



ONTDEKKINGSTOCHT DOOR HET
ONZICHTBARE HEELAL

Inhoudsopgave

Voorwoord	3
Gebruiksaanwijzer	3
Algemene achtergrond	5
Kerdoelen	7
Lessen	9
Les 1: Ik zie, ik zie wat jij niet ziet	9
Les 2: Heb je dat gehoord?	13
Les 3: Waarom zie je geen flits bij de dokter?	17
Les 4: Bouw je eigen papieren radiotelescoop!	21
Les 5: Maak je eigen radioafbeelding!	26
Les 6: Kijken met andere ogen!	31
Les 7: Kwartet!	35
Les 8: Golven!	43
Les 9: Bericht uit de ruimte!	47
Les 10: Weerkaatsing!	50
Les 11: Storing!	54
Les 12: Groot, groter, grootst!	57
Bijlage	60
Begrippenlijst	65
Bronnen afbeeldingen	66
Colofon	67

Voorwoord

Al sinds de oudheid verwonderen mensen zich over de fascinerende sterrenhemel. Maar pas sinds de uitvinding van de telescoop – die werd gedaan in Nederland in 1608 – zijn we in staat om astronomische objecten tot in detail te bestuderen. De sterrenkunde is dus een relatief jonge wetenschap waarin nog een hoop te ontdekken is. Om alle geheimen van ons heelal te ontrafelen, hebben we derhalve nog generaties aan astronomen nodig. Het inspireren van jonge kinderen is daarom essentieel voor de toekomst van de sterrenkunde in het bijzonder, en van de wetenschap in het algemeen.

We kunnen ook pas sinds kort het heelal bekijken met behulp van andere soorten licht dan alleen zichtbaar licht. Radio-, infrarood-, röntgen-, gamma- en Uv-straling geven sterrenkundigen een kijkje in een geheel nieuwe wereld: het ‘onzichtbare’ heelal.

Het lessenpakket ‘Ontdekkingstocht door het onzichtbare heelal’ is ter inspiratie bedoeld voor leerlingen van het basisonderwijs. Het laat ze kennis maken met een kant van de wereld die ze nog nooit zagen. Nederlandse wetenschappers doen veel onderzoek op het gebied van radioastronomie. Dit lessenpakket bevat daarom voornamelijk lessen die betrekking hebben op radiostraling.

Gebruiksaanwijzer

Omdat er voor het onderwerp radioastronomie bepaalde inzichten nodig zijn, zijn de lessen alleen geschikt voor leerlingen uit groep 5, 6, 7 en 8 van het basisonderwijs. Dit lessenpakket is zo opgezet dat de lessen zijn gerangschikt naar de verschillende groepen.

De lessen kunnen los van elkaar gebruikt worden, maar ook schoolbreed per lessenserie worden gegeven. Hierdoor is het mogelijk dat u herhaling tegenkomt van een bepaalde theorie als u alle lessen achter elkaar uitvoert.

Aan het einde van ‘Ontdekkingstocht door het onzichtbare heelal’ is een lijst te vinden met sterrenkundige begrippen die voorkomen in de lessen.

Ondanks het feit dat de sterrenkundige begrippen worden uitgelegd, is het belangrijk om de ‘algemene achtergrond’ te lezen voordat u aan de lessen begint. Met die informatie in het achterhoofd, volstaat de achtergrond die bij elke les wordt gegeven voor het leiden van de oefening.

Opbouw van de lessen

Elke les bestaat uit een handleiding voor de leerkracht, gevolgd door een werkblad voor de leerlingen met soms meerdere opdrachten. Deze werkbladen bevinden zich op een nieuwe pagina, zodat ze eenvoudig te kopiëren zijn. De opbouw van elke les ziet er als volgt uit.

Kerdoelen

Als eerste staan de kerndoelen beschreven die in de les aan bod komen. Op pagina 7 is een uitgebreid overzicht te vinden van alle kerndoelen die in dit lessenboek aan bod komen.

Benodigdheden

Per les zijn de benodigdheden afgestemd op een klas van 26 leerlingen. Heeft u echter meer leerlingen in uw klas, dan kunt u dit getal aanpassen aan het aantal leerlingen in uw klas. Als er geen aantallen genoemd worden, zoals bijvoorbeeld bij potloden, kunt u zelf een inschatting maken van de benodigde hoeveelheid.

Korte beschrijving

Hierin staat in één of enkele zinnen omschreven wat de les inhoudt.

Leerdoel

Het leerdoel van de les bestaat uit de kennis en vaardigheden die de leerlingen zouden moeten hebben opgedaan na het volgen van de les.

