

Radiotelescopen

N.G. Schultheiss

1 Inleiding

In de module “Het uitdijend Heelal” hebben we gezien dat het heelal steeds groter wordt. Bijgevolg zijn de lichtstralen van melkwegstelsels die ver van ons af staan naar het rood verschoven. Extreem verre sterren hebben een extreme verschuiving. In het microgolf gebied (zeer korte radiostraling) kunnen we de kosmische achtergrondstraling van de Big Bang waarnemen. Deze straling is verdeeld als een zwarte straler ¹ met een maximum bij een golflengte van 6cm.

2 De opstelling



Figuur 2.1: Schotels in Westerbork

De eerste opstellingen voor radioastronomie werden na de tweede oorlog gebouwd in Westerbork uit overtolige radarapparatuur van de tweede wereldoorlog. Nu is een opstelling eventueel te bouwen met overvloedige satellietontvangers. De radiosignalen voor satellietontvangst ligt in de orde van 12GHz.

Opdracht 1: *Bereken de golflengte van het satelliet signaal en leg uit of met satelliet schotels aan radioastronomie kan worden gedaan.*

Een nadeel van radioastronomie is dat een radiosignaal een veel grotere golflengte heeft dan licht. Om een opstelling met een goede resolutie te bouwen hebben we dus een heel grote paraboolspiegel nodig. In de module

¹Wilhelm Carl Werner Otto Fritz Franz Wien (1864-1928) onderzocht hoe de verdeling van de kleuren van het licht / golflengten van het licht was bij voorwerpen die warm worden gemaakt. Om de kleur van het voorwerp niet mee te laten tellen gebruikte hij zwarte voorwerpen. Als deze gloeiend heet wordt geven ze dus wel licht. Als je er echter licht op laat vallen wordt al het licht geabsorbeerd. In de praktijk kun je een zwarte straler goed maken door een gaatje in een blok te boren. Het gat kun je als zwarte straler zien. Al het licht wordt door het zwarte gat geabsorbeerd. Het is wel handig om de wanden van het gat zwart te maken met bijvoorbeeld roet van een kaars. Koude voorwerpen stralen alleen (ver) infrarood licht uit.

“Telescopen” hebben we gezien dat de resolutie te vinden is door de golflengte van het signaal te delen door de diameter van de spiegel.

In de radioastronomie zet men meestal een aantal schotels op een lijn. Samen werken deze schotels als een grote schotel. Met een aantal satellietschotels is op school ook radioastronomie te bedrijven. Met drie schotels en ontvangers is al wat te doen. Deze schotels zijn met kabels aan een meetstation te koppelen. De lengte van de kabel is van belang omdat gelijktijdige signalen van de schotels ook gelijktijdig in het meetcentrum moeten komen. Het radiosignaal gaat bij benadering met de lichtsnelheid door de atmosfeer. Helaas gaat het signaal ongeveer 1,5 maal zo langzaam door een coaxkabel. De kabels moeten dus precies evenlang zijn voor iedere schotel. Verder is het noodzakelijk om één soort kabels te gebruiken. Als we de signaalsterkte van het signaal van de schotels kunnen meten hebben we al een soort radiotelescoop.

Opdracht 2: *Onderzoek op internet wat er nodig is voor een eenvoudige radiotelescoop en hoe je deze kunt bouwen.*

3 De resolutie van een radiotelescoop

Volgens de module “Telescopen” kunnen we de resolutie van één schotel vinden met:

$$\sin(\alpha) \approx \tan(\alpha) \approx \frac{\lambda}{\text{Diameter}} \quad (3.1)$$

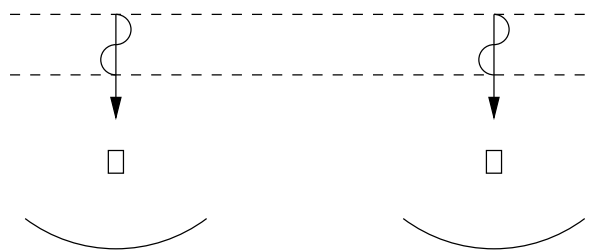
Voor een golflengte van 2,5cm en een schoteldiameter van 50cm komen we op een hoek van:

$$\sin(\alpha) \approx \tan(\alpha) \approx \frac{2,5\text{cm}}{50\text{cm}} = 0,050 \quad (3.2)$$

De maximale hoek ligt dus in de orde van $2,9^\circ$ of 0,050 radialen.

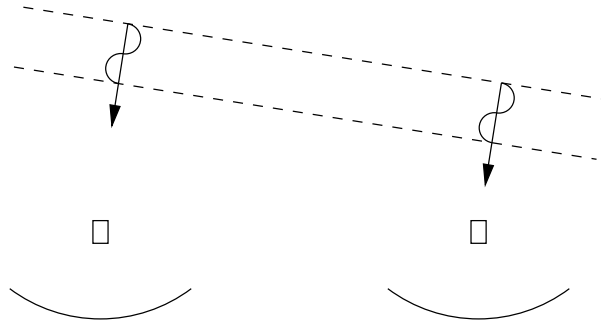
Opdracht 3: *Deze gevoeligheid is ook te bepalen door de schotel op een satelliet te richten. Daarna is te kijken wanneer het satelliet signaal wegvalt als de schotel wordt verdraaid.*

De resolutie van een radiotelescoop kan worden verhoogd door een aantal detectoren tegelijk te gebruiken. Dit kan door de detectoren in een lijn op te stellen.



