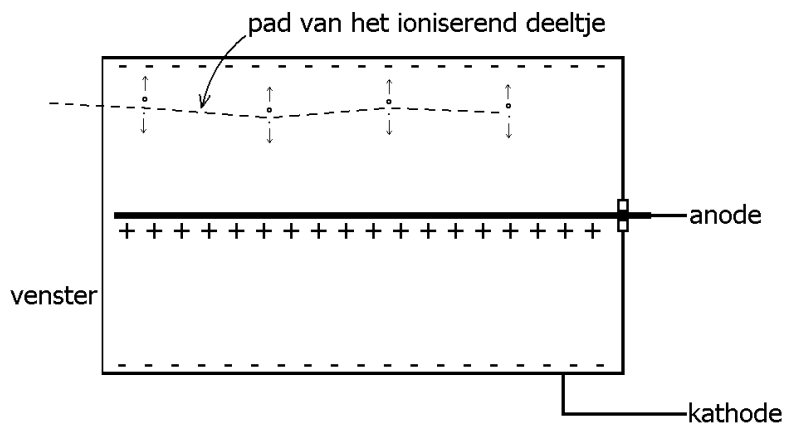


Gasgevulde stralingsdetectoren

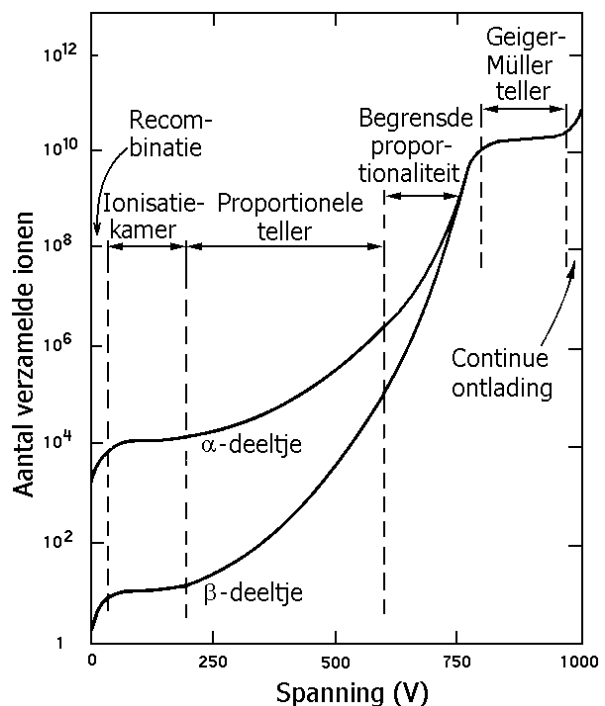
Opbouw van de detector

De werking van een groot deel van de stralingsmeetapparatuur berust op de vorming van ionen in gassen. Het gas bevindt zich dan vaak in een metalen cilinder met in het midden een metalen pen. Zie de figuur hiernaast. Tussen de pen en de cilinder is een spanning aangelegd waarbij de pen positief en de cilinder negatief is.



Als een ioniserend deeltje, zoals een alfa- of bètadeeltje, via het venster de gasgevulde ruimte binnenkomt, ioniseert het op zijn weg een aantal gasmoleculen. Ten gevolge van het elektrische veld bewegen de losgeslagen elektronen naar de pen toe en de (positieve) gasionen naar de cilinder. In de figuur is dit met pijltjes schematisch weergegeven. Omdat de elektronen veel lichter zijn dan de ionen, bewegen de elektronen veel sneller naar binnen dan de ionen naar buiten. Uiteindelijk bereiken de elektronen de metalen pen en de ionen de cilinder. De detector bevat elektronica die deze losgemaakte lading verder verwerkt.