Achtergrond

Elke les is voorzien van een achtergrond, met daarin de benodigde informatie om de les te geven en eventuele vragen van kinderen te beantwoorden.

Uitgebreide lesomschrijving

Hierin staat stap voor stap uitgelegd hoe u het onderwerp kunt introduceren en de les kunt leiden.

Legenda



Leeftijd



Tijd



Groep



Individueel



Onder toezicht

Algemene achtergrond

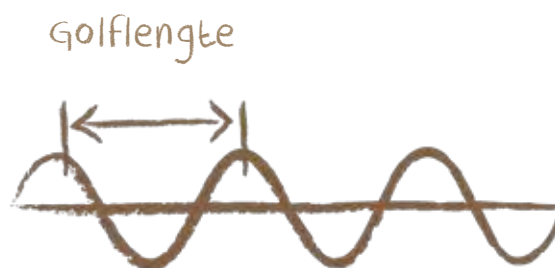
Als je op een heldere nacht op het platteland naar boven kijkt, zie je een overweldigende sterrenhemel. Met een beetje geluk zie je zelfs het centrum van de Melkweg – het sterrenstelsel waar wij deel van uitmaken. Slierten stof hangen sierlijk in de leegte en steken vaal af tegen een achtergrond van duizenden heldere sterren. Hoe langer je kijkt, des te meer lichtjes er aan de hemel verschijnen. Al deze lichtjes zijn sterren uit de Melkweg, maar ook planeten uit ons Zonnestelsel of zelfs complete sterrenstelsels, ver van ons vandaan.

Maar hoe overweldigend de sterrenhemel er ook uit ziet, veel kleur is er niet in te bekennen. De meeste hemellichamen lijken gewoon saai wit. Met een telescoop kun je nog wel kleuren ontwaren in de planeten, zoals de roestrode planeet Mars en de beige reus Jupiter, maar verder ziet het heelal eruit als een zwart-witte bedoening. Toch is dit slechts schijn. In werkelijkheid zenden sterren alle kleuren uit van de regenboog. Alle kleuren samen tellen op tot de 'kleur' wit, net zoals rood en geel samen oranje vormen. Bovendien zenden ze nog vele andere soorten licht uit, maar mensen kunnen die niet met hun ogen waarnemen.

