



Detectie Apparatuur

Cursus Stralingsveiligheid CD 2023–2024

M.A. Hofstee

mariet.hofstee@maastrichtuniversity.nl

Hoofdstuk 11.1–4

Detectie

wisselwerking van straling met materie vormt de basis voor een vijftal onderwerpen die van belang zijn in de dagelijkse praktijk van de stralingsdeskundige:

dosimetrie	stralingsgrootheden en -eenheden
radiobiologie	hoe beïnvloedt straling ons lichaam
detectie	hoe meten we straling
afscherming	hoe reduceren we straling
toestellen	hoe produceren we straling

Detectie

indeling



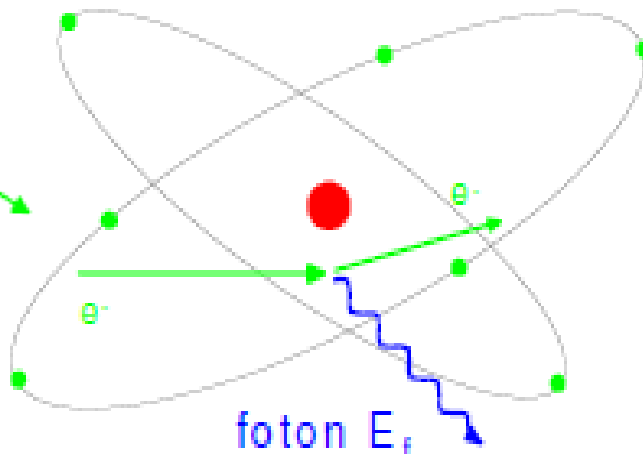
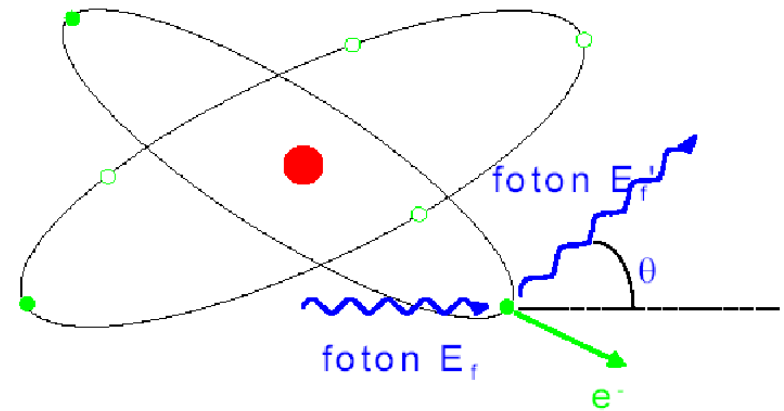
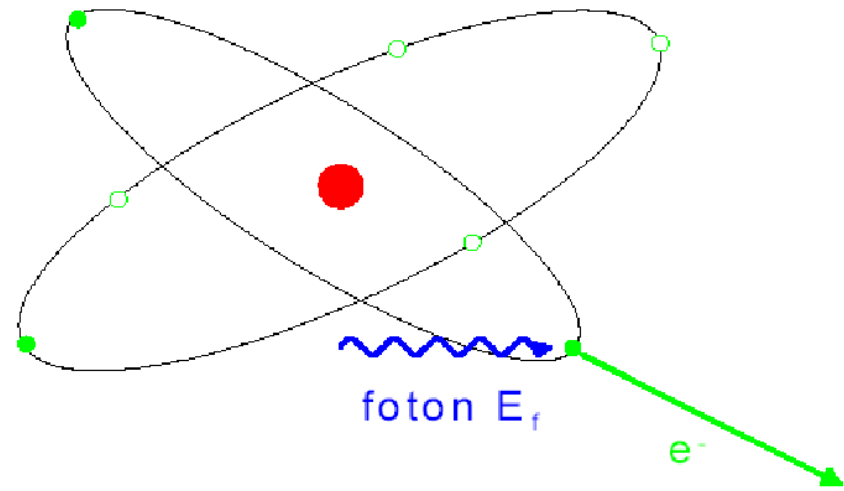
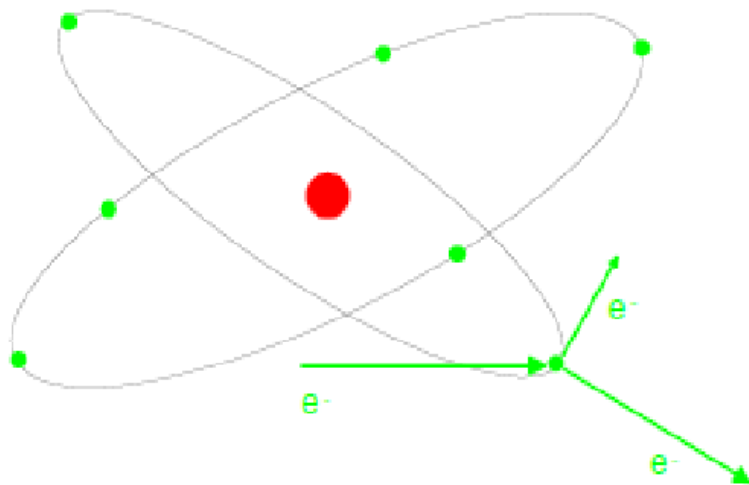
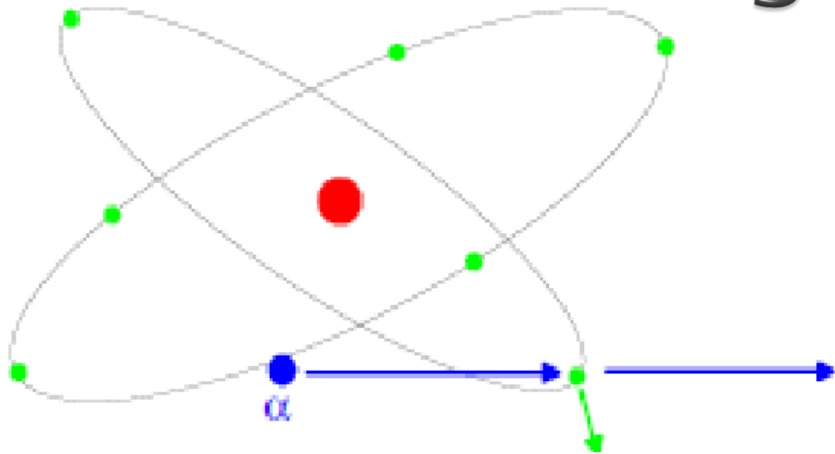
apparatuur (11.1-4)

- Ionisatiedetector, meet lading
 - Gas-gevulde detector
 - Halfgeleider
- Scintillatiedetector, meet fotonen
- fotografische emulsie, meet zwarting (chemische reactive)
- elektronische meetapparatuur voor verwerking van signalen



