

Detectoren

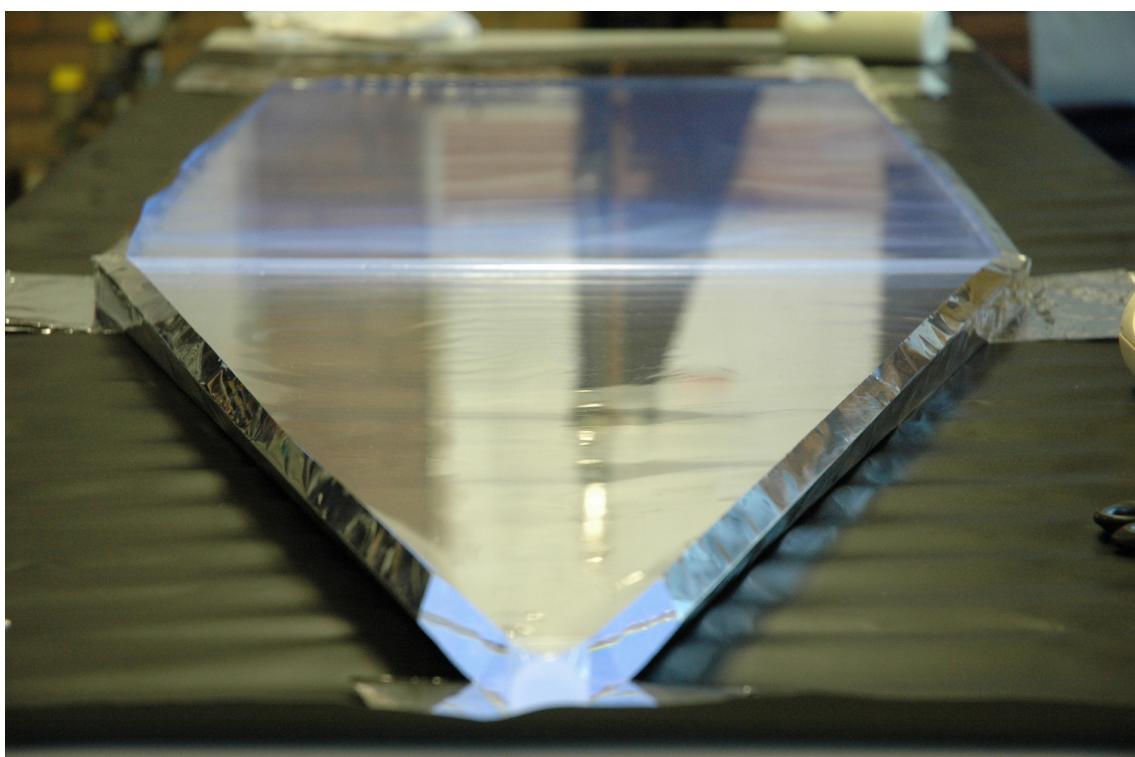
N.G. Schultheiss

1 Inleiding

De HiSPARC-detector neemt kosmische deeltjes waar. De detector bestaat uit een scintillatorplaat van 0,50m bij 1,00m waaraan een lichtgeleider is gelijmd. Een deel van het licht wordt hiermee naar een lichtdetector geleid. In deze module kijken we naar de lichtgeleidende eigenschappen van de scintillator. In de hier op volgende module “Scintillatie” wordt het scintillatiemechanisme verder bekeken.

2 De constructie van de detector

De HiSPARC-detector neemt kosmische deeltjes waar. Dit gebeurt doordat het deeltje op een scintillatorplaat van 0,50[m] bij 1,00[m] valt. Het deeltje veroorzaakt in de scintillatorplaat een aantal fotonen met een golflengte van 425nm. Deze fotonen worden ten dele via een lichtgeleider naar de photomultiplier (lichtdetector) geleid.



Figuur 2.1: De scintillatorplaat met de lichtgeleider

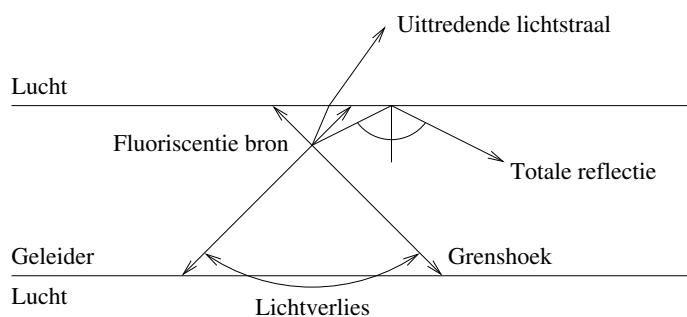
De fotonen in de scintillatorplaat ontstaan door fluorescentie. Bij fluorescentie wordt een deel van de energie van een invallend deeltje gebruikt om een atoom in een aangeslagen¹ toestand te brengen. Even later valt het atoom terug in de grondtoestand. De energie komt bij de terugval vrij als fluoriserende straling.

