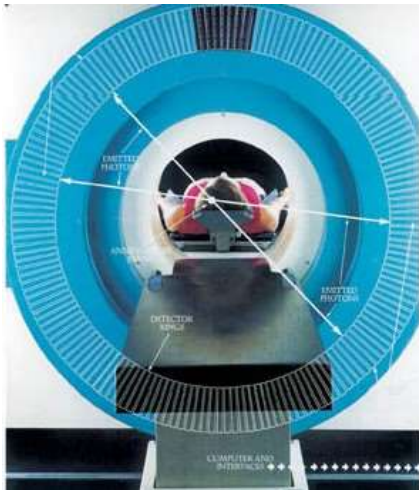


Detectie van ioniserende straling

... Hoe zat dat ook al weer?

Medische beeldvorming



Dosistempometer



Poortdetectorsystemen



Detectie van ioniserende straling

1. Ioniserende straling
2. Wisselwerking

Soorten detectoren:

3. Ionisatiedetector
4. Scintillatiedetector
5. Fotografische emulsie

6. Toepassingen



1. Ioniserende straling

Deeltjes straling

- α alfastraling:** heliumkernen
- β^- bètastraling:** elektronen (e^-)
- β^+ bètastraling:** positronen (e^+)
- n neutronen**

Elektromagnetische Straling

Fotonen:

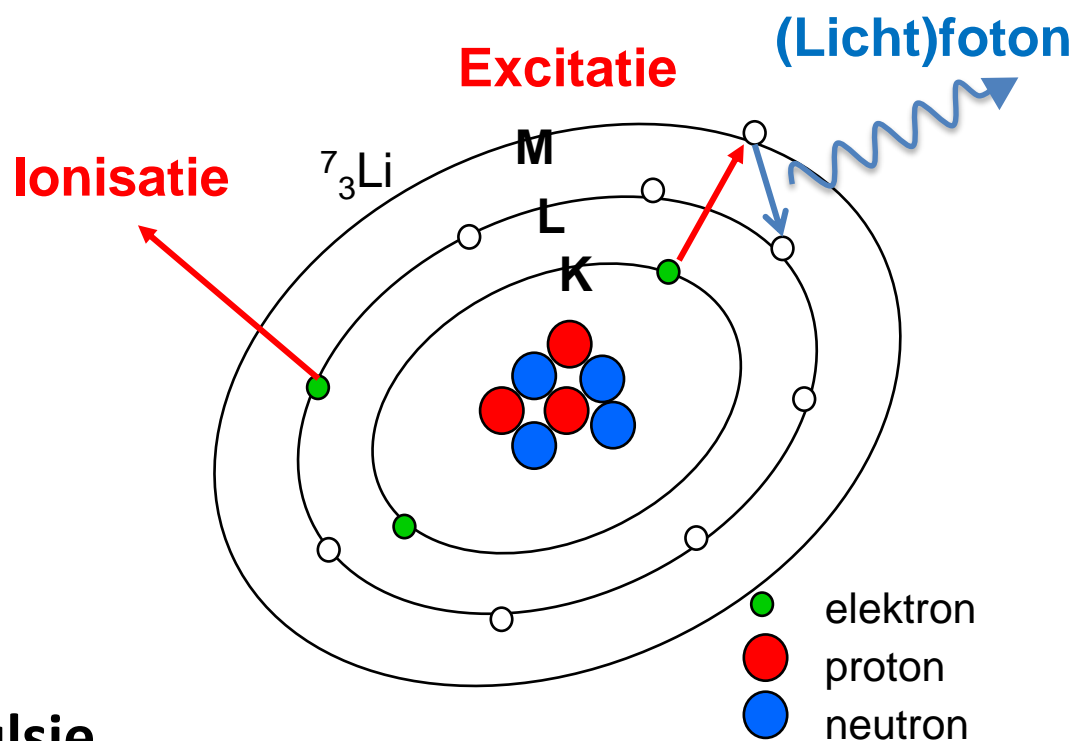
γ - straling
röntgen-straling



2. Wisselwerking met detectiemateriaal

→ *energie-afgifte: detectie*

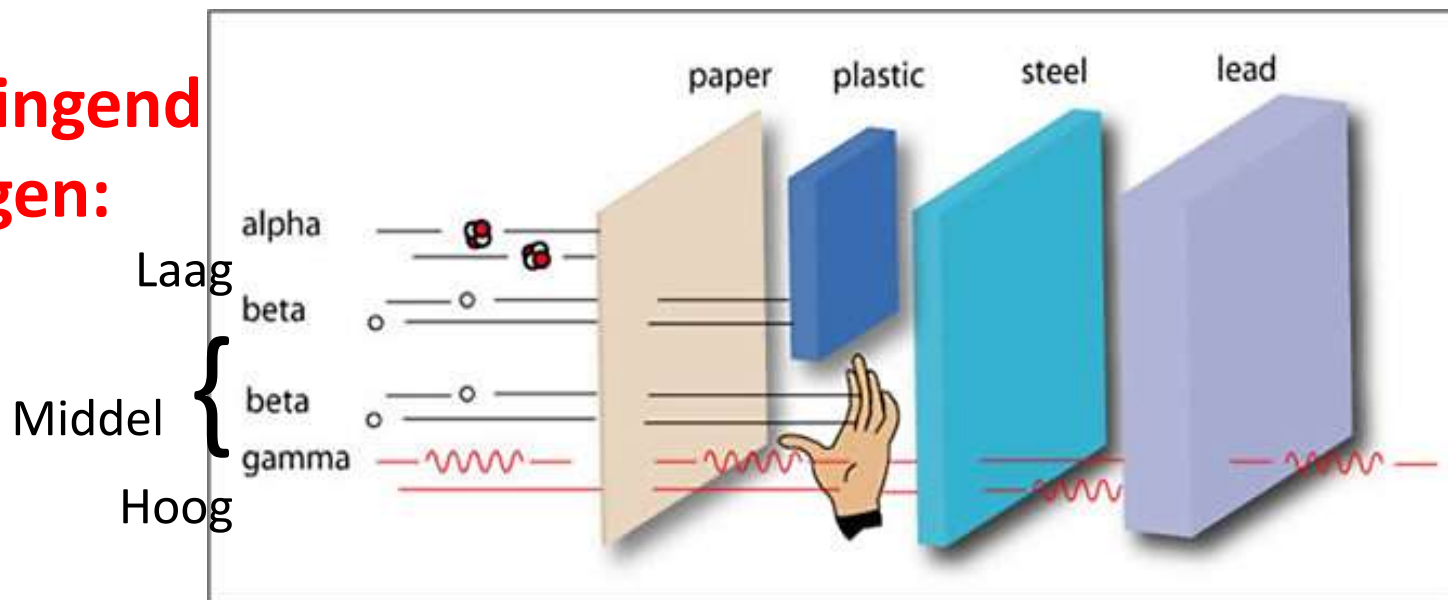
- **Ionisatie-**
detectoren
- **Scintillatie-**
detectoren
- **Fotografische emulsie**