- 2e deel: Praktijk (11.5 & 11.7, niet dosis)
- Morgen: Statistiek (11.8 & 9)
- Zelf aan de slag: <http://www.siegelsoft.com/vertuallab/vertlab.html> en manual <http://www.siegelsoft.com/phy432/labman/manual.html>

Wisselwerkingen



Detectie

ionisatiedetector - bouw

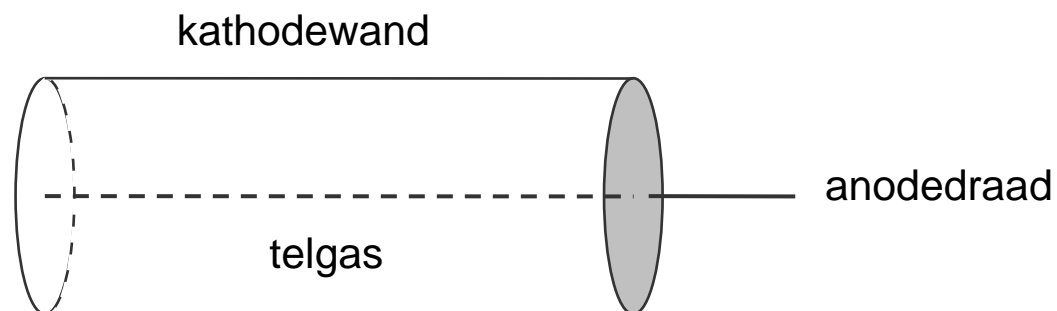
gasgevulde detector

metalen behuizing = kathode

centrale draad = anode

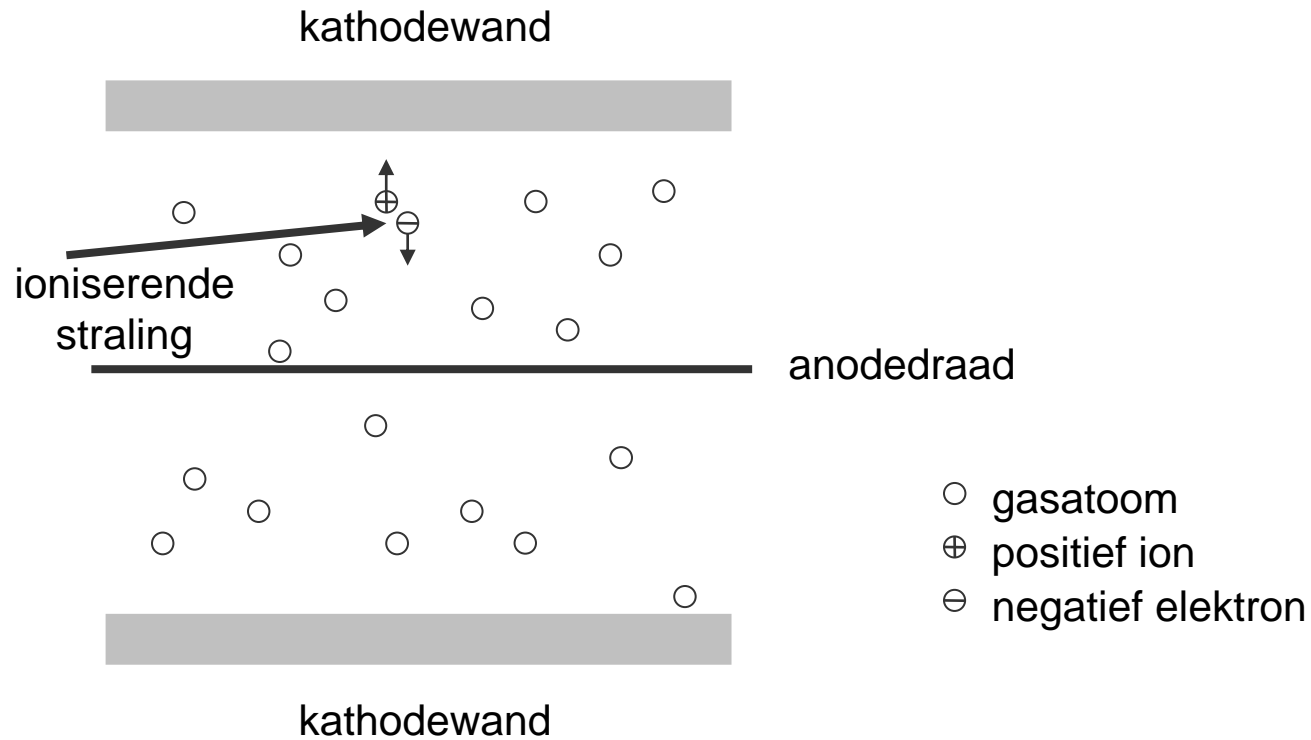
lucht, aardgas, edelgas, ...

buisspanning = 100 - 2000 volt



Detectie

ionisatiedetector - ionisatie



Detectie

ionisatiedetector - bouw

gasgevulde detector

metalen behuizing = kathode

centrale draad = anode

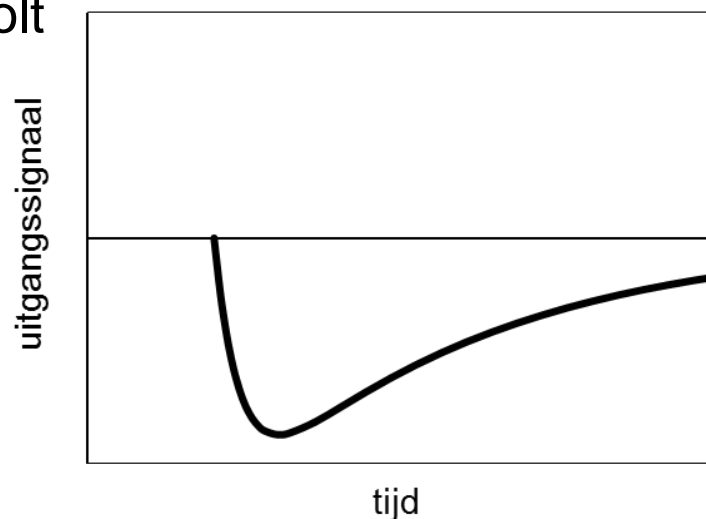
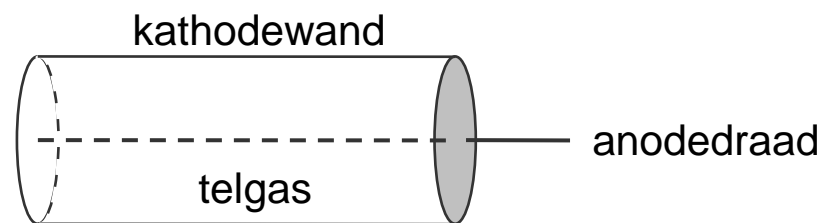
lucht, aardgas, edelgas, ...