Figuur 3.1: Een opstelling met twee detectoren

In figuur 3.1 zien we een radiosignaal loodrecht op de opstelling af komen. De detectoren meten een synchroon signaal, dat wil zeggen dat de spanning van de detectoren tegelijk op en neer gaat. Om een zo klein mogelijk deel van de hemel te meten, willen we de schotels daarom zo ver mogelijk uit elkaar zetten. Er zijn echter meerdere manieren om synchrone signalen te detecteren.



Figuur 3.2: Een schuin invallende radiogolf

In figuur 3.2 is te zien hoe een radiogolf schuin op de opstelling invalt. Het radiosignaal legt voor de linkerdetector precies een golflengte meer af dan voor de rechterdetector. Beide gemeten signalen zijn weer synchroon. De opstelling is dus ook voor deze hoek extra gevoelig.

Opdracht 4: *Leg uit of je voor een opstelling die voor kleine hoeken gevoelig is, de schotels ver uit elkaar of dicht bij elkaar moet zetten.*

Opdracht 5: *Leg uit of het zinvol is om de schotels heel ver uit elkaar te zetten. Denk aan het weglengteverschil tussen twee schotels!*

Opdracht 6: *Leg uit waarom we drie schotels het beste in de hoekpunten van een gelijkzijdige driehoek kunnen zetten om de radiosignalen uit een zo klein mogelijk deel van de hemel te meten.*

4 Pulsars

Dame Susan Jocelyn Bell Burnell (1943-) werkte bij professor Hewish in Cambridge mee aan de constructie van een radiotelescoop. De sterkte van radiosignaal werd op stroken papier geschreven met een (x,t)-schrijver. Het was de bedoeling om te ontdekken of er buitenaards leven was (Little Green Men of LGM). Helaas schreef de recorder veel sneller grafieken, dan dat Jocelyn Bell de grafieken kon bekijken. Op een gegeven moment ontdekte ze echter een periodiek signaal. Ergens in het heelal was iets dat een serie korte radiopulsen uitzond. Zouden dit little green men zijn?



Figuur 4.1: Een tweekanaals (x,t)-schrijver

De kans dat er op meerdere plaatsen in het heelal LGM zouden zijn, vond ze erg klein. Ze ging daarom op zoek naar andere regelmatige signalen. Als deze er waren, was er iets anders aan de hand. Na de berg papier nog eens grondig te hebben bestudeerd, vond ze meerdere signalen. Het waren dus geen LGM. Er moest iets anders aan de hand zijn. Een beter idee was dat het een snel rondtollende ster was. Deze nieuwe ontdekking werd een pulsar genoemd. Een pulsar stuurt als een soort vuurtoren bundels radiostralen door het heelal. Deze meten we als een periodiek signaal met een radiotelescoop. Waarschijnlijk zijn deze pulsars ook een bron voor hoogenergetische kosmische straling.

5 Benodigheden

Om een interferentie radiotelescoop te bouwen, hebben we de volgende onderdelen nodig:

- Een of meerdere schotels.
- Evenveel LNB ²'s of Low noise block converters. Deze werken als antenne en zetten het 12GHz signaal om in een laagfrequent signaal.
- Een satellietzoeker, hiermee is de sterkte van het signaal te meten.
- Coaxkabel en kabelsplitters.

Monteer de LNB op de schotel. Via een coaxkabel is de satellietzoeker aan te sluiten. Let op dat je de satellietzoeker met een impedantie van 75Ω afsluit. Zonder afsluiting kun je reflecties in je opstelling krijgen. Met de schotel is nu al te kijken of je een radiobron kunt waarnemen. Als de schotel iets waarneemt slaat de satellietzoeker uit. Met een enkele schotel is de Zon goed te zien. Het is al ingewikkelder om de Maan waar te nemen.

Als volgende stap kan een tweede schotel worden opgesteld. Met een kabelsplitter kunnen beide schotels waarschijnlijk op de satellietzoeker worden aangesloten, dit hangt mede af van het soort LNB's. Met de satellietzoeker meten we nu de som van de twee signalen. De resolutie van de opstelling moet hierdoor aanzienlijk toenemen.

²Een LNB werkt als heterodyne ontvanger voor satelliet signalen. In een heterodyne ontvanger wordt het antennesignaal vermenigvuldigd met een middenfrequent signaal. De frequentie van dit signaal ligt iets boven de helft van de frequentie van het antennesignaal. Door deze vermenigvuldiging ontstaat er een verzameling van signalen met verschillende frequenties. Met een filter kunnen we de frequenties voor de UHF (ultra high frequency) en VHF (very high frequency) band uit deze verzameling halen. Als dit signaal op een TV wordt aangesloten kunnen we TV-kijken. Omdat de fase van het antennesignaal en de fase van het middenfrequentsignaal beide belangrijk zijn voor de fase van het uitgaand signaal, moeten verschillende schotels in een array eenzelfde middensignaal krijgen. In het ideale geval is er één middenfrequente bron voor alle schotels van de opstelling.

Let op dat de kabels van de schotels naar de kabelspitter even lang zijn. Omdat de golflengte in de orde van 2,5cm is, moet de lengte op de millimeter kloppen. Een looptijdverschil geeft een fase verschil in de detector en daarmee een schuine meting.

Tot slot kunnen we via een kabelsplitter een derde schotel toevoegen. De totale kabellengte, inclusief de lengte van eventuele kabelsplitters in de kabel, van iedere schotel tot de satellietzoeker moet even groot zijn.