2. Wisselwerking met detectiemateriaal

α , β : deeltjes, hebben een massa, kunnen volledig gestopt worden

**Doordringend
Vermogen:**

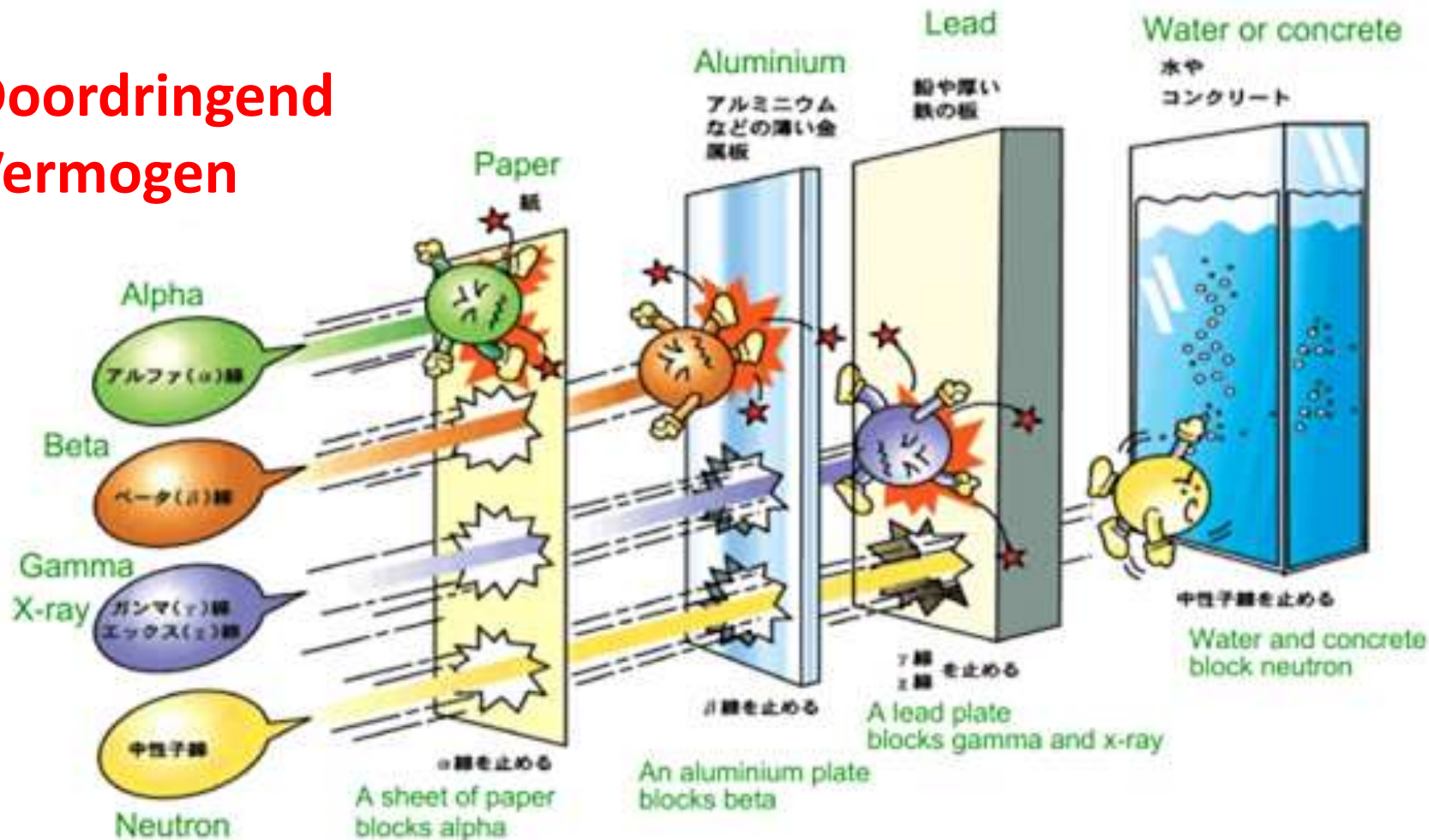


Fotonen (gamma en röntgen):

Geen massa, nooit helemaal te stoppen

2. Wisselwerking met detectiemateriaal

Doordringend Vermogen



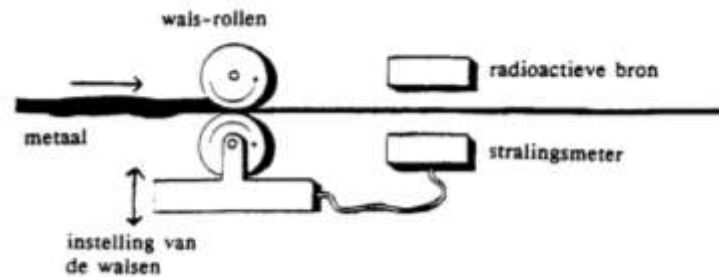
2. Wisselwerking met detectiemateriaal

Keuze detectormateriaal

Soort straling	Doordringend vermogen	Detectiemateriaal
α- en β-straling (deeltjes)	laag - gemiddeld	Lage soortelijke massa, lage Z
γ- en röntgenstraling (fotonen)	hoog	hoge soortelijke massa, hoge Z



Detectie - Hoe zat dat ook alweer?



A, B, C of D?

Diktemeting metaal

- A. γ - bron, GM- buis
- B. γ - bron, NaI- detector
- C. β - bron, GM- buis
- D. β - bron, NaI- detector

Soorten detectoren

3. **Ionisatie**detector , detectiemateriaal:

- gas
- vaste stof

4. **Scintillatie**detector , detectiemateriaal:

- vaste stof - anorganisch of organisch
- vloeistof

5. **Fotografische** emulsie



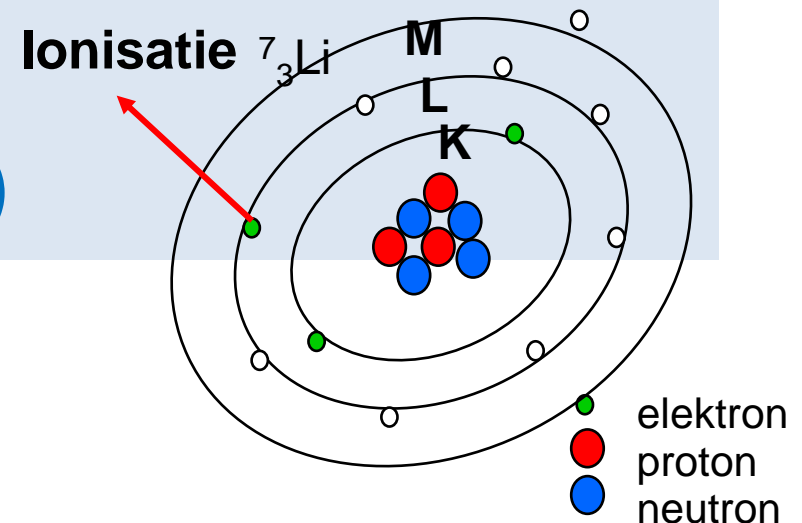
3. Ionisatiedetectoren

Detectiemateriaal:

- **Gas**

lucht, aardgas (lage Z),
edelgas (hoge Z), ...