Helaas kan gewoon licht, en ook UV-straling, de atomen in een aangeslagen toestand brengen. Verder reageert de detector ook op ander licht dan het fluorescentie licht. Het is dus noodzakelijk om de HiSPARC-detector goed lichtdicht te verpakken. Een lichtlekje leidt direct tot een serie valse metingen.

Het zou prettig zijn als de grootte van de lichtpuls alleen afhangt van de energie van het deeltje en niet van de plaats waar het deeltje op de detector valt. Als de lichtdetector direct op de scintillatorplaat wordt aangesloten, spreekt het voor zich dat pulsen die vlakbij de detector ontstaan een veel hoger signaal geven dan de pulsen die ver van de detector ontstaan. Door een lichtgeleider tussen de scintillatorplaat en de detector te plaatsen, kunnen we dit effect grotendeels voorkomen.

3 Theoretische evaluatie van de detector

We kunnen het detectorontwerp theoretisch beschouwen als een lichtgeleider bestaande uit een scintillatorplaat en de perspex driehoek. Zolang de hoek van inval groter is dan de grenshoek zal er totale reflectie optreden. Zoals in figuur 3.1 te zien is, treedt een deel van het licht uit de lichtgeleider omdat de fluorescentiefotonen (lichtstralen) in alle richtingen bewegen. Waarschijnlijk wordt dit licht voor een deel door de aluminiumfolie rond de detector teruggekaatst. Bij iedere weerkaatsing treedt een beetje absorptie op en verdwijnt een deel van de fotonen. We mogen dus aan nemen dat de uittredende fotonen een verwaarloosbare bijdrage leveren aan het gedetecteerde licht. Verder is te zien dat dit verlies niet afhangt van de plaats van de fluorescentie. Er gaat altijd eenzelfde hoeveelheid licht verloren.



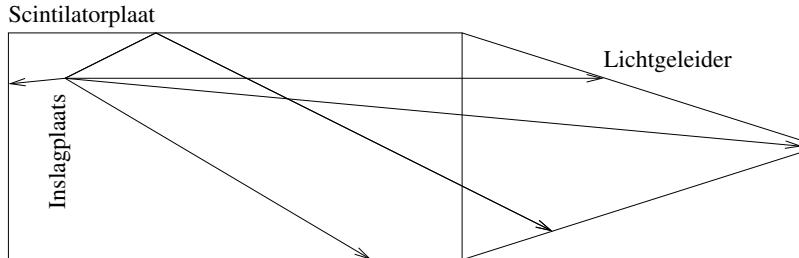
Figuur 3.1: Lichtverlies in de lichtgeleider

We gaan uit van de gedachte dat het licht door de detector wordt geleidt. In de module “Het Heelal” is te lezen dat de schijnbare helderheid (intensiteit) omgekeerd kwadratisch evenredig is met de afstand. Het is de vraag of we deze gedachte ook bij lichtgeleiders mogen gebruiken.

Opdracht 1: *In de module “Het Heelal” gaat het licht achtereenvolgens door kubussen met oplopende grootte. Omdat het licht over het gehele oppervlak wordt verdeeld, neemt de gemiddelde intensiteit kwa-*

¹Als een atoom in een aangeslagen toestand komt, wordt een elektron van de grondtoestand naar een hoger energieniveau gebracht. Even later valt het elektron weer terug onder uitzending van een foton met deze gedefinieerde energie.

dratisch met de ribbe van de kubus af. In de lichtgeleider verspreidt het licht dat niet verloren gaat zich min of meer in cilinders. Toon aan dat de lichtintensiteit in een lichtgeleider omgekeerd evenredig is met de afstand.