De werking van de detector hangt sterk van de spanning tussen de pen en de cilinder af. Bij kleine spanningen spreken we over een ionisatiekamer, bij grotere spanningen over een proportionele teller en bij nog grotere spanningen over een geiger-müller-teller of kortweg geigerteller. Deze drie soorten detectoren hebben ieder hun eigen gebied in het diagram hiernaast. In het volgende wordt dit allemaal uitgelegd.



Ionisatiekamer

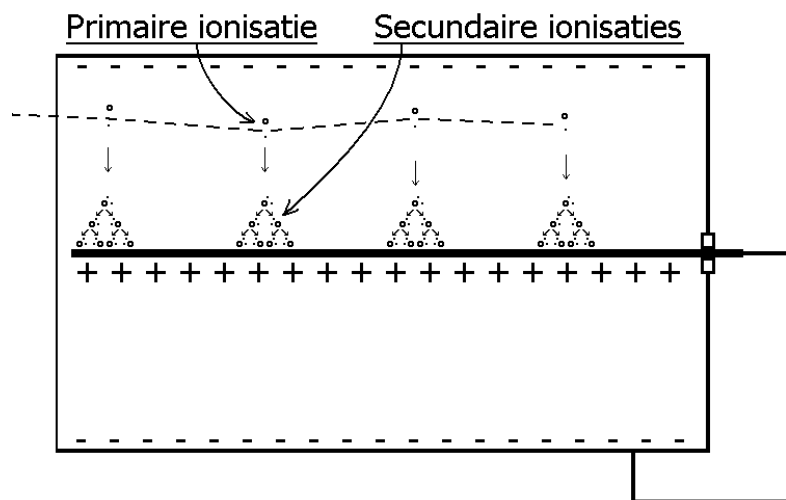
Bij lage spanningen tussen de pen en de cilinder is het elektrische veld binnen de cilinder zwak. Dit betekent dat de elektronen met weinig kracht naar de pen en de ionen met weinig kracht naar de cilinder worden getrokken. Op hun weg naar de pen respectievelijk cilinder botsen de elektronen en ionen tegen gasmoleculen. Omdat de snelheid van de elektronen en ionen relatief klein blijft, hebben ze onvoldoende (kinetische) energie om bij botsingen deze gasmoleculen te ioniseren. Om één elektron uit moleculen in lucht vrij te maken is gemiddeld een energie van 34 eV nodig. Ionisatie van luchtmoleculen is dus niet mogelijk zolang de spanning tussen de pen en de cilinder onder 34 V blijft.

In het bovenstaande diagram is het aantal ionen, dat de cilinder bereikt, uitgezet tegen de spanning nadat een alfa- of bètadeeltje de cilinder is binnengedrongen. Neem het volgende getallenvoorbeeld, dat zodanig gekozen is dat dit past bij het diagram. Een alfadeeltje passeert het (dunne) venster van de detector en heeft dan nog een kinetische energie van 0,34 MeV over. De gemiddelde ionisatie-energie van gasmoleculen bedraagt 34 eV. Er vinden dan maximaal $0,34 \cdot 10^6 / 34 = 1,0 \cdot 10^4$ ionisaties plaats. Ten gevolge van dit alfadeeltje bereiken dan dus $1,0 \cdot 10^4$ elektronen de pen en $1,0 \cdot 10^4$ ionen de cilinder. Ga na dat dit inderdaad klopt met het voorgaande diagram.

Bij zeer lage spanningen zullen de elektronen en ionen zo langzaam uit elkaar gaan, dat de kans aanzienlijk is dat ze recombineren tot ongeladen gasmoleculen. Uiteraard zal het aantal elektronen en ionen dat zijn eindbestemming bereikt dan kleiner worden. Ga dat weer na in het diagram.