- **Vaste stof (halfgeleider)**



3. Ionisatiedetectoren

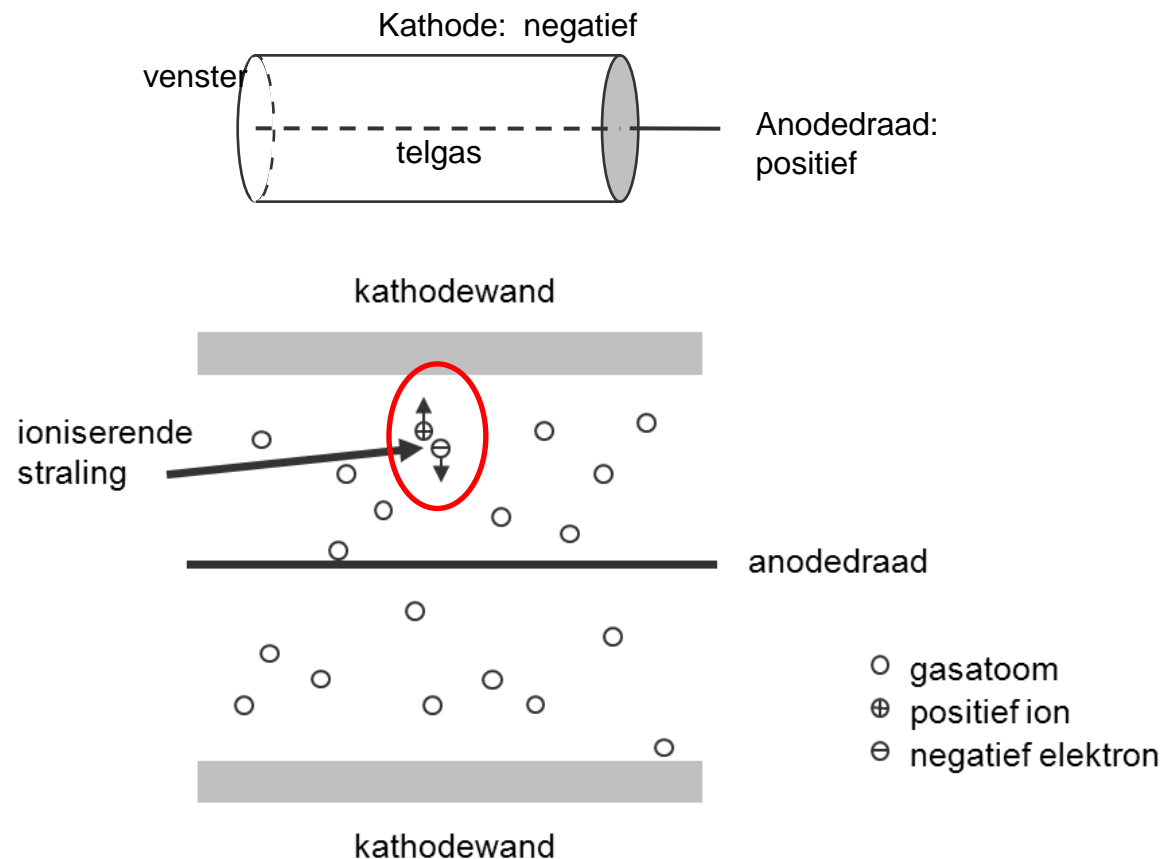
Gasgevuld

Straling veroorzaakt ionisaties in telgas:

Vorming elektron- / ion⁺ - paren

Elektronen (-) gaan naar de anode

Gasionen (+) gaan naar de kathode



3. Ionisatiedetectoren

Gasgevuld

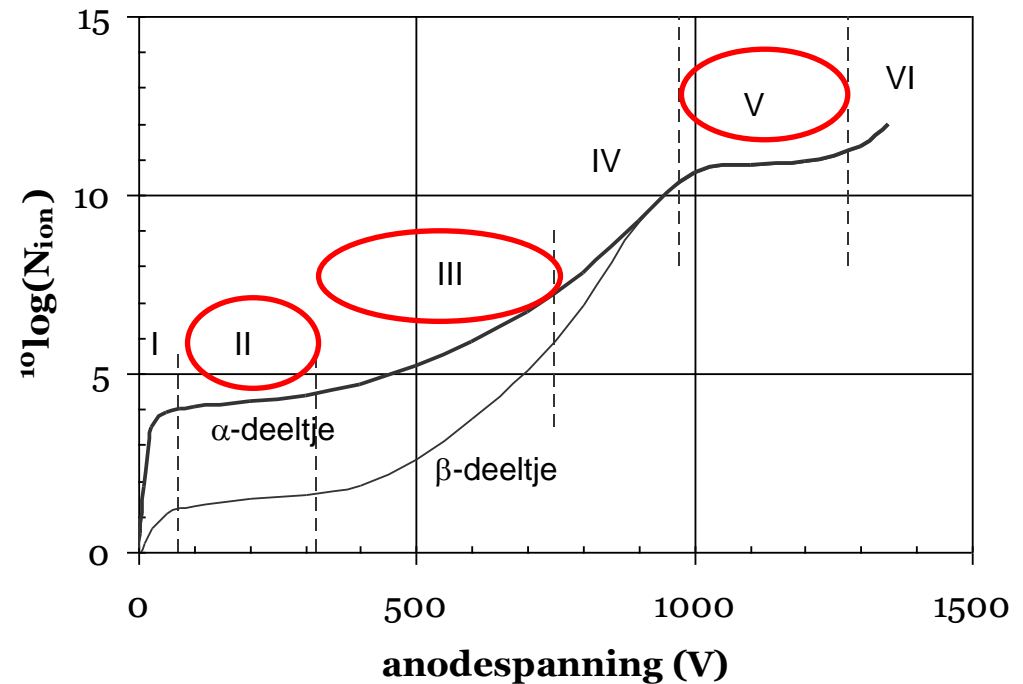
Anodespanning

100 - 1500 V
(verschilt per soort gasgevulde detector)

II - Ionisatiekamergebied

III - Proportioneel gebied

V - Geiger-Müllergebied



3. Ionisatiedetectoren

Gasgevuld

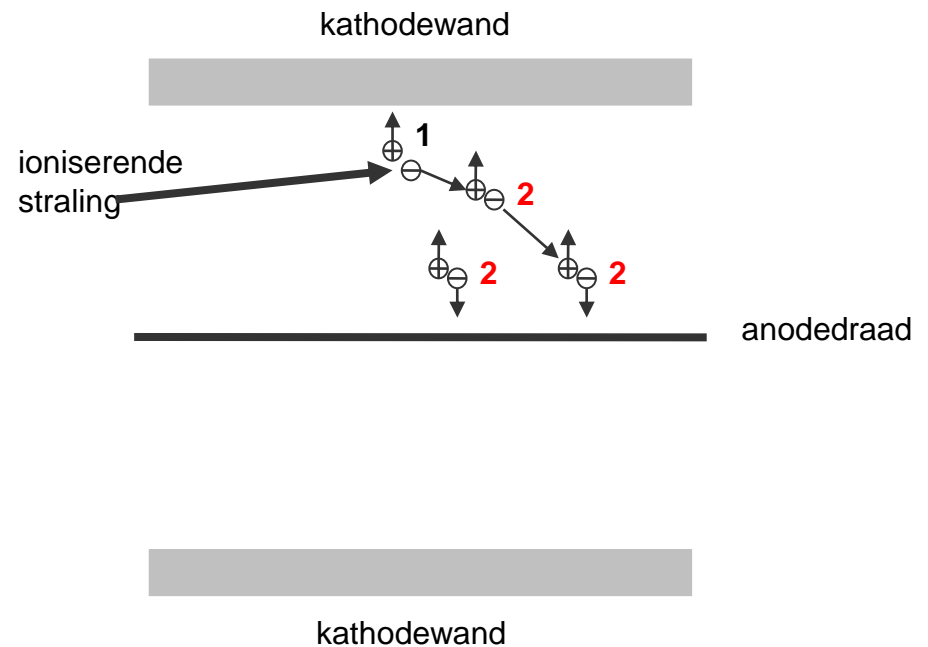
II Ionisatiekamer, lage anodespanning

- Ionisaties van telgas:
primaire elektronen (1)
- Veroorzaken
secundaire ionisaties (2)