buisspanning = 100 - 2000 volt

ionisatiekamer

proportionele telbuis

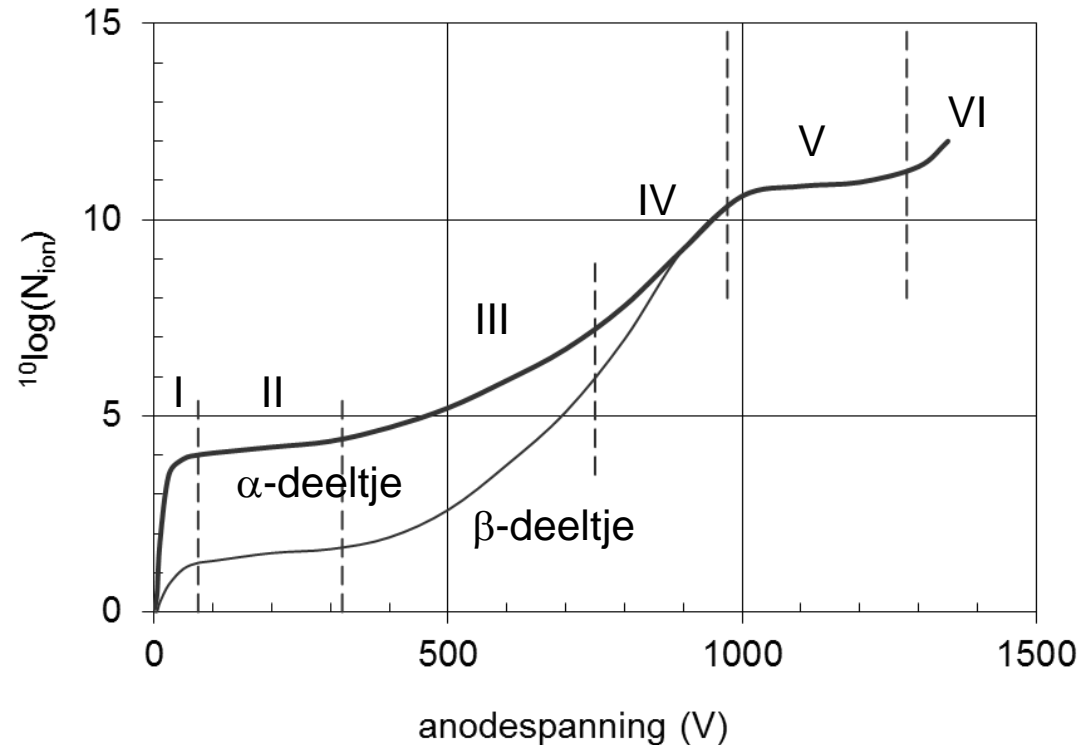
Geiger-Müllerbuis



Detectie

ionisatiedetector - anodespanning

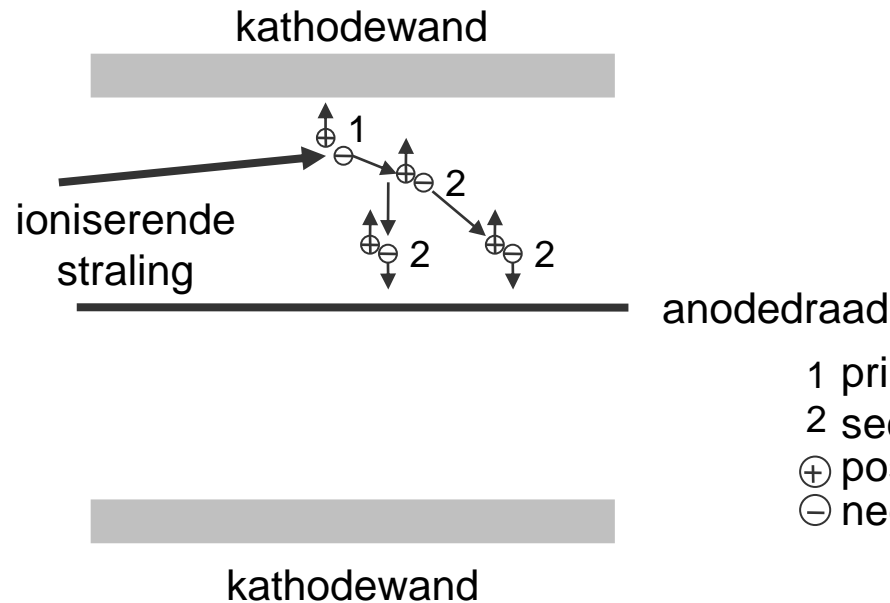
- I. recombinatiegebied
- II. ionisatiekamergebied
- III. proportioneel gebied
- IV. overgangsggebied
- V. Geiger-Müllergebied
- VI. gasontladingsgebied



Detectie

ionisatiedetector – gasversterking – proportionele telbuis

primair elektron
wordt versneld,
botst met atoom
en veroorzaakt
secundair ion



- 1 primaire lading
- 2 secundaire lading
- ⊕ positief ion
- ⊖ negatief elektron

elektrisch signaal
op anodedraad

ionisatie-energie = 34 eV

Detectie

ionisatiedetector - ionisatiekamer

lading Q in coulomb (C)

stroom $I = Q / t$ in ampère (A)

spanning $V = Q / C$ in volt (V)

C = capaciteit in farad (F) van kamer + kabel + meetapparatuur

INTERACTIE

ionisatielading $Q = 1 \text{ nC}$

meetijd $t = 100 \text{ s}$

capaciteit $C = 100 \text{ pF}$

bepaal de stroom

$$1 \text{ nC} / 100 \text{ s} = 0,01 \text{ nA} = 10 \text{ pA}$$

bepaal aantal ionen

$$1 \times 10^{-9} \text{ C} / 1,6 \times 10^{-19} \text{ C} = 6 \times 10^9$$

bepaal afgegeven energie

$$6 \times 10^9 \times 34 \text{ eV} \times 1,6 \times 10^{-19} \text{ J eV}^{-1} = 34 \text{ nJ}$$

bepaal spanningstoename

$$1 \times 10^{-9} \text{ C} / 100 \times 10^{-12} \text{ F} = 10 \text{ V}$$

Zie ook opgaven 11.1 & 2 uit oefenboek

Opgave 11.1 oefenboek

- 1 Door homogene bestraling van het telgas in een ionisatiekamer met γ -straling worden er per minuut $3,6 \times 10^4$ ionen gevormd. Per ionisatie wordt een energie van 33,7 eV afgegeven. De massa van het telgas bedraagt 120 mg.
- hoe groot is de gevormde negatieve lading in coulomb per minuut?
 - hoe groot is de gevormde positieve lading in coulomb per minuut?
 - hoe groot is de stroom (in ampère) door de ionisatiekamer?