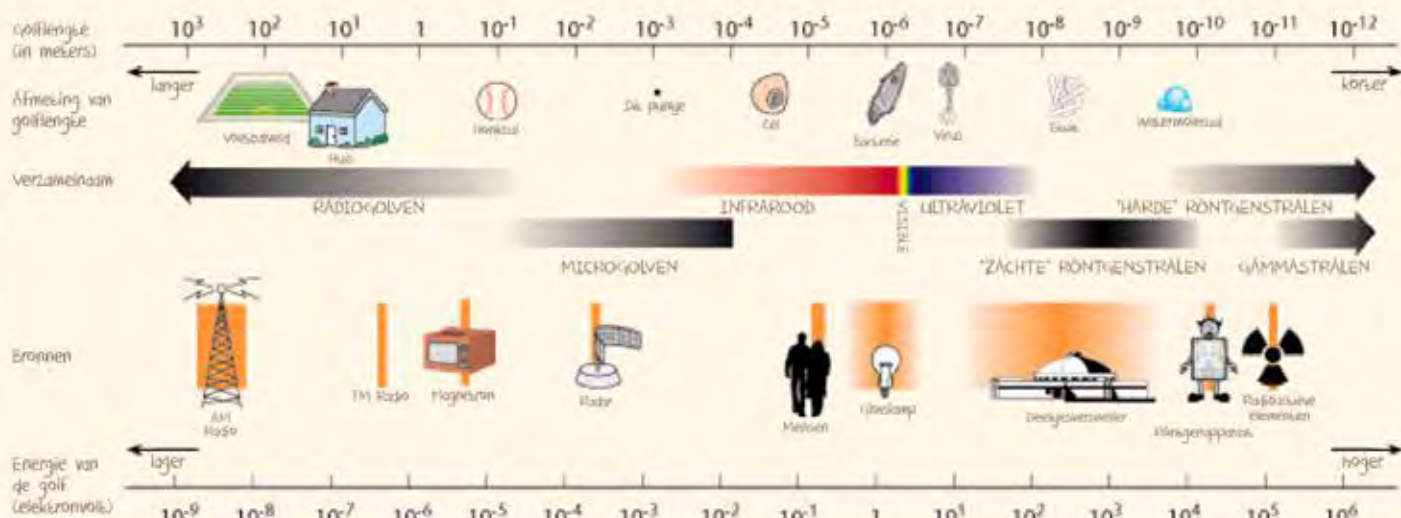
Kleur

Licht is een vorm van zogenoemde elektromagnetische straling. Deze straling bestaat uit elektromagnetische golven die, net als geluidsgolven, een golflengte hebben. In het geval van geluid maakt de lucht een golvende beweging, waarbij de lengte van die golven de toonhoogte bepaalt; hoe korter de golflengte, des te hoger de toon. Voor licht geldt: de golflengte van elektromagnetische golven bepaalt de kleur van het licht. Zo bestaat rood licht uit golven van 700 miljardste meter (700 nanometer). Blauw licht heeft zelfs nóg een kortere golflengte; 400 nanometer. De golflengtes van alle andere kleuren die we kunnen zien bevinden zich tussen de 400 en 700 nanometer. Straling binnen dit golflengtebereik noemen we optische straling, in de volksmond ook wel 'gewoon' licht of 'zichtbaar' licht genoemd. Elektromagnetische straling met een golflengte kleiner dan 400 of groter dan 700 nanometer is onzichtbaar voor menselijke ogen.

Toch komt er een heleboel straling uit het heelal met langere of juist kortere golflengtes. Eigenlijk missen we continu een spetterende show! Deze 'onzichtbare' straling heeft andere eigenschappen op andere golflengtes, net zoals alle kleuren er anders uitzien. Het totale elektromagnetische spectrum delen we op in verschillende soorten elektromagnetische straling: radio-, microgolf-, infrarood-, zichtbare, ultraviolet-, röntgen- en gammastraling (zie afbeelding hieronder).



HET ELEKTROMAGNETISCHE SPECTRUM



Gebruik

Al deze soorten straling zijn dus eigenlijk een soort onzichtbaar licht; ze hebben een golflengte die onze ogen niet kunnen waarnemen. Ondanks dat we ze niet kunnen zien, maken we er in het dagelijks leven wel gebruik van. Zo luisteren we muziek via de radio (radiostraling), warmen we maaltijden op in de magnetron (microgolfstraling), bedienen we de tv met een afstandsbediening (infraroodstraling), worden we bruin in de zon (ultravioletstraling) en kijken we in het ziekenhuis of er iets gebroken is (röntgenstraling). Voor gammastralen zijn er in het dagelijks leven weinig toepassingen, omdat die schadelijk zijn door hun hoge energie. Dit soort straling heeft namelijk de kortste golflengte van allemaal, en draagt daarmee automatisch de grootste hoeveelheid energie met zich mee. Hoe kleiner de golflengte, des te hoger is de energie die een golf met zich meedraagt.

Het is bovendien heel moeilijk om zulke hoogenergetische straling te produceren. In de ruimte krijgen slechts enkele zeldzame objecten dit voor elkaar. Dat zij dit doen, stelt astronomen in staat om ze te zien. Dit is een voorbeeld van de mogelijkheden die er voor wetenschappers liggen in 'onzichtbaar' licht. Met het blote oog of met een optische (lees: normale) telescoop kun je slechts een klein deel opvangen van alle informatie die het heelal op ons afstuurt. Sterren stralen namelijk niet alleen met alle kleuren van de regenboog, maar ook met veel soorten onzichtbaar licht! Door met zogenoemde radiotelescopie, of andere soorten telescopen, naar de ruimte te kijken, zijn astronomen in staat om het universum te bestuderen via deze andere straling. Dit is een erg handig hulpmiddel om objecten op een andere manier te bekijken. Of om ze überhaupt te zien; als een ster bijvoorbeeld achter een wolk van ruimtestof zit, gaat het zichtbare licht dat hij uitstraalt daar niet doorheen, maar zijn radiostralen wel.

Nederland

Nederland speelt een belangrijke rol op het gebied van de radioastronomie. Het Nederlandse klimaat is zodanig dat het wolkendek weinig gelegenheid biedt om met optische telescopen naar de hemel te kijken. Radiotelescopie ondervindt echter net zo weinig hinder van regenwolken als van ruimtewolken; radiostralen gaan hier dwars doorheen. Bij Westerbork in Drenthe staat sinds 1970 een reeks van veertien grote radiotelescopie (zie afbeelding), die Nederlandse radiosterrenkundigen een instrument geven om het 'onzichtbare' heelal te bestuderen. Deze opstelling heet de LOw Frequency Array (LOFAR).