→ **stroompuls**

Grootte van stroompuls evenredig met energie van gemeten deeltje:

→ **informatie over energie gemeten deeltje**



3. Ionisatiedetectoren

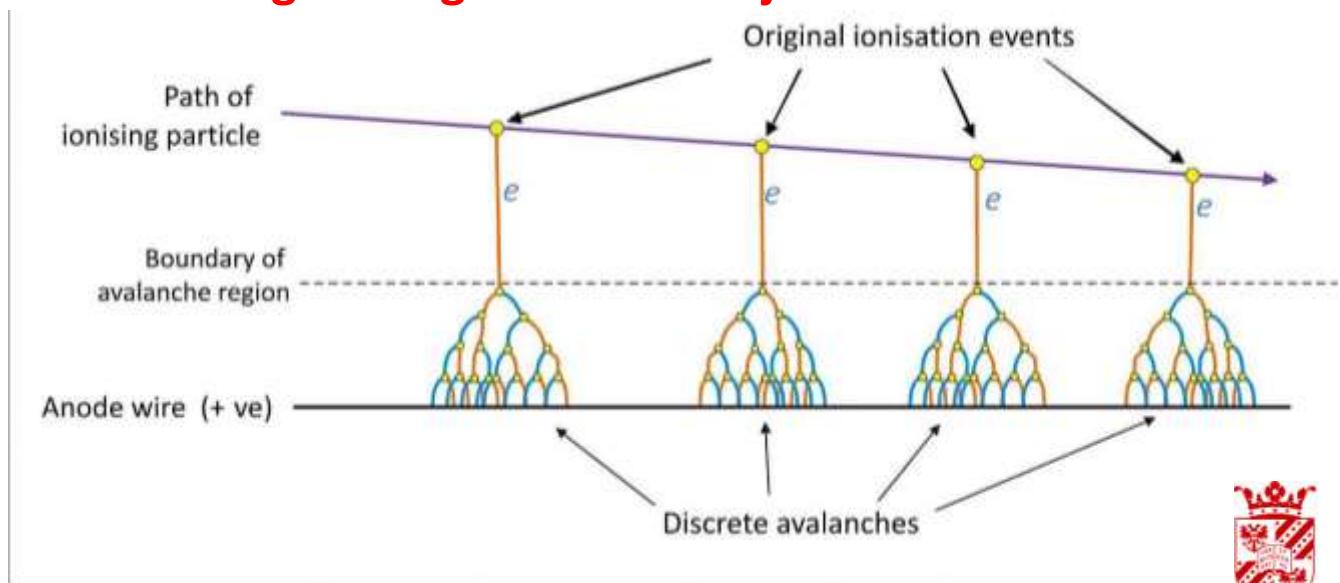
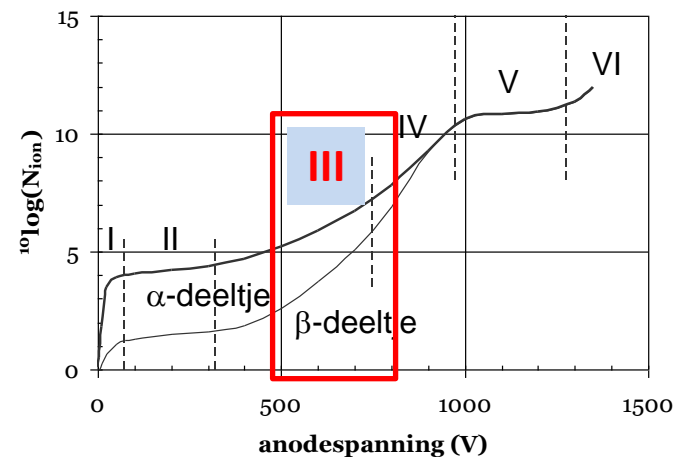
Gasgevuld

Proportionele telbuis

III - hogere anodespanning

Gasversterking

Puls grootte evenredig met energie van gemeten deeltje: **informatie over energie van gemeten deeltje**



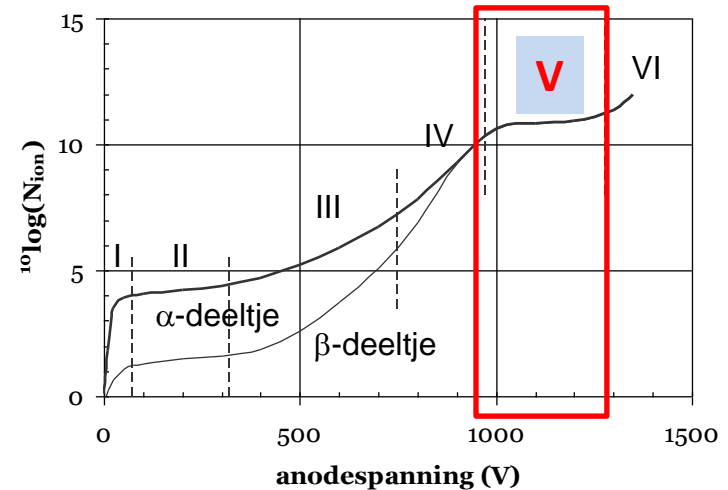
3. Ionisatiedetectoren

Gasgevuld

Geiger - Müller telbuis

V - hoge spanning

- Het primaire elektron wordt **sterk versneld**,
- botst met atomen van telgas en veroorzaakt vele
- **lawines van secundaire ionisaties**



Verzadigingseffect - elke gemeten puls is even sterk:

Geen informatie over energie van gemeten straling

3. Ionisatiedetectoren

Gasgevuld

Geiger - Müller telbuis

V - hoge spanning

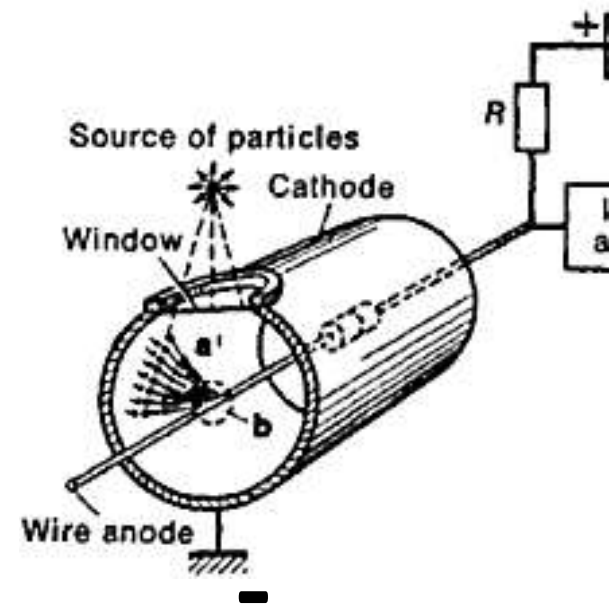
Voordeel: eenvoudige constructie, goedkoop