- | | | | |
|---|---|------------------|--|
| 1 | a | negatieve lading | $3,6 \times 10^4 \text{ min}^{-1} \times 1,6022 \times 10^{-19} \text{ C} = 5,76 \times 10^{-15} \text{ C min}^{-1}$ |
| | b | positieve lading | eveneens $5,76 \times 10^{-15} \text{ C min}^{-1}$ |
| | c | stroom | $5,76 \times 10^{-15} \text{ C min}^{-1} = 0,96 \times 10^{-16} \text{ C s}^{-1} = 0,96 \times 10^{-16} \text{ A}$ |

Opgave 11.2 oefenboek

- 2 Men monteert een bron van de α -emitter ^{210}Po met een activiteit van 10 kBq in een ionisatiekamer. De α -deeltjes hebben een energie van 5,5 MeV en worden geheel gestopt in het telgas. Per ionisatie wordt 33,7 eV afgegeven aan het gas.
- bereken het aantal ionen dat per seconde wordt gevormd
 - bereken de stroom die door de kamer loopt als deze in het ionisatiegebied werkt
 - bereken de stroom die door de kamer loopt als deze in het proportionele gebied werkt en de gasversterking 16 bedraagt

- 2
- afgegeven energie $10^4 \text{ Bq} \times 5,5 \times 10^6 \text{ eV per Bq s} = 5,5 \times 10^{10} \text{ eV s}^{-1}$
aantal ionen $5,5 \times 10^{10} \text{ eV s}^{-1} / 33,7 \text{ eV} = 1,63 \times 10^9 \text{ s}^{-1}$
 - geen gasversterking $I = 1,63 \times 10^9 \text{ s}^{-1} \times 1,6022 \times 10^{-19} \text{ C}$
 $= 2,6 \times 10^{-10} \text{ C s}^{-1} = 0,26 \text{ nA}$
 - 16 maal zo groot als bij vraag b, dus $16 \times 0,26 \text{ nA} = 4,2 \text{ nA}$

Detectie

ionisatiedetector – teltempo gemengde α & β bron - plateaus

α -plateau

$$\Delta E \approx E_{\alpha} \approx 5 \text{ MeV}$$

groot signaal

gasversterking niet nodig

→ lage anodespanning

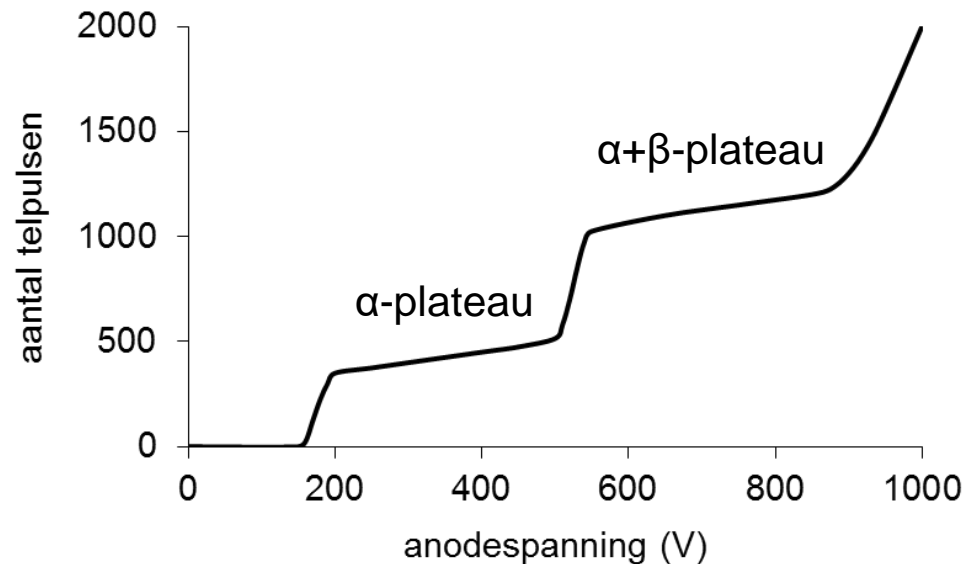
β -plateau

$$\Delta E \approx S_{el} \Delta x \approx 0,02 \text{ MeV}$$

klein signaal

gasversterking nodig

→ hoge anodespanning



Detectie

ionisatiedetector - Geiger-Müllerbuis

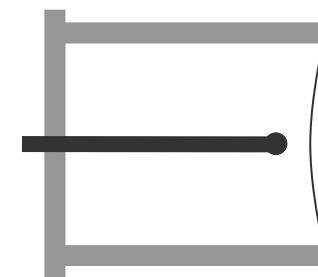
eenvoudige constructie en goedkoop

primaire ionen schermen veld van anode af
en daardoor wordt gasversterking begrensd

constante signaalgrootte $> 10 \text{ V}$

dode tijd τ $> 100\text{-}200 \mu\text{s}$

ware teltempo T_w $> \text{gemeten teltempo } T$



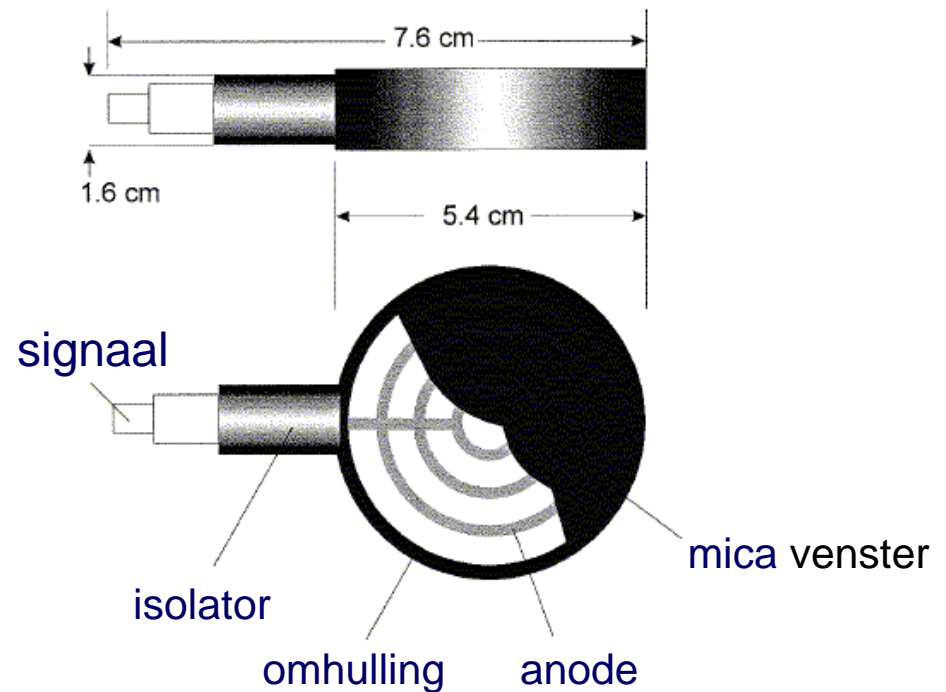
eindvenster

secundaire elektronen uit kathodewand worden versneld en
veroorzaken opnieuw een signaal, enzovoorts
om dit te voorkomen wordt een (meeratomig) **doofgas** toegevoegd