Kerdoelen

Het nationaal expertisecentrum leerplanontwikkeling (<http://www.slo.nl>) heeft in opdracht van het ministerie van Onderwijs, Cultuur en Wetenschap 58 kerndoelen opgesteld om het onderwijsniveau in Nederland op peil te houden. Deze geven aan wat leerlingen aan het einde van hun basisschooltijd moeten kennen en kunnen. Het zijn streefdoelen waar het basisonderwijs zich op richt bij de ontwikkeling van het lesprogramma. De kerndoelen zijn ingedeeld in zeven leergebieden:

- Nederlands
- Engels
- Fries (voor scholen in Friesland)
- rekenen en wiskunde
- oriëntatie op jezelf en de wereld
- kunstzinnige oriëntatie
- bewegingsonderwijs

In het lespakket 'Ontdekkingsstocht door het onzichtbare heelal' komen meerdere kerndoelen aan de orde. Ondanks het feit dat de kerndoelen van het basisonderwijs het onderwerp radioastronomie niet beschrijven, sluiten de volgende kerndoelen uit verschillende leergebieden goed aan bij 'Ontdekkingsstocht door het onzichtbare heelal'.

Kerdoel 1

De leerlingen leren informatie te verwerven uit gesproken taal. De leerling leert tevens die informatie mondeling of schriftelijk gestructureerd weer te geven.

Kerdoel 2

De leerlingen leren zich naar vorm en inhoud uit te drukken bij het geven en vragen van informatie, het uitbrengen van verslag, het geven van uitleg, het instrueren en bij het discussiëren.

Kerdoel 4

De leerlingen leren informatie te achterhalen uit informatieve en instructieve teksten, waaronder schema's, tabellen en digitale bronnen.

Kerdoel 24

De leerlingen leren praktische en formele rekenkundige problemen op te lossen en redeneringen helder weer te geven.

Kerdoel 25

De leerlingen leren aanpakken te onderbouwen bij het oplossen van rekenkundige problemen en leren oplossingen te beoordelen.

Kerdoel 26

De leerlingen leren structuur en samenhang te doorzien van aantallen, gehele getallen, kommagetallen, breuken, procenten en verhoudingen op hoofdlijnen en er in praktische situaties mee te rekenen.

Kerdoel 31

De leerlingen leren de rekenmachine met inzicht te gebruiken.

Kerdoel 33

De leerlingen leren meten en rekenen met eenheden en maten, zoals bij tijd, geld, lengte, omtrek, oppervlakte, inhoud, gewicht, snelheid en temperatuur.

Kerdoel 42

De leerlingen leren onderzoek te doen aan materialen en natuurkundige verschijnselen, zoals licht, geluid, elektriciteit, kracht, magnetisme en temperatuur.

Kerdoel 44

De leerlingen leren bij producten uit hun eigen omgeving relaties te leggen tussen de werking, de vorm en het materiaalgebruik.

Kerdoel 45

De leerlingen leren oplossingen voor technische problemen te ontwerpen, deze uit te voeren en te evalueren.

Kerdoel 55

De leerlingen leren op eigen werk en dat van anderen te reflecteren.



Les 1: Ik zie, ik zie wat jij niet ziet!

Korte beschrijving

Bedenken, kiezen en tekenen van apparaten die werken met radiogolven.

Sleutelwoorden

- Radiotelescoop
- Apparaten

Materialen

- (Kleur)potloden

Leerdoel

Kennis maken met apparaten die werken met radiogolven.

