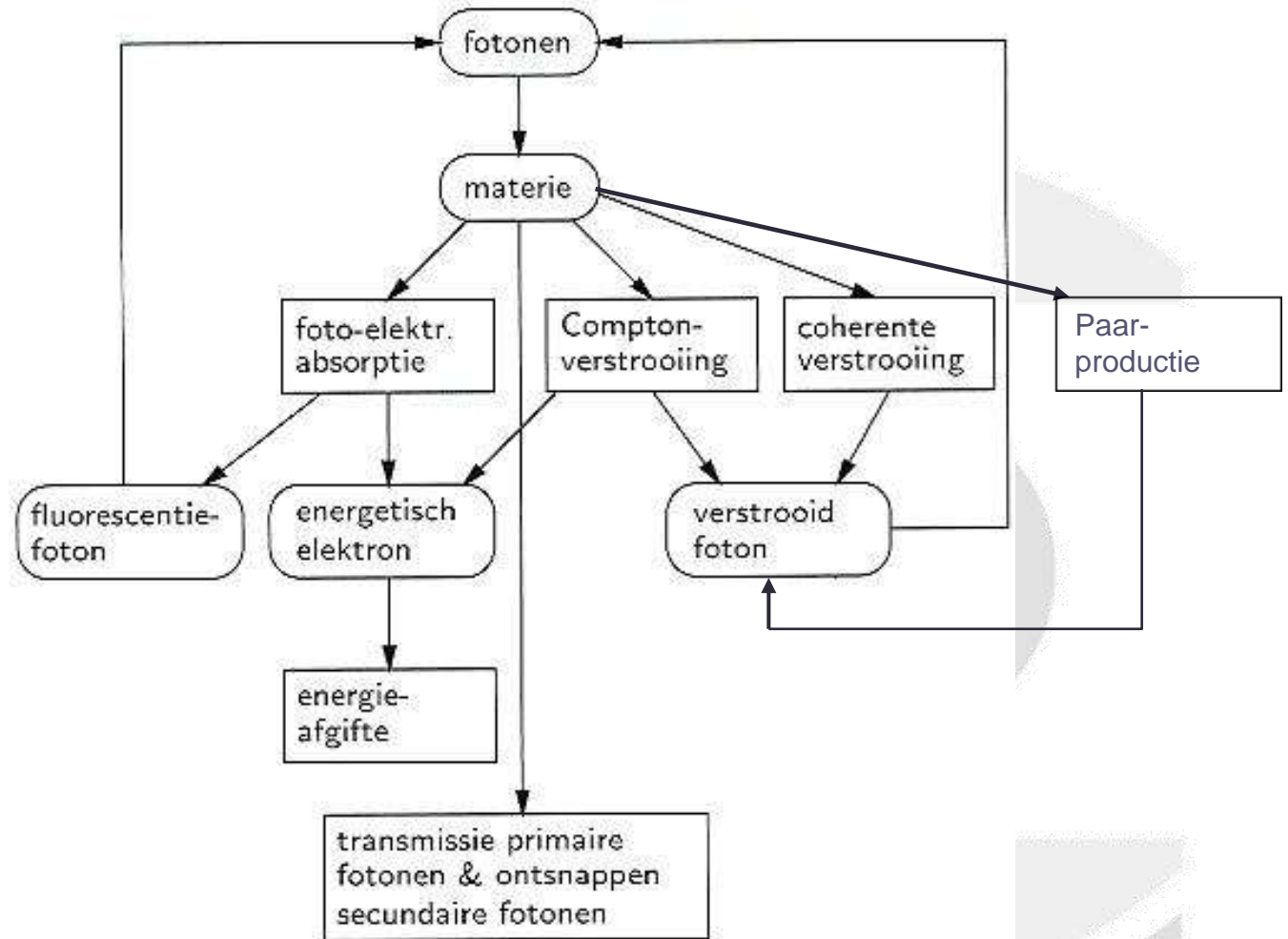
Mogelijke wisselwerkingsprocessen



- 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

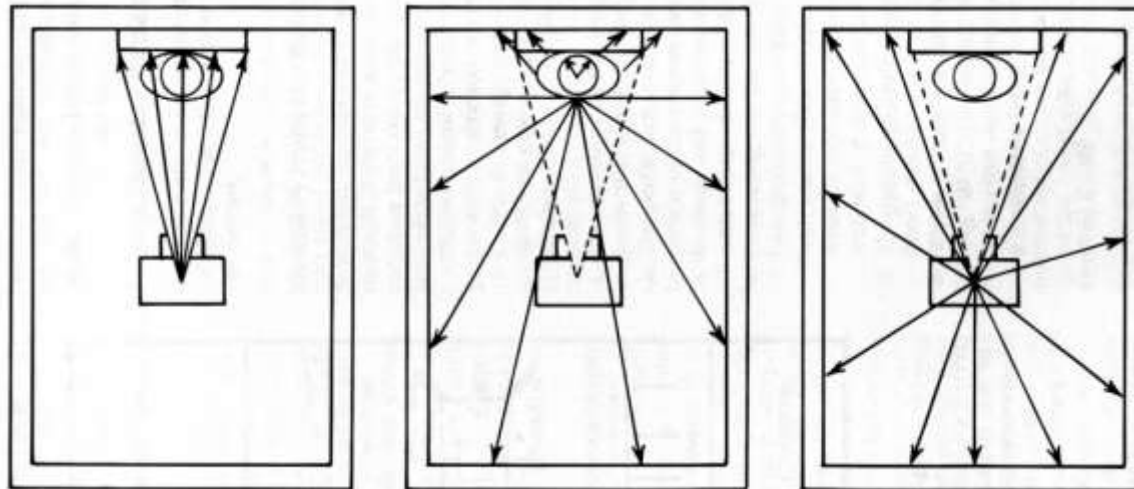


Ongeladen deeltjes – Materie

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 stroostraling)

♠ AFSTAND



Fysische grondslagen radioprotectie

H1: INLEIDING

H2: STRALING - RADIOACTIVITEIT

H3: WISSELWERKING TUSSEN
STRALING EN MATERIE

H4: STRALINGSEENHEDEN EN GROOTHEDEN

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

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

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

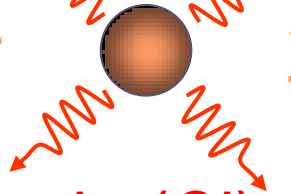


RADIOACTIVITEIT

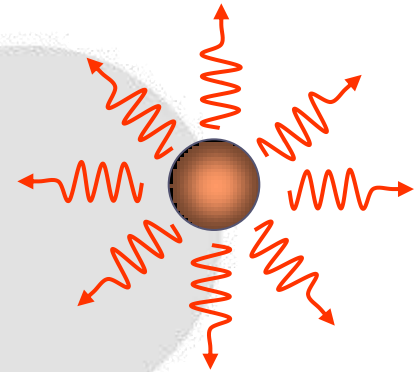
- radioactiviteit = aantal kernen dat per seconde vervalt
- SI-eenheid, **Becquerel (Bq)**

1 Bq = verval van één kern per seconde

WEINIG ACTIVITEIT



VEEL ACTIVITEIT



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

1 Ci = activiteit van 1 gram radium-226

$$1 \text{ Ci} = 3.7 * 10^{10} \text{ Bq}$$



RA VOORBEELDEN

- *Prostaat* implantaten met ^{125}I zaadjes die een activiteit hebben van:
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* voor in-stent restenosis:
1,7 GBq (46 mCi) ^{90}Sr
- *LDR brachytherapie* met ^{192}Ir draad:
90 mCi of 3.33 GBq (PDR: 1 Ci of 37 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 $\pm 2\text{mSv}$
- conventioneel **thoraxonderzoek**: effectieve dosis van ongeveer 0.09mSv
- **CT-thoraxonderzoek**: de effectieve dosis kan $5\text{-}15\text{ mSv}$ bedragen, voor verschillende lokalisaties kan dit oplopen tot bijna 50 mSv !
- Overzichtsfoto van de **buik**: levert doorgaans een effectieve dosis van ca 1mSv op
- **CT-buikonderzoek**: ongeveer $10\text{-}25\text{ mSv}$
- **Lumbale wervelkolom**: een effectieve dosis van ca 2mSv