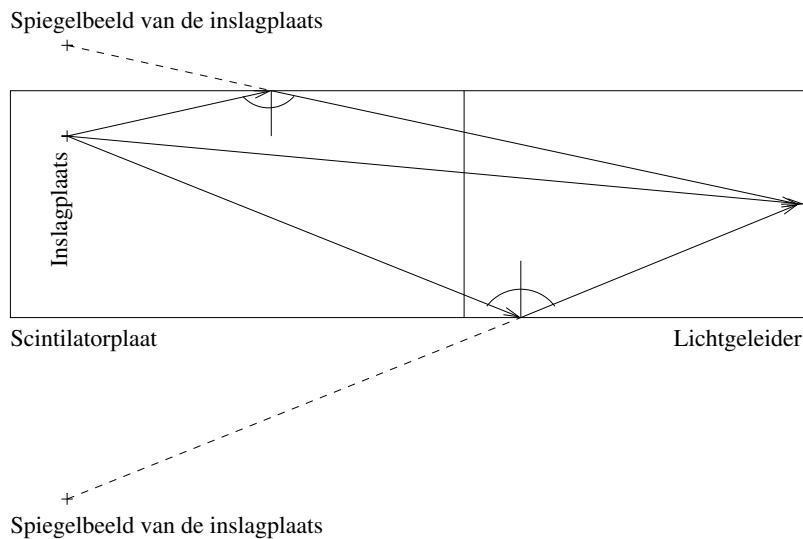


Figuur 3.2: Bovenaanzicht van de detector

Het bovenaanzicht van de detector is in figuur 3.2 te zien. Op het eerste gezicht lijkt het of de hoeveelheid licht bij de detector toeneemt, doordat de geleider steeds smaller wordt. Zoals te zien is gaan we uit van een kosmisch deeltje dat op de scintillatorplaat is ingeslagen. Uiteraard gaan de lichtstralen alle kanten op. Eén lichtstraal gaat direct naar de detector, dit licht wordt gemeten. Er zijn nog vier andere stralen te zien.

Opdracht 2: Maak de vier overgebleven stralen af en laat zien of deze stralen in de detector kunnen komen. Leg hiermee uit of het smaller worden van de lichtgeleider een grote verhoging van het gemeten signaal geeft.

Op de wijze van figuur 3.2 is het niet eenvoudig om te onderzoeken hoeveel stralen er in de detector komen. We gaan over op een nieuw model waarin de lichtgeleider niet smaller wordt maar een rechthoek is. Hierin zijn drie lichtstralen te zien die detector kunnen bereiken. Het spreekt voor zich dat de spiegelbeelden ook weer spiegelbeelden hebben.



Figuur 3.3: Bovenaanzicht met spiegelbeelden

Opdracht 3: Leg uit hoe de eisen voor de reflectie aan het oppervlak van de detector het aantal mogelijke reflecties beperken.

Opdracht 4: Leg uit dat er meer lichtstralen bij de detector kunnen komen als de afstand van het inslagpunt tot de detector toeneemt.

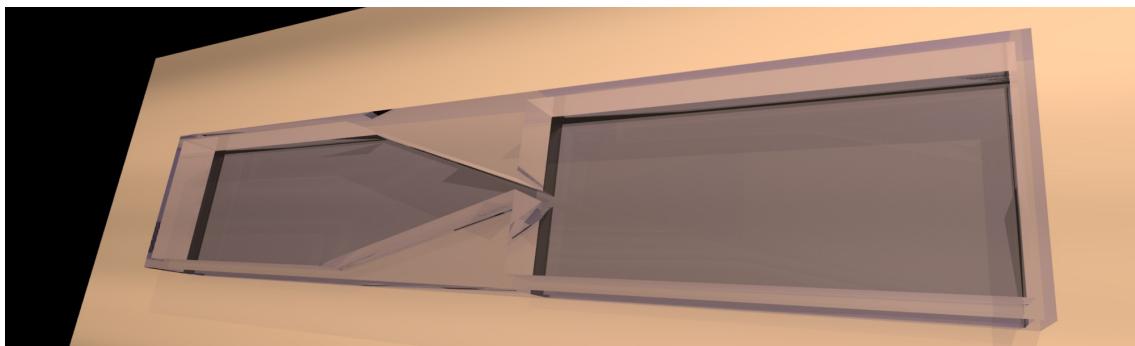
Als model kunnen we uitgaan van twee gedachten:

- De intensiteit van de lichtbundel is omgekeerd evenredig met de afstand.
- Het aantal mogelijke lichtbundels is rechtevenredig met de afstand.

Als deze kloppen dan is het signaal van de lichtdetector niet afhankelijk van de plaats van inslag van de straling.

Opdracht 5: Beargumenteer of het bovenstaande model te verdedigen is.

4 Een praktische simulatie



Figuur 4.1: Een perspex simulatiebak

Deze theorie is te toetsen met een simulatie in een golfbak. Naast de bak volgens figuur 4.1 is hiervoor nodig:

- Een druppelpipet.
- Water.

We laten druppels water in de bak vallen. De energie van de druppel wordt omgezet in een golf die zich over het wateroppervlak verspreidt. De golf botst tegen de strook metaal en weerkaatst. Een deel van de golf komt uit de opening bij de detector. De golf die ontsnapt is te vergelijken met de hoeveelheid licht die in de lichtdetector valt.

Opdracht 6: Als de hoek kleiner dan de grens hoek is, treedt er geen totale reflectie meer op. Helaas houdt dit model geen rekening met deze gedeeltelijke reflectie. Verzin hoe deze “absorptie” in het model kan worden gerealiseerd.