Achtergrond

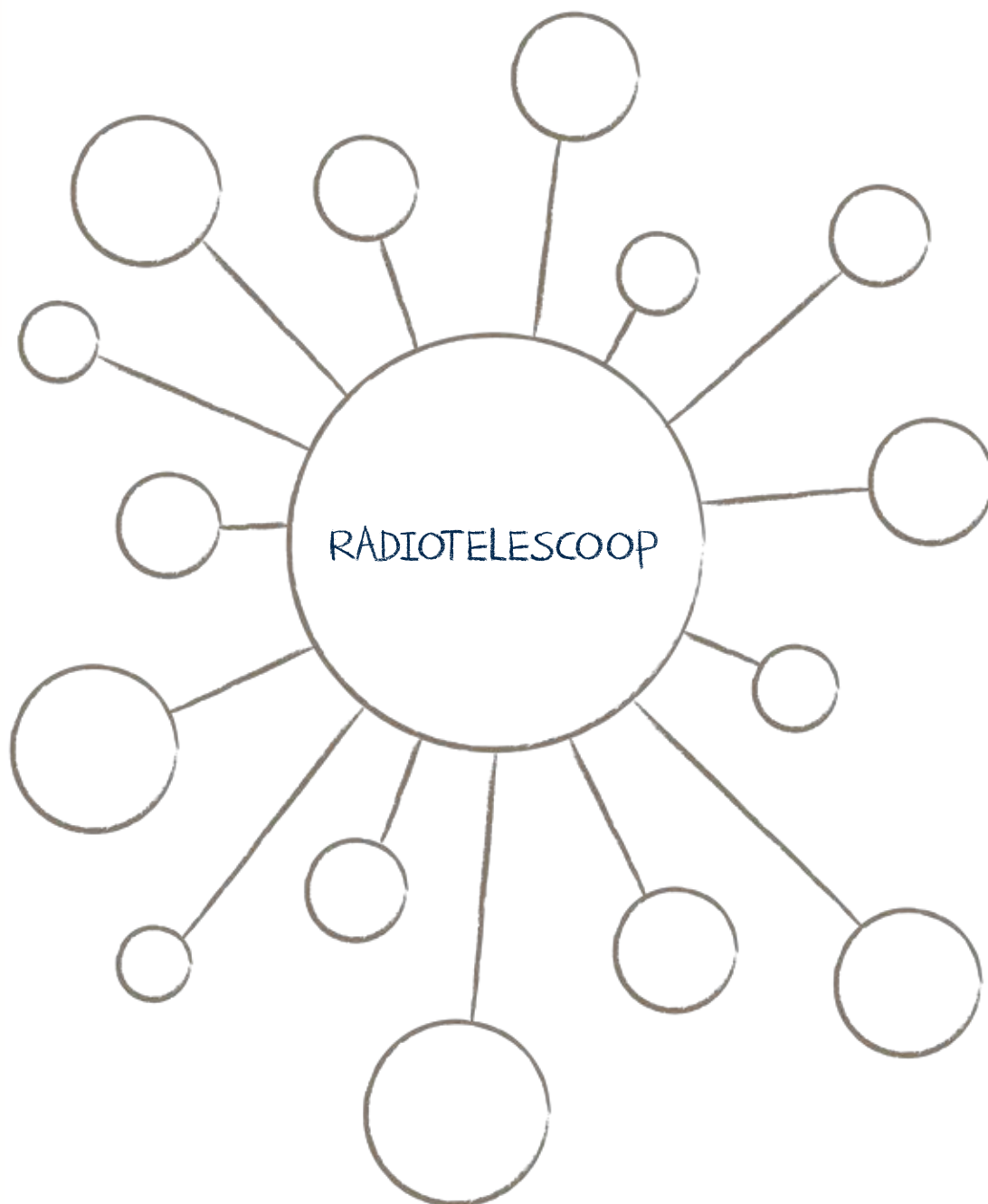
Mensen kunnen met elkaar communiceren door middel van licht. Voorbeelden daarvan zijn gebarentaal of morsecode. Met behulp van apparaten zijn we in staat om ook informatie te versturen via andere soorten elektromagnetische straling (zie 'algemene achtergrond'). Onze ogen zijn weliswaar niet gemaakt om radiostralen te zien, maar een radio kan deze wel waarnemen. Een radiotelescoop is niet veel anders dan een draagbare radio. Hij is alleen veel gevoeliger zodat hij veel zwakkere signalen kan opvangen. Waarom hij daartoe in staat is, wordt duidelijk in les 2. Ook oude draagbare televisies, walkie-talkies, boordradio's en navigatiesystemen ontvangen radiostraling.





Beschrijving

- Laat de kinderen de puntjes verbinden in de eerste opdracht van het werkblad.
- Vraag ze of ze herkennen wat ze hebben getekend.
- Leg uit dat dit een radiotelescoop is en schrijf dit woord op het bord.
- Vraag waar de kinderen aan denken als ze dit woord zien, en schrijf hun gedachten op rond het opgeschreven woord, zodat een zogenoemde 'mind map' ontstaat.
- Laat ze vervolgens opdracht 2 en 3 maken van het werkblad.



Aansluiting bij het curriculum: kerndoelen 1 en 55

Verwante activiteiten: les 2, les 11

Opdracht 1

Verbind de punten met elkaar, maar doe dat wel in de goede volgorde! Als je het goed hebt gedaan, komt er een mooi plaatje uit. Weet jij wat het is?

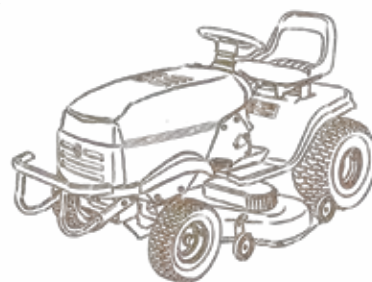
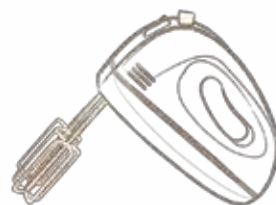