Proportionele teller

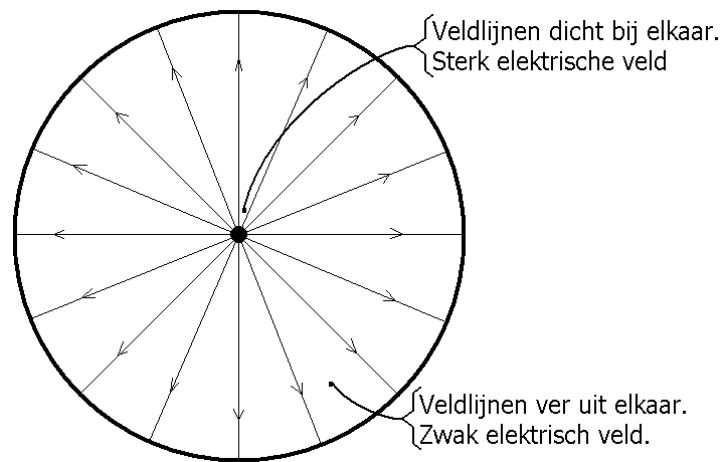
Als de spanning tussen de pen en de cilinder wordt verhoogd, worden de elektronen sterker naar de pen getrokken. Als de snelheid van de elektronen groot genoeg is, kunnen ze, als ze op gasmoleculen botsen, deze gasmoleculen ioniseren. We spreken dan van secundaire ionisaties (niet te verwarren met de primaire ionisaties ten gevolge van het invallende deeltje). Zie ook de figuur hiernaast. Bij elke secundaire ionisatie ontstaan er een nieuw elektron en een positief ion. Het nieuwe elektron wordt ook naar de pen getrokken en kan, als het weer voldoende snelheid gekregen heeft, op zijn beurt ook een gasmolecuul ioniseren enzovoort. Uiteindelijk is er dus sprake van een lawine-effect. Uitgaande van 1 elektron krijg je achtereenvolgens 2, 4, 8, 16 elektronen enzovoort. Allemaal bewegen ze naar de pen.



Ten gevolge van de secundaire ionisaties zullen nu veel meer elektronen de pen bereiken en veel meer (positieve) ionen de cilinder. De losgemaakte lading is dus veel groter geworden. We spreken in dit verband over de gasversterking. Uiteraard heeft een toename van de spanning een toename van de gasversterking tot gevolg.

Zolang de spanning tussen de pen en de cilinder niet al te groot is, treden de elektronenlawines onafhankelijk van elkaar op. Elk elektron dat bij een primaire ionisatie ontstaat, veroorzaakt dus zijn eigen lawine. We spreken dan over een proportionele teller. De gasversterking ligt daarbij meestal tussen 10^2 en 10^4 . Ter vergelijking: bij de ionisatiekamer bedraagt de gasversterking natuurlijk 1.

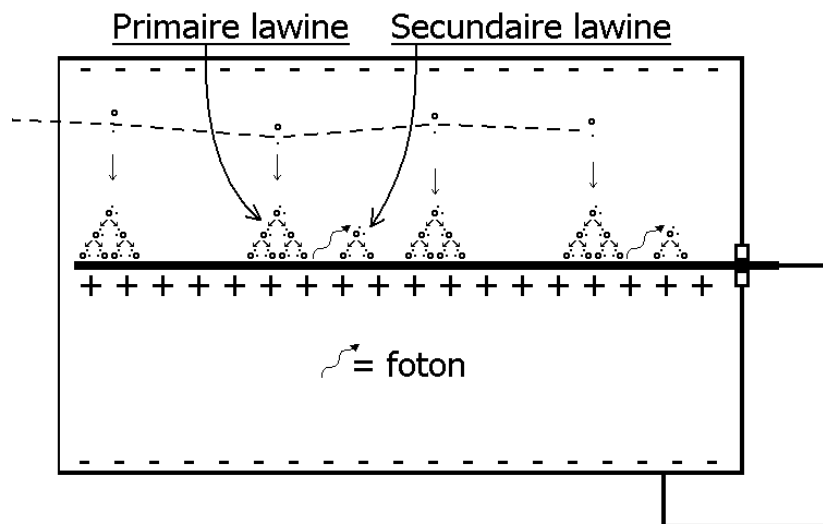
De secundaire ionisaties vinden met name plaats in de buurt van de pen. Dit komt omdat het elektrische veld in de buurt van de pen erg sterk is. Dit blijkt duidelijk in de figuur hiernaast waarin de elektrische veldlijnen getekend zijn in de dwarsdoorsnede van de detector. Vlak bij de pen liggen de veldlijnen het dichtst bij elkaar en is het veld daar dus het sterkst.