Nadelen:

- **Geen informatie over energie en soort straling**
- Na een puls is elektrisch veld tijdelijk verstoord
Daardoor kan tijdelijk geen nieuwe puls ontstaan

Dode tijd: $\tau > 100 \mu\text{s}$

- Bij hoog teltempo: onderschatting van ware teltempo
- Buis kan 'dichtslaan' bij extreem hoog teltempo:
telgas voortdurend geïoniseerd zodat
geen nieuwe puls gemeten wordt



3. Ionisatiedetectoren

Vaste stof

Halfgeleiderdetector

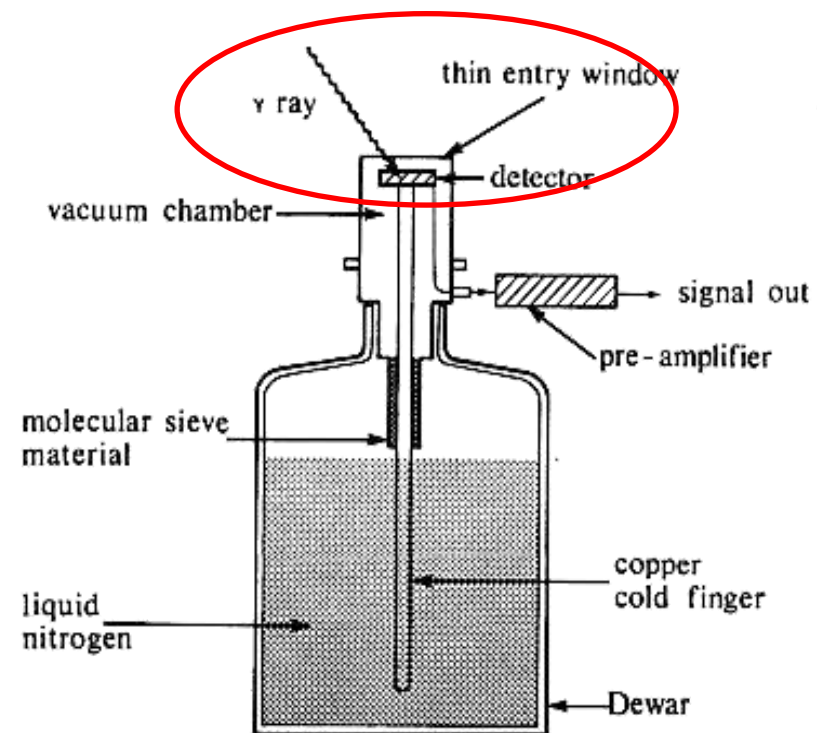
- elektronen die ontstaan door interactie bewegen naar elektrode → puls

Silicium (Z=14: voor β -straling)

Germanium (γ - en röntgenstraling)

- **Germanium hoog rendement, grote energieresolutie**

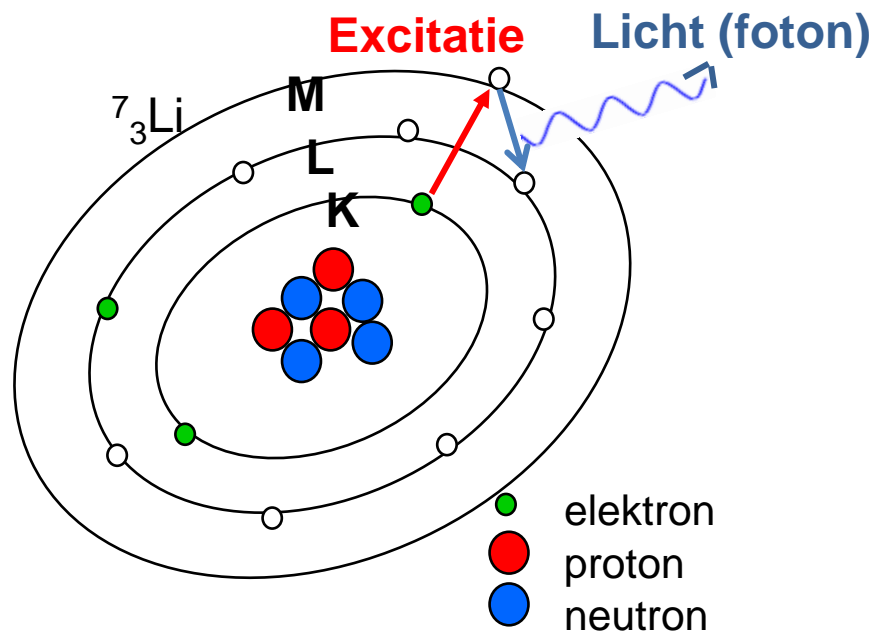
echter: koelen tot ca. $-190\text{ }^{\circ}\text{C}$, duur



Germaniumdetector

4. Scintillatiedetectoren

(Engels:
scintillation = fonkeling)



Detectiemateriaal:

- **Vaste stof** -
anorganisch of
organisch
- **Vloeistof**

4. Scintillatiedetectoren

Vaste stof

- **Anorganische scintillator**

Geschikt voor fotonen- straling

- **Nal**, BaF₂ of bismuth germanium oxide (BGO) kristallen
- bevatten vaak een fluorescerende toevoeging

Voorbeeld: natriumiodide met thallium: **Nal(Tl)**

Geschikt voor α - straling

- ZnS

- **Organische scintillator**


Lagere dichtheid - geschikt voor β - straling

- soorten plastic,
- bevatten vaak een fluorescerende toevoeging



4. Scintillatiedetectoren

Vaste stof





QUICK SHIP
30x70
100% positive Feedback

NaI (Tl)