Detectie

ionisatiedetector - Geiger-Müllerbuis

pancake-monitor
 geschikt voor
 α -, β - en γ -straling
 dosis(tempo)monitor
 besmettingsmonitor
 groot telrendement



Detectie

ionisatiedetector - dode tijd

T = gemeten teltempo (tps)

τ = dode tijd (s)

dode tijd per seconde = $T \times \tau$

effectieve meettijd = $1 - T \times \tau$

→ werkelijke teltempo

$$T_w = T / (1 - T \times \tau)$$

INTERACTIE

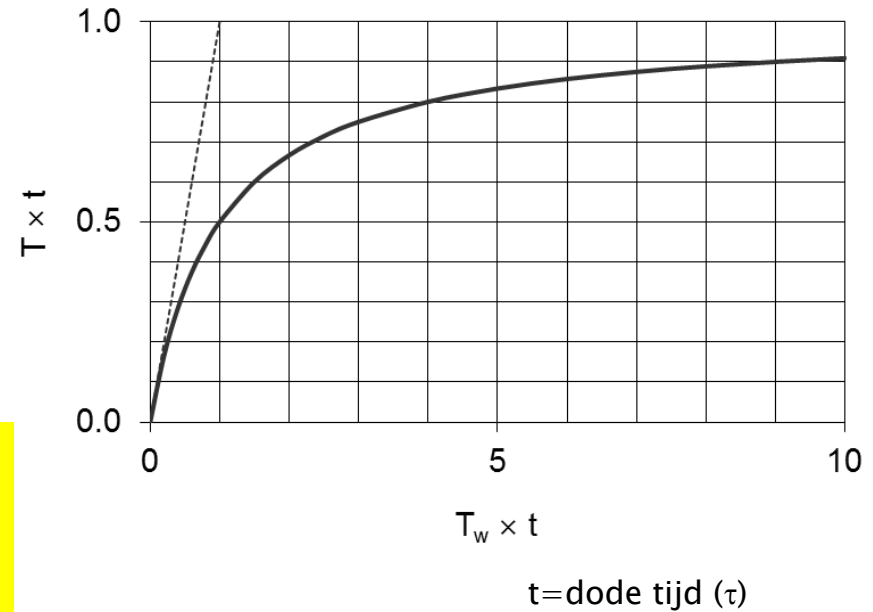
de dode tijd $\tau = 300 \mu\text{s}$

het gemeten teltempo $T = 1000 \text{ tps}$

wat is het werkelijke teltempo T_w ?

$$T \times \tau = 1000 \text{ tps} \times 300 \times 10^{-6} \text{ s} = 0,3$$

$$T_w = 1000 \text{ tps} / (1 - 0,3) = 1429 \text{ tps}$$



Zie ook opgave 11.3 uit oefenboek

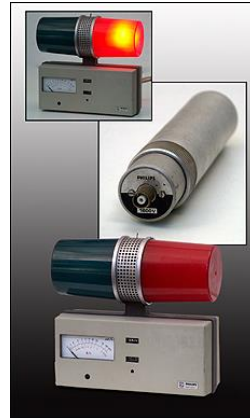
Oefenboek opgave 11.3

- 3 Voor een meting aan een β -preparaat wordt een GM-telbuis gebruikt. De teller geeft een teltempo van $6,0 \times 10^4$ telpulsen per minuut (tpm) aan.
- bereken het ware teltempo als de dode tijd van de teller $180 \mu\text{s}$ is
 - wat zou het ware teltempo geweest zijn als de meting was verricht met een proportionele telbuis met een dode tijd van $15 \mu\text{s}$?

- 3 a gemeten teltempo = $6 \times 10^4 \text{ tpm} / 60 \text{ s min}^{-1} = 1 \times 10^3 \text{ tps}$
 $T_w = 1 \times 10^3 / (1 - 180 \times 10^{-6} \text{ s} \times 1,0 \times 10^3 \text{ s}^{-1})$
 $= 1 \times 10^3 / (1 - 0,18) = 1 \times 10^3 / 0,82 = 1,22 \times 10^3 \text{ tps}$
- b $T_w = 1 \times 10^3 / (1 - 15 \times 10^{-6} \text{ s} \times 1,0 \times 10^3 \text{ s}^{-1})$
 $= 1 \times 10^3 / (1 - 0,015) = 1 \times 10^3 / 0,985 = 1,02 \times 10^3 \text{ tps}$