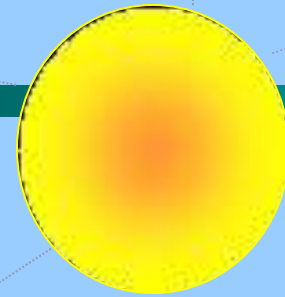
EQ. DOSIS VOORBEELDEN

- **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

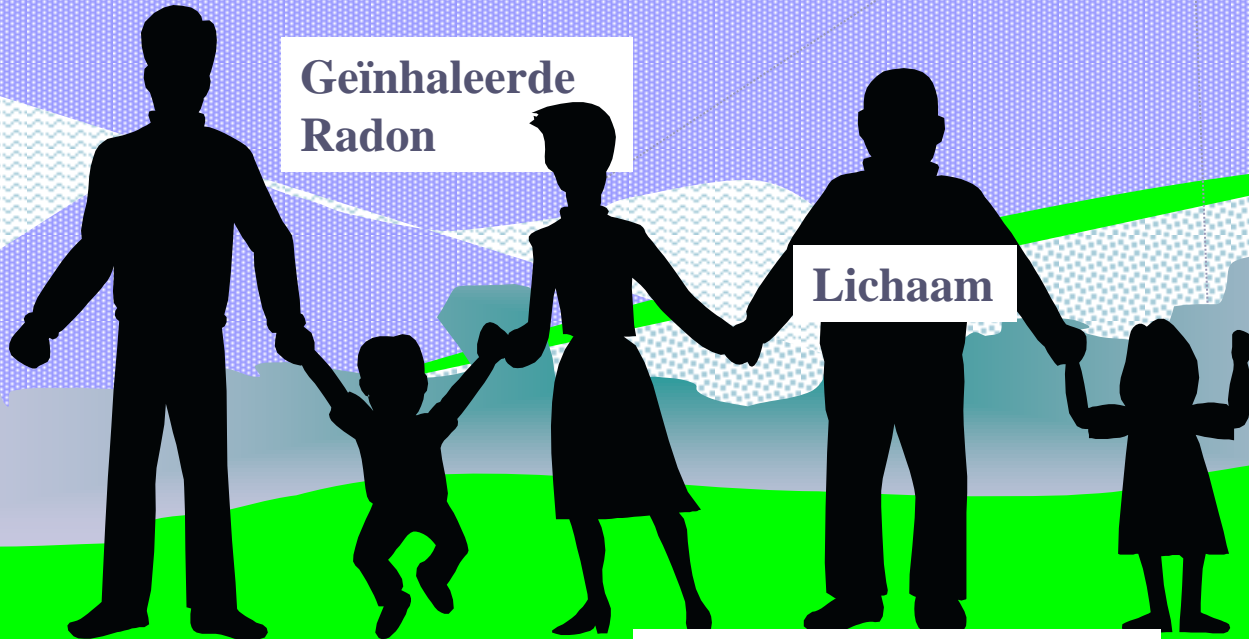
Geïnhaleerde
Radon

Lichaam

Planten

Gesteente

Radioactieve elementen





Tussendoortje

☞ <u>natuurlijke achtergrondstraling</u>	mSv/jaar
kosmische straling	0,40
bodem en bouwmaterialen	
- uitwendige bestraling	0,50
- inwendige bestraling	1,20
radioactiviteit in het lichaam	0,30
subtotaal:	2,40
☞ <u>kunstmatige stralingsbelasting</u>	
☞ gezondheidszorg	0,95
☞ energieproductie kerncentrales	0,02
☞ gebruiksgoederen	0,01
☞ fall-out	0,01
☞ Tsjernobyl	0,01
☞ subtotaal:	1,00
☞ Totaal	3,40



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





Basisprincipe radioprotectie

Hoge dosis veroorzaakt direct waarneembare schade

Lage dosis houdt risico in op langere termijn

=> dosis beperken mbv

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



Basisprincipe radioprotectie

Dosislimieten

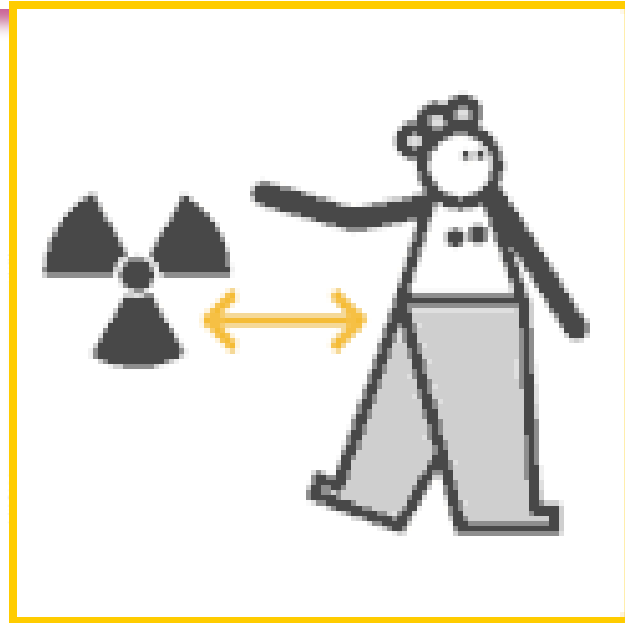
Dosislimieten	publiek	Professioneel blootgestelde personen	Leerlingen en studenten (16-18 jaar oud)
Effectieve dosis (e)	1 mSv per jaar 1 mSv tijdens de zwangerschap	20 mSv per 12 opeenvolgende rollende maanden	6 mSv per jaar