Scintillation crystal NaI(Tl) 30x70 mm Gamma scintillator Radiation detector

\$49.99 Buy It Now 12 watching | 1 sold



Philips 3" Photomultiplier Tube XP2412
Gamma Radiation PMT Nuclear Detection Kit

\$30.50 Buy It Now Free Shipping

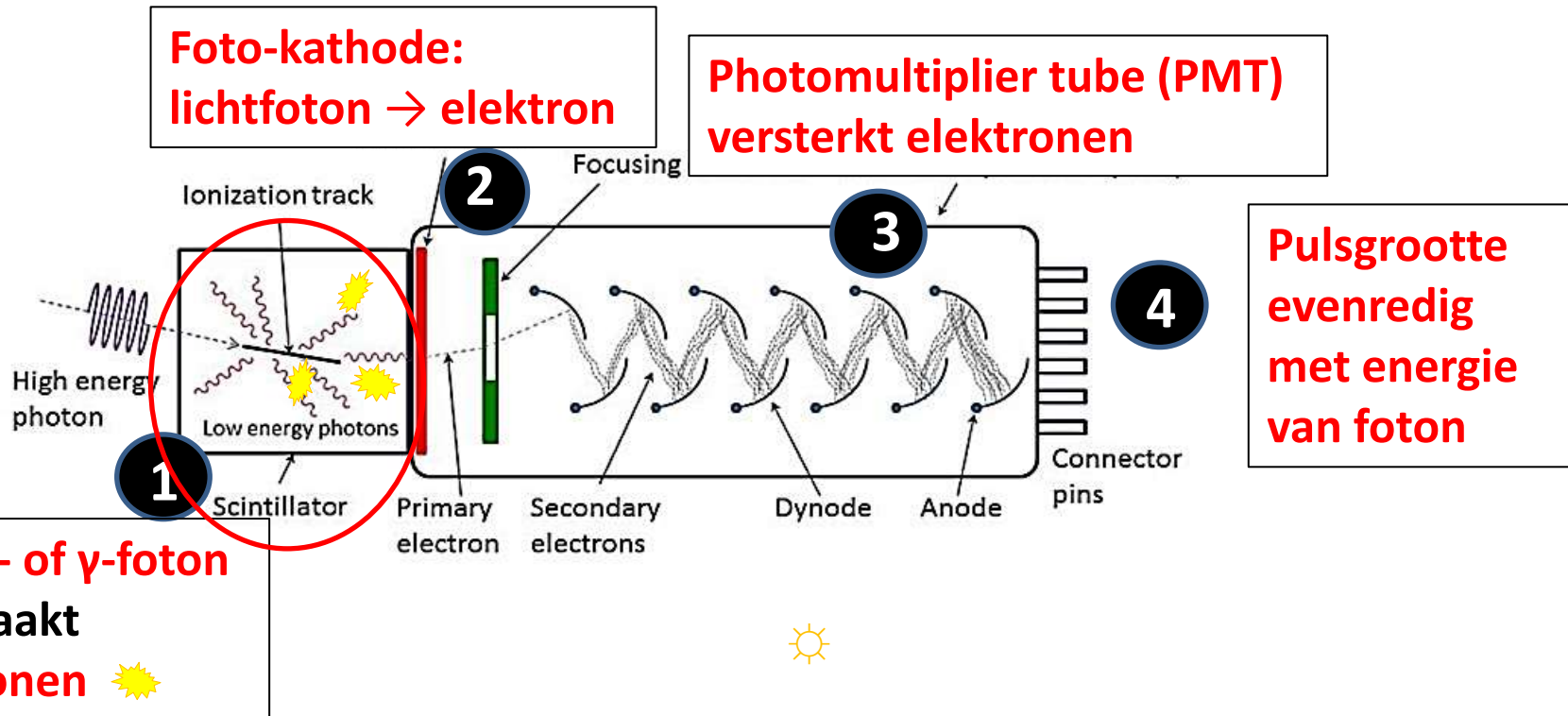
Beautiful Philips PMT photo multiplier tube! Great for projects such as building a Gamma Spectrometry ...



4. Scintillatiedetectoren

Vaste stof

Nal- detector



röntgen- of γ -foton
veroorzaakt
lichtfotonen

Foto-kathode:
lichtfoton \rightarrow elektron

Photomultiplier tube (PMT)
versterkt elektronen

Pulsgrootte
evenredig
met energie
van foton



4. Scintillatiedetectoren

Vaste stof

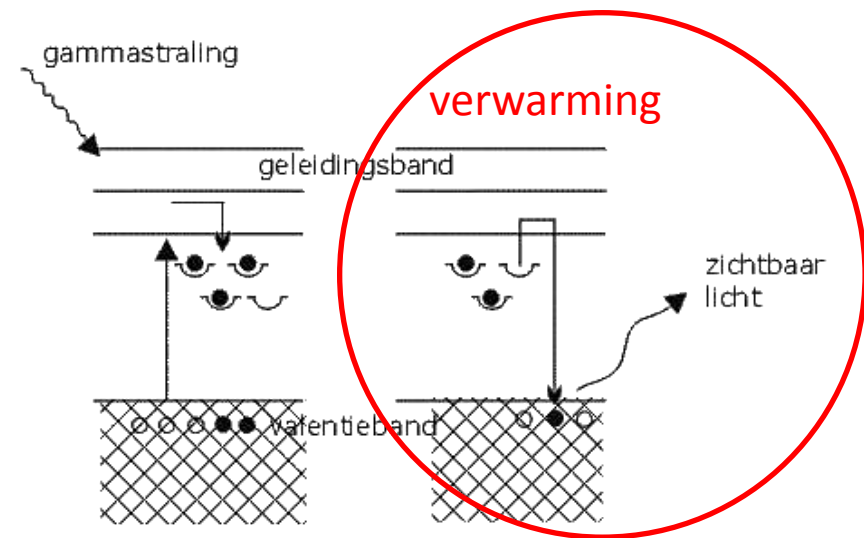
Thermoluminescentiedetector (TLD)

CaF_2 , LiF , $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$

- bij wisselwerking komen elektronen in een metastabiele toestand
- tijdens **verwarming** van TLD gaat elektron terug naar de grondtoestand
- hierbij wordt **licht** uitgezonden: **thermoluminescentie**



Persoonsdosimeter
(TLD-badge)



4. Scintillatiedetectoren

Vloeistof

Liquid scintillation counting (LSC)

Scintillatormoleculen in telvloeistof (cocktail)

- **Radioactieve stof** in telvloeistof
- Optimale energieoverdracht: **hoog telrendement**
- Lage dichtheid/ lage Z: **detectie α - en β -straling**

(ook laag-energetische gamma- en röntgenstraling)