Detectie

ionisatiedetector - voorbeelden



Detectie

ionisatiedetector - halfgeleider

Ge, Si

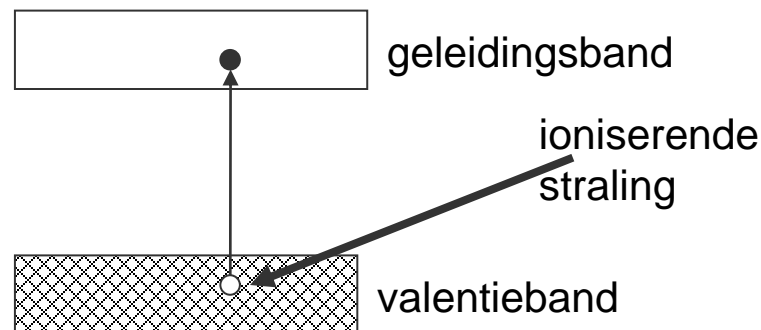
voordelen

hoog rendement
grote energieresolutie

nadelen

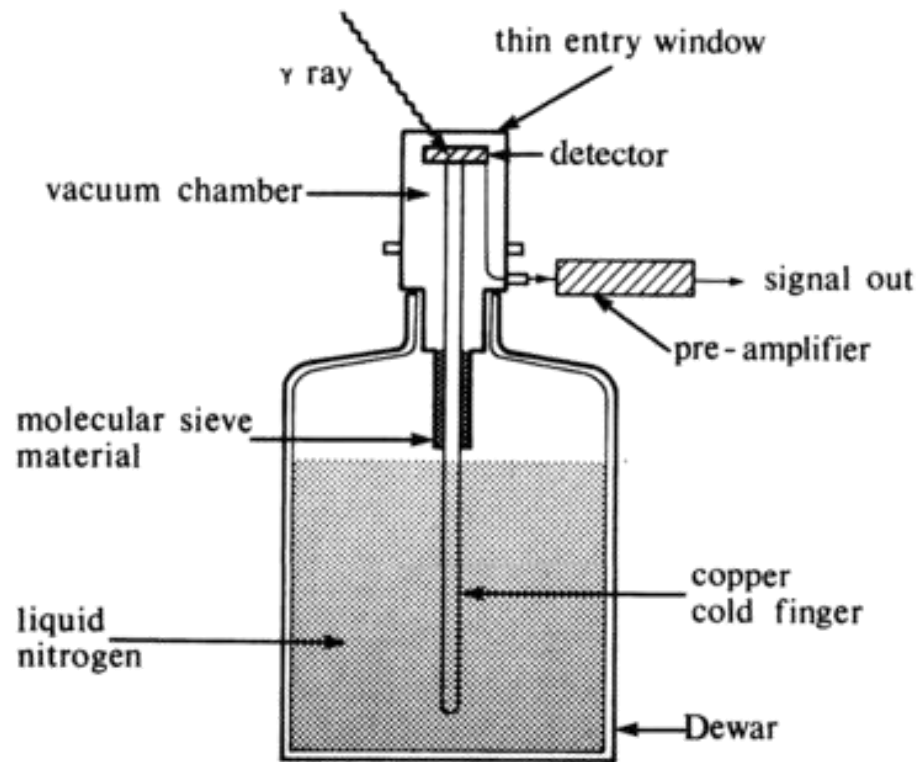
geen gasversterking
koelen tot 80 K
duur

ionisatie-energie $\approx 3,6$ eV (Si)
 $\approx 2,9$ eV (Ge)



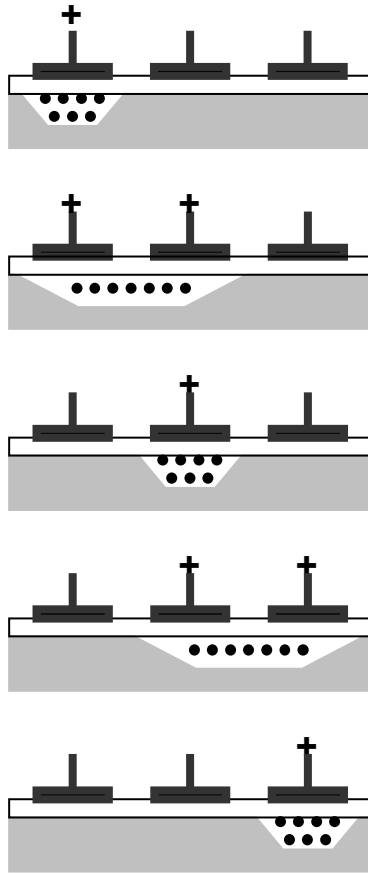
Detectie

ionisatiedetector - halfgeleider



Detectie

ionisatiedetector - halfgeleider



elektrodes
SiO₂
Si

CCD = charge coupled device

lading wordt direct (ioniserende straling) of indirect (licht van een fluorescentiescherm) gevormd

door de spanning op de elektrodes slim te manipuleren kan ionisatielading onder elke elektrode naar buiten worden getransporteerd en door een computer uitgelezen

heet ook wel "emmertjesgeheugen" vervanger van fotomultiplicatorbuis

Detectie

scintillatiedetector

anorganische scintillator

NaI , CsI , BaF_2 , ZnS , BGO

bevatten meestal een fluorescerende toevoeging, bijv. NaI(Tl)

organische scintillator

anthraceen, stilbeen, plastic

vloeistof

bevatten meestal een fluorescerende toevoeging

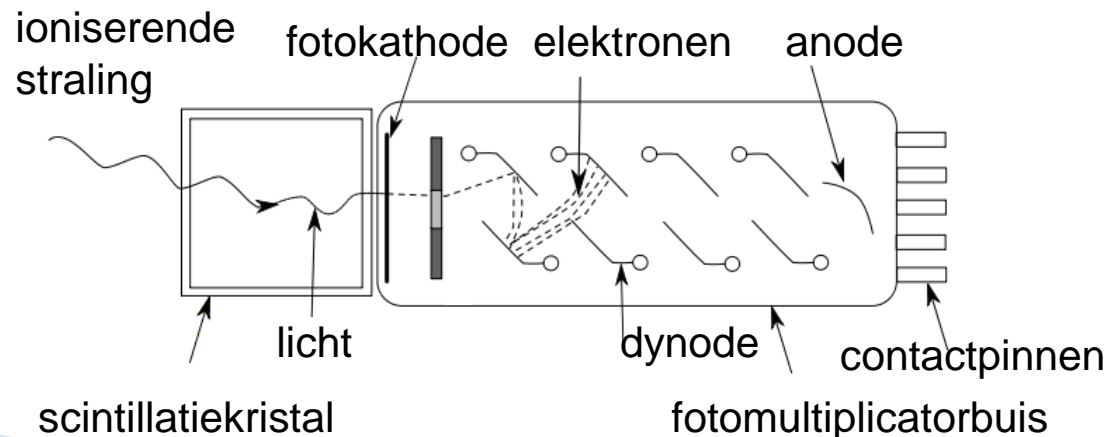
thermoluminescentiedetector (TLD)

CaF_2 , CaSO_4 , LiF , $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$

Detectie

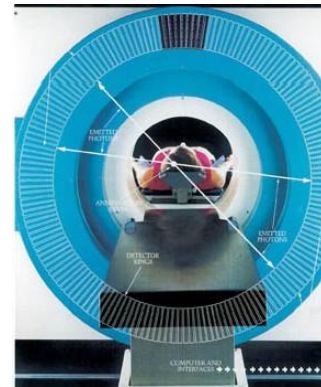
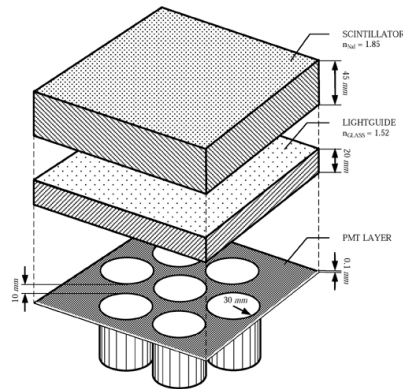
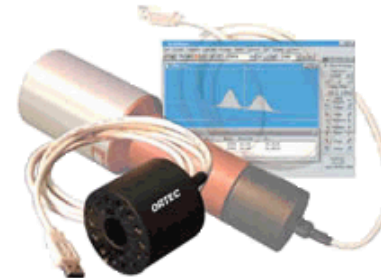
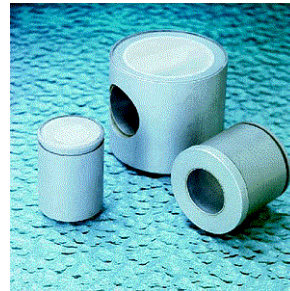
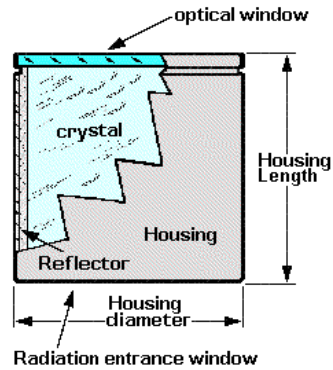
scintillatiedetector - fotomultiplicatorbuis

door wisselwerking van γ -foton met scintillator ontstaat licht
 lichtfoton maakt foto-elektron vrij uit de fotokathode
 foto-elektron botst op 10 - 14 dynodes
 bij elke botsing ontstaan 2 - 3 secundaire elektronen
 in NaI is ongeveer 500 eV per foto-elektron nodig