Bijna overal in de detector het elektrische veld niet sterk genoeg is om een lawine-effect te veroorzaken. De oorspronkelijke elektronen bewegen relatief rustig richting pen. Alleen vlakbij de pen veroorzaakt het sterke veld een vermenigvuldiging van het aantal elektronen. Zo heeft elk oorspronkelijk elektron ongeveer dezelfde versterkingsfactor, onafhankelijk van de reisafstand van het elektron door de detector. Zo blijft de totaal losgemaakte lading in de detector evenredig met de oorspronkelijk losgemaakte lading door een invallend deeltje of foton. Vandaar de naam proportionele (= evenredige) teller.

Geiger-Muller-teller

Bij opvoering van de spanning tussen de pen en de cilinder is de totaal losgemaakte lading niet meer evenredig met de oorspronkelijk vrijgekomen lading. Sommige elektronen botsen dan namelijk met zo'n vaart op de pen, dat er hierbij fotonen vrij komen. Deze ultraviolette fotonen kunnen op andere plaatsen binnen de cilinder gasmoleculen ioniseren met elektronenlawines tot



gevolg. Deze kunnen we secundaire lawines noemen ter onderscheiding van de primaire lawines die door de oorspronkelijk vrijgemaakte elektronen zijn veroorzaakt. Dit is in de figuur schematisch weergegeven. Bovendien kunnen er bij deze hoge spanningen bij de (negatieve) cilinder elektronen vrijkomen als hier met grote snelheid (positieve) ionen op botsen. Ook deze elektronen kunnen (secundaire) lawines opwekken.

Bij voldoende hoge spanning ontstaan er zoveel secundaire lawines dat het hele gebied rondom de pen “één grote lawine” is. In dit spanningsgebied wordt de geigerteller gebruikt. In dit gebied zal een variatie in de spanning slechts weinig effect op het ladingstransport hebben. In het voorgaande diagram is dit te herkennen aan de vrijwel horizontale lijn. Dit horizontale deel van de grafiek wordt ‘het plateau’ genoemd.

Een geigerteller verschilt in meerdere opzichten van de ionisatiekamer en de proportionele teller. Ten eerste betreft dat de totaal losgemaakte lading nadat een invallend deeltje of foton een aantal gasatomen heeft geïoniseerd. Bij de ionisatiekamer en bij de proportionele teller is deze evenredig met de oorspronkelijk losgemaakte lading. Bij een geigerteller is de totaal losgemaakte lading echter onafhankelijk van de oorspronkelijk losgemaakte lading. Zo kan de ionisatie van slechts één gasmolecuul de geigerteller volledig doen ontsteken. Dit blijkt ook uit het diagram van hiervoor. Hierin zijn beide grafieken in het geigergebied samengevloeid.

Een tweede verschil waarin de geigerteller zich onderscheidt van de andere twee detectoren is dat bij de geigerteller de elektronenlawines zichzelf in stand kunnen houden. Bij de ionisatiekamer en proportionele teller hield het ladingstransport simpelweg op nadat alle elektronen en ionen hun eindbestemming hadden bereikt. Bij de geigerteller ligt dat anders. Nadat een aantal gasmoleculen door een invallend deeltje zijn geïoniseerd, zou er een blijvende stroom kunnen lopen. Uiteraard is dit ongewenst en moet men daarom maatregelen treffen om het ionisatieproces te stoppen. Dit noemt men quenching (doven). Hierop wordt verder niet ingegaan.