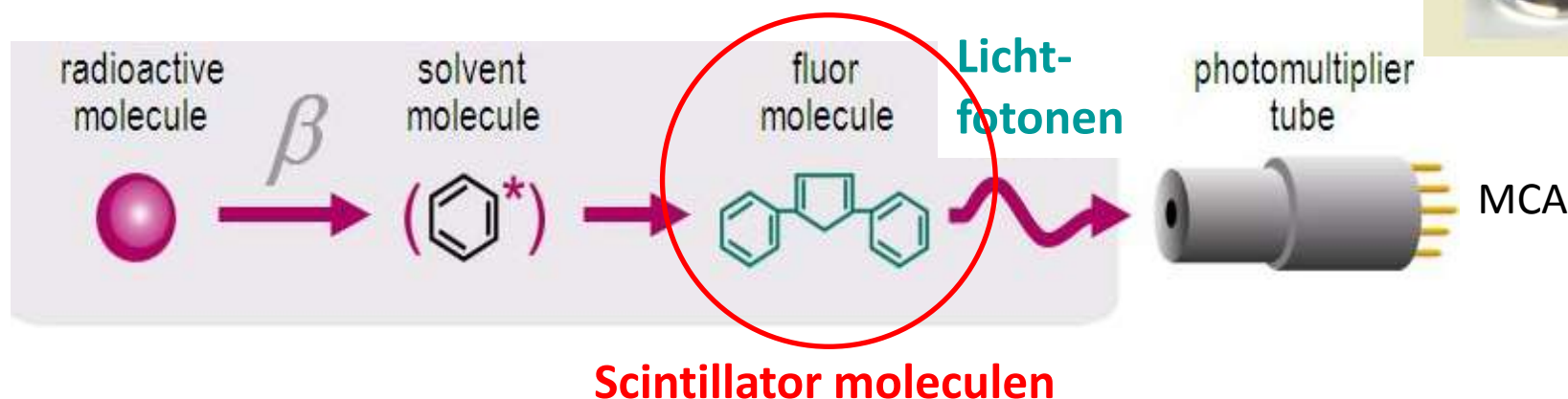


4. Scintillatiedetectoren

Vloeistof



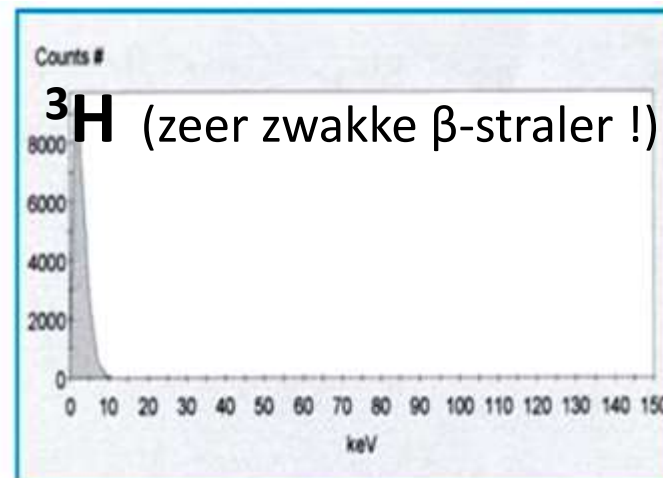
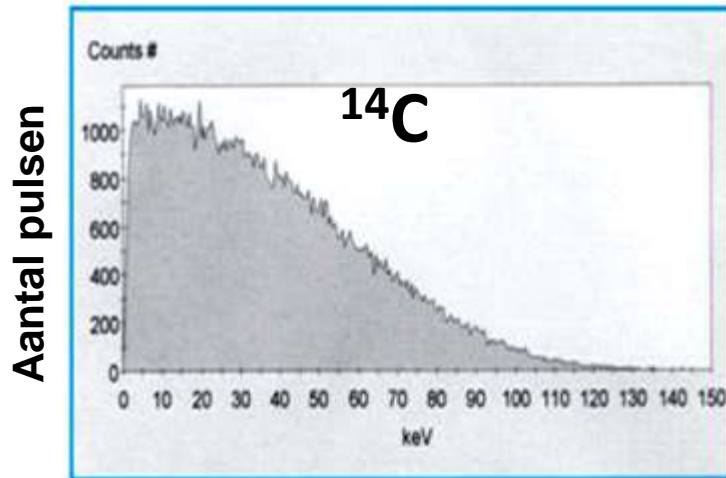
Energie- doorgifte in tevlloeistof



- Na excitatie produceren scintillator (fluor)moleculen licht
- Hoe hoger de energie van α - of β -deeltje, hoe meer lichtfotonen per puls

4. Scintillatiedetectoren

Vloeistof



Energiespectra (β -straling)

Veelkanaalsanalysator (multi channel analyzer: MCA)
Telt de pulsen en sorteert pulsen op intensiteit



4. Scintillatiedetectoren

Vloeistof



KATRIN (Karlsruhe Tritium Neutrino experiment)

Vloeistofscintillatie detector (zeer groot volume)



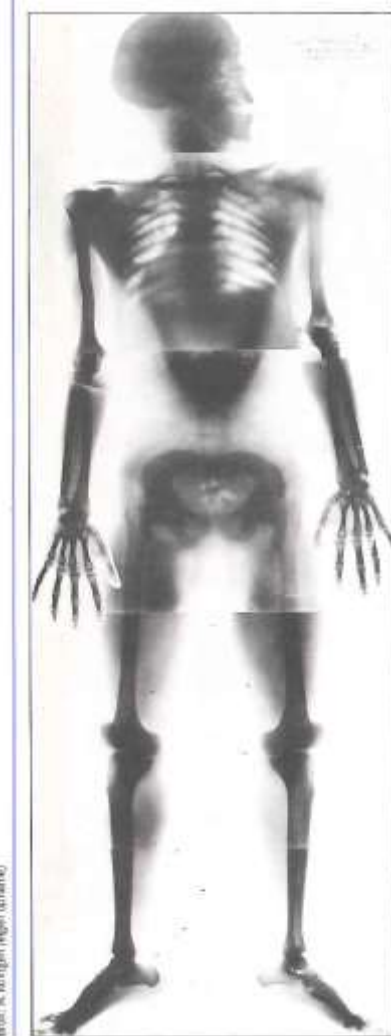
5. Fotografische detectie

Detectiemateriaal: *Fotografische emulsie*

- **Röntgenfoto** oudste detector, waarmee röntgenstraling (1895 door Röntgen) en radioactiviteit (1896) zijn ontdekt
- **Autoradiogram** analytisch hulpmiddel in de chemie en biochemie
 - verdrongen door CCD, fosforescerende plaat
- **Filmbadge** als persoonsdosimeter
 - verdrongen door de TLD



5. Fotografische detectie



Begin van 20^e eeuw

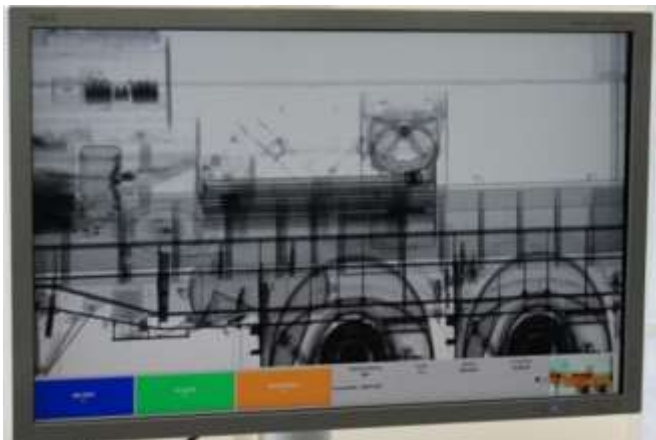
In het begin van deze eeuw maakte men zich grote zorgen omtrent de toepassing van röntgenstralen, ofwel 'X-stralen', zoals ze toen genoemd werden. Niet vanwege het gevaar maar vanwege de zedelijkheid. Want in hoeverre was het wel kuis om iemands binnenste te bekijken?

Een slimme fabrikant loste dit probleem op door zogenaamd X-ray proof ondergoed op de markt te brengen



6. Detectie: toepassingen

- Meting van **dosistempo of dosis**
- Meting **radioactieve besmetting**
- **Identificatie** van de bron (spectrumanalyse)
- **Kwantitatieve telling** (activiteit)
- Controle aan de poort
- Medische beeldvorming
- Industriële toepassingen



6. Detectie: toepassingen

Besmettingscontrole:

β, γ : Grenswaarde is 4 Bq/cm^2

α : Grenswaarde is $0,4 \text{ Bq/cm}^2$

Bq = desintegraties / sec



Zeer gevoelige
besmettingsmeting:
veegmonster in
vloeistof scintillatieteller



6. Detectie - Besmettingsmonitor



Meting:

Aantal pulsen per tijdseenheid

bijv. cps, cpm

Zegt niets over dosis:

Ongeschikt als dosistempometer

6. Detectie - Besmettingsmonitor

Deeltjesstraling: detectiemateriaal met lage Z

α -besmetting

- ZnS met zeer dun venster
- gasgevulde detector met zeer dun venster
- vloeistofscintillatieteller



β -besmetting

- gasgevulde detector met dun venster
- Si-detector met dun venster
(geen Ge, Ge-detector detecteert teveel γ -achtergrondstraling)
- vloeistofscintillatieteller