Detectie

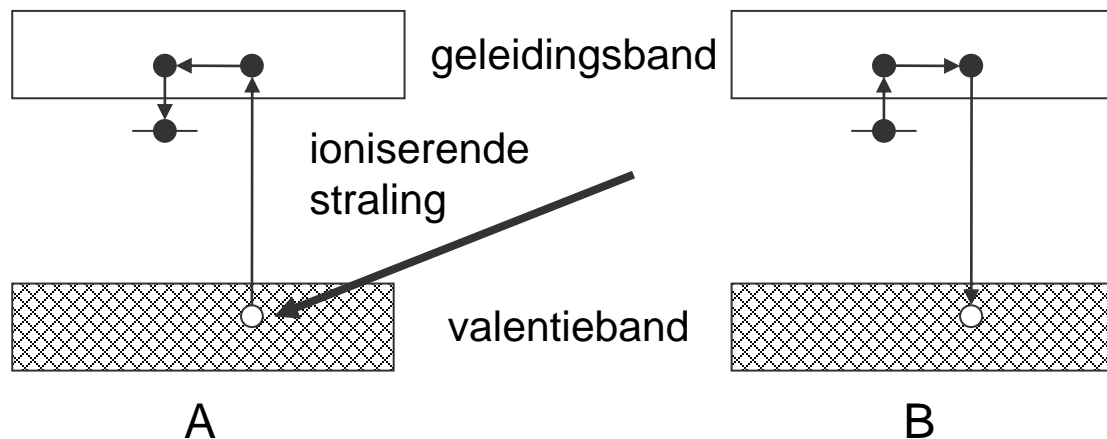
scintillatiedetector - voorbeelden



Detectie

scintillatiedetector - thermoluminescentie

wisselwerking \rightarrow elektron in een metastabiele toestand
 verwarming van TLD \rightarrow elektron naar de grondtoestand
 hierbij wordt infrarood licht uitgezonden



Detectie

fotografische emulsie

filmbadge

als persoonsdosimeter volledig verdrongen door de TLD

röntgenfoto

detector waarmee röntgenstraling is ontdekt

vooral medische toepassingen

meer en meer verdrongen door halfgeleidertechnieken

autoradiogram

detector waarmee radioactiviteit is ontdekt

analytisch hulpmiddel in de chemie en biochemie

meer en meer verdrongen door halfgeleidertechnieken

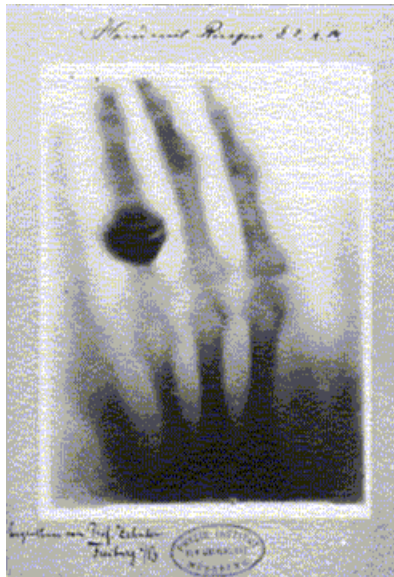
kernemulsie

detector waarmee elementaire deeltjes zijn ontdekt

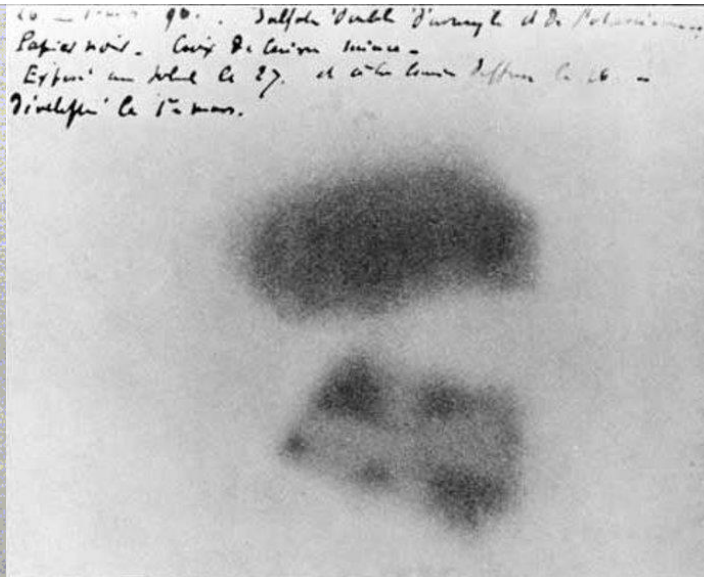
vervangen door apparatuur met een volume $> 1000 \text{ m}^3$

