

Stromen in PMT-buizen

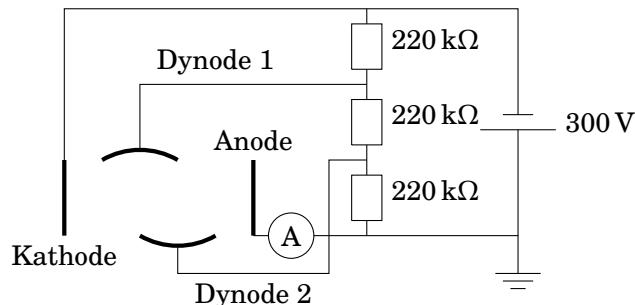
N.G. Schultheiss

1 Inleiding

Een PMT of fotomultiplierbuis is een vacuumbuis waarin een aantal gekoppelde stroomkringen zit. De stromen zijn met behulp van de wetten van Kirchhoff te bepalen. In vacuumbuizen onderscheidt men een kathode waar elektronen worden uitgestraald en een anode waar elektronen worden opgenomen. In het geval van een PMT-buis zijn er ook meerdere dynodes, hier worden elektronen uitgestraald als er elektronen opvallen.

2 Het schema

In figuur 2.1 is een vereenvoudigde PMT-buis met 2 dynodes afgebeeld. De spanning op de dynodes wordt met behulp van een spanningsdeler gemaakt.



Figuur 2.1: Een PMT-buis met twee dynodes

Als er geen licht op de kathode valt, worden hier geen elektronen vrijgemaakt en loopt er geen stroom naar of van de kathode.

1 Leg uit of de stroom naar de kathode zou gaan of dat deze van de kathode zou komen als er licht op de kathode valt.

Er worden geen elektronen bij beide dynodes vrijgemaakt, hier loopt dus ook geen stroom. De enige stroomkring is de stroomkring door de in serie geschakelde weerstanden. Voor deze stroomkring kunnen we volgens Kirchhoff zeggen dat:

$$\sum_{i=1}^n U_i = 0 \quad (2.1)$$

2 Stel de vergelijking voor de spanning in deze stroomkring op volgens Kirchhoff en bereken de stroom door deze kring.

3 Bereken de spanningen tussen de aarde en de kathode, de eerste dynode, de tweede dynode en de anode.

De kathode wordt hierna verlicht. De kathodestroom wordt 6,33nA. Als een elektron van de kathode op de eerste dynode valt, worden er twee extra elektronen vrijgemaakt. Dit gebeurt ook met de elektronen bij de tweede dynode.

4 Bereken de stromen door de eerste en tweede dynode en de stroom door de anode.

Deze stromen worden afgetakt van de stroomkring door de weerstanden. Voor iedere punt waar stroom wordt afgetakt geldt:

$$\sum_{i=1}^n I_i = 0 \quad (2.2)$$

5 Bereken de stromen door de weerstanden. De stroom door de weerstand kan als I_{bat} worden geschreven. Dit is de enige variabele.

6 Bereken met de spanningen over de weerstanden de spanning op de kathode, de dynodes en de anode als de PMT-buis wordt verlicht. ($I_{kathode} = 6,33\text{nA}$)

In de praktijk zitten er in PMT-buizen meer dynodes. De PMT-buizen voor de detectoren voor kosmische straling op het dak van de school hebben 10 dynodes.

7 Bereken hoeveel de stroom nu in het totaal versterkt wordt.

3 De werking van een dynode

De werking van een dynode is met energie uit te leggen. Op de eerste dynode vallen elektronen die afkomstig zijn van de kathode. Zoals bekend is de energie van een elektron te bepalen met de spanning en de lading.

$$U = \frac{E}{q} \quad (3.1)$$

We gaan uit van een spanning tussen de kathode en de eerste dynode van 100V.

8 Bereken de verandering van de energie van het elektron als dit van de kathode naar de eerste dynode gaat.

Tussen de kathode en de eerste dynode wordt elektrische energie omgezet in bewegingsenergie ($E = \frac{1}{2}mv^2$).

9 Bereken de snelheid van het elektron bij de eerste dynode als we de snelheid bij de kathode mogen verwaarlozen.

De energie van het elektron bij de eerste dynode wordt gebruikt om elektronen uit het metaal te botsen.

10 Beredeneer wat er met de versterking gebeurd als we de spanning tussen kathode en anode verhogen.