6. Detectie - Besmettingsmonitor

γ - Fotonenstraling: bij voorkeur detectiemateriaal met **hoge Z**

γ -besmetting

- NaI-detector
- Gasgevulde detector (laag telrendement voor fotonen)
- Ge-detector
- Si-detector met dun venster (voor röntgenstraling)
- Vloeistofscintillatieteller (als $E < 50$ keV)



6. Detectie - Dosistempometer

Aanwijzing: **sievert per tijdseenheid** bijv. $\mu\text{Sv/h}$

Ongeschikt als besmettingsmonitor
(zegt niets over Bq/cm^2)

- Kleine GM buis,
- Energie- afgifte maat voor dosis
- Meting gemiddelde stroom t.g.v pulsen

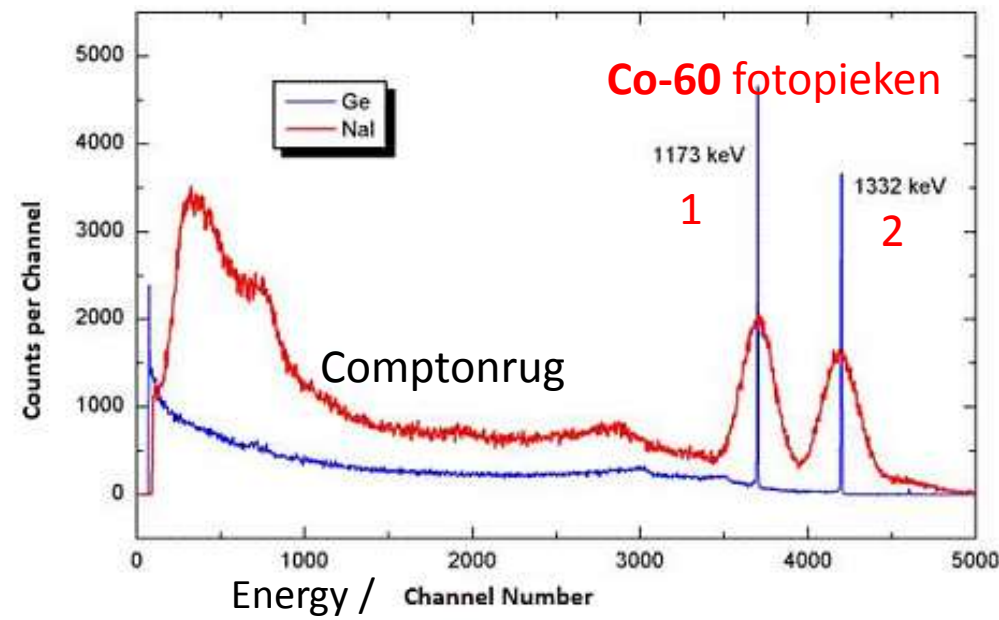


6. Detectie - Identificatie van de bron

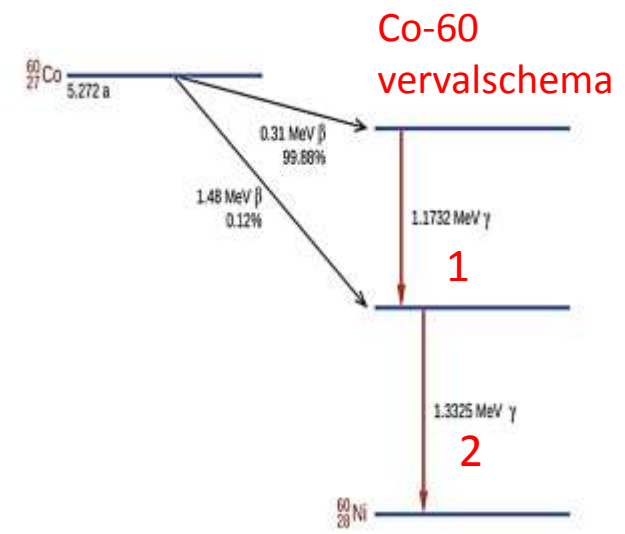
Spectrumanalyse

γ -spectroscopie

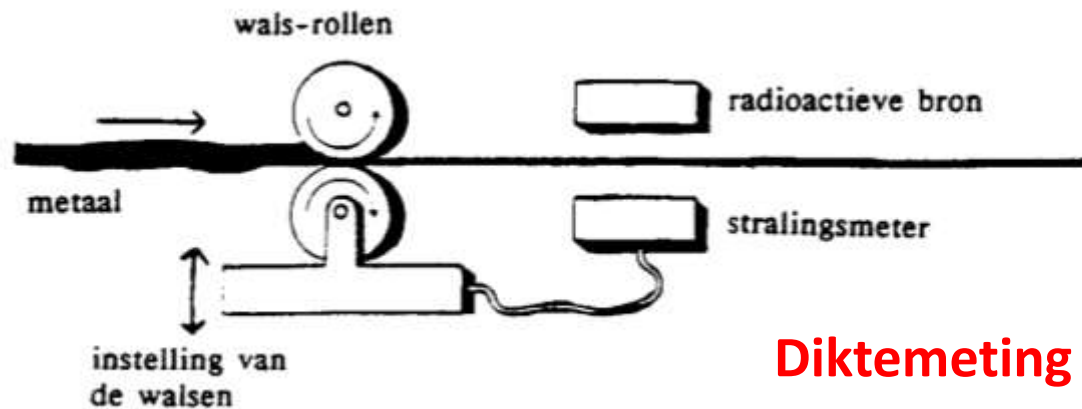
- Fotoelektrisch effect: piek(en) bij E_γ



NaI- of Ge-detector



6. Detectie - industrie



Diktemeting metaal

- A. γ - bron, GM- buis
- B. γ - bron, NaI- detector
- C. β - bron, GM- buis
- D. β - bron, NaI- detector

A, B, C of D?

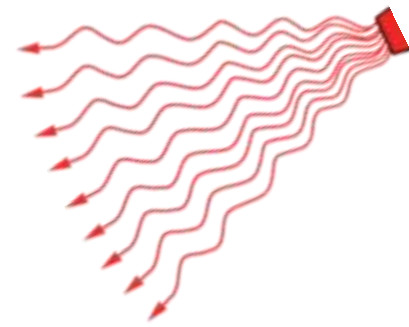


Detectoren en hun toepassingen - overzicht

Detector- materiaal	detectoren	meten van β -straling <i>* ook α-straling</i>	meten van fotonenstraling
	Ionisatiedetectoren		
Gas- gevuld	GM-buis (dun venster)	besmetting*	<i>dosistempo</i>
	GM-buis (dik venster)	<i>dosistempo</i>	<i>dosistempo</i>
	Proportionele telbuis (dun venster, xenon vulling)	besmetting*	<i>dosistempo</i> en besmetting (bij laag- energetische γ 's zoals 125I)
Half- geleider	Ge, Ge(Li)	n.v.t.	spectrum, identificatie nuclide
	Si	spectrum	n.v.t.
	Scintillatiedetectoren		
Vaste stof	Nal(Tl), LaBr ₃ (Ce), BGO	n.v.t.	besmetting spectrum (eenvoudig)
	Antraceen of ZnS	besmetting*	-
	TLD	persoonsdosimeter	persoonsdosimeter
Vloeistof	Scintillatievloeistof	besmetting	zachte γ -straling

Tabel (aangepast) uit PRAKTISCHE STRALINGSHYGIENE, van den Eijnde/ Schouwenburg (7^e druk) p.68





... Nothing to declare ?