Detectie

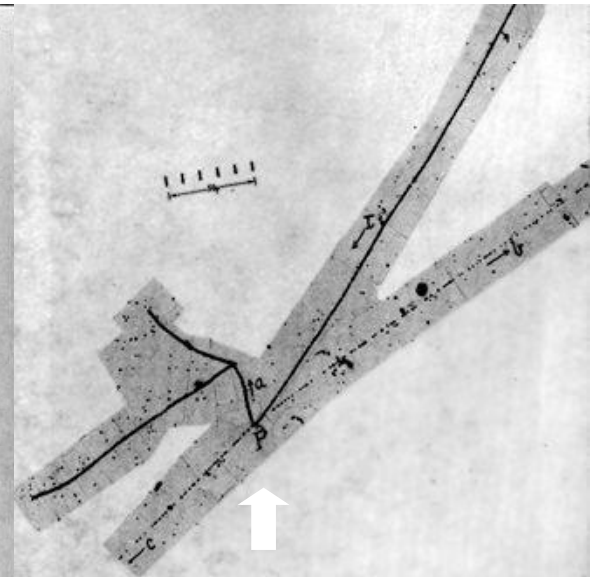
fotografische emulsie



hand met ring van mevrouw Röntgen



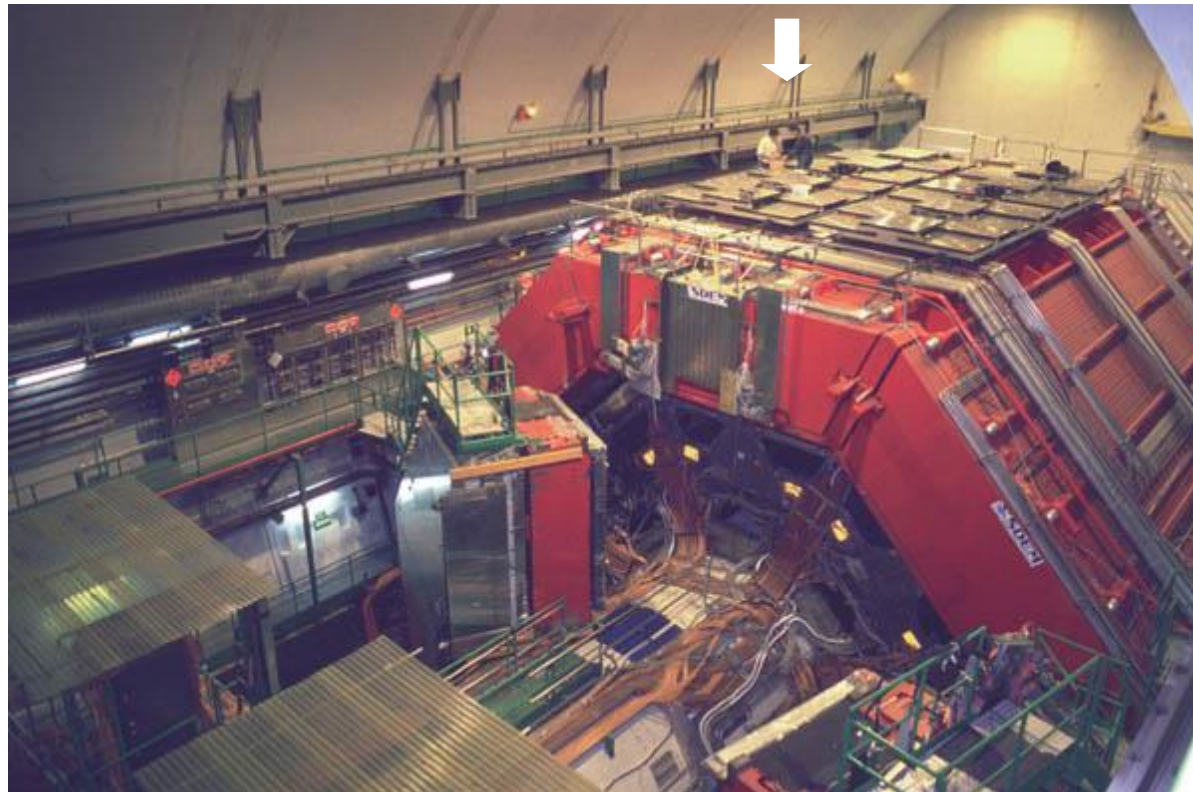
autoradiogram van uraniumzout zie schaduw van Maltezer Kruis tussen uraniumzout en emulsie



τ -deeltje (rechtsboven) vervalt in punt P in drie π -mesonen (a, b en c)

Detectie

nieuwe ontwikkeling



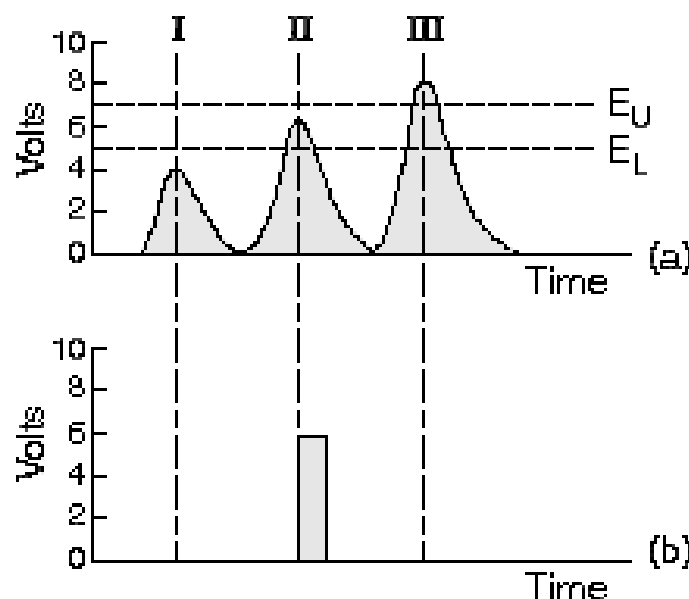
detector voor hoge energiefysica bij het CERN in Genève

Detectie

meetapparatuur - pulshoogteanalyse

stel geheugen bevat 2048 cellen
 definieer 2048 pulshoogtes E_i
 nummer deze $i = 1 \dots 2048$
 tel signalen met $E_i < \text{hoogte} < E_{i+1}$

verhoog inhoud van geheugencel i
 telkens met 1
 zo ontstaat een histogram
 → energieverdeling



pulshoogteanalysator (veelkanaalsanalysator) is tegenwoordig beschikbaar als insteekkaart voor computer en laptop

Detectie

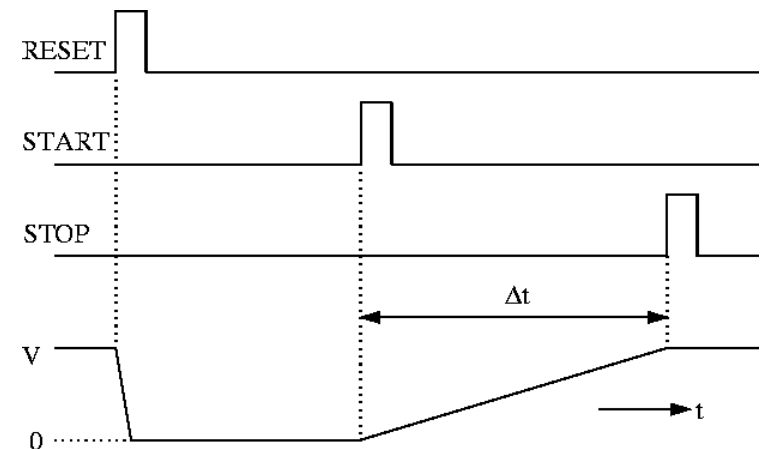
meetapparatuur - pulshoogteanalyse



Detectie

meetapparatuur - tijdanalyse

na resetpuls is de spanning $V = 0$
 na startpuls begint V lineair met de
 tijd t te stijgen
 na stoppuls blijft V verder constant
 de signaalgrootte is evenredig met
 het tijdsverschil Δt tussen start- en
 stoppuls



hiermee is tijdanalyse teruggebracht tot pulshoogteanalyse
 er zijn nog vele andere methodes
 toepassing in ziekenhuis bij PET-TOF (30 ps per cm)

Detectie

koffie