ALARA: dosis zo laag mogelijk houden



Dosisbeperking

1. AFSTAND



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

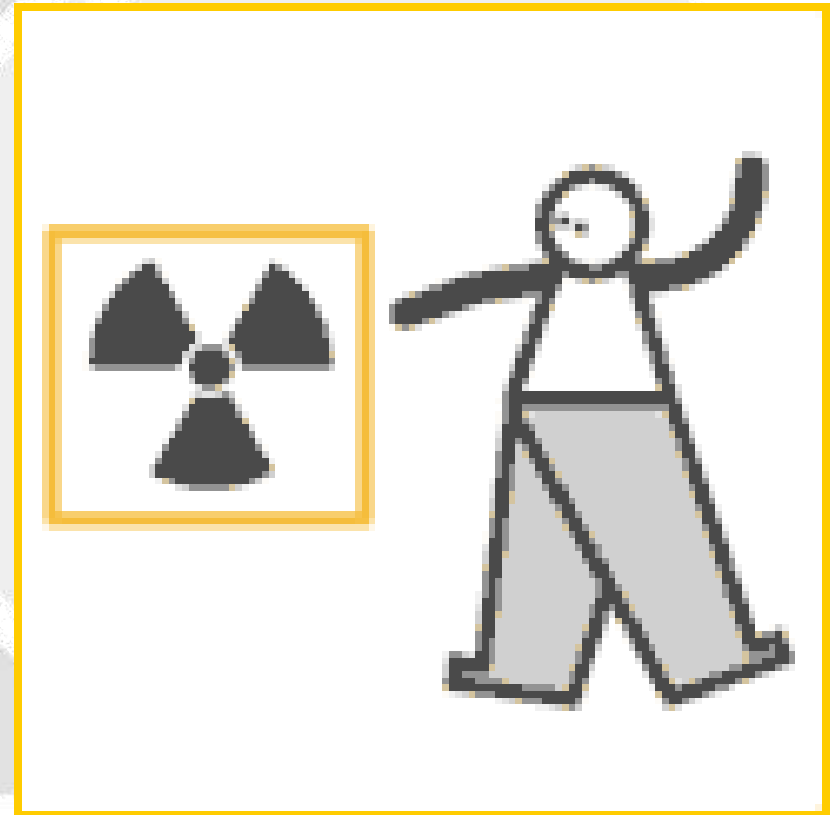


Dosisbeperking

2. AFSCHERMING

INSLUITING

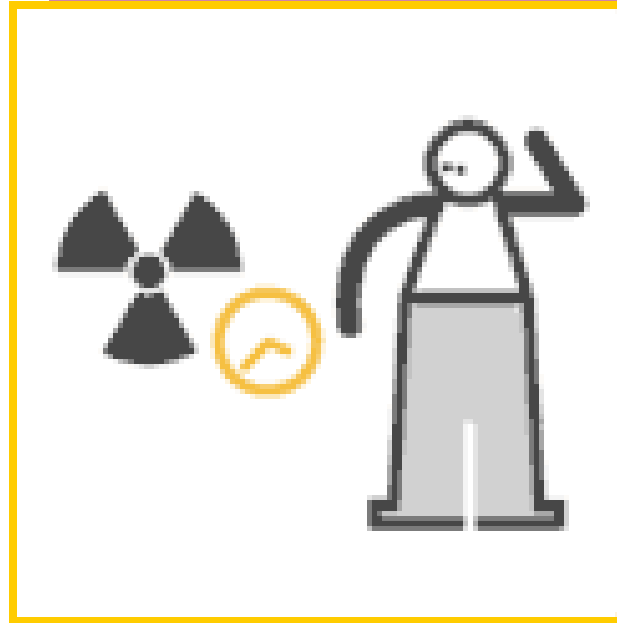
STROOISTRALING





Dosisbeperking

3. TIJD



DOSIS IS **EVENREDIG** MET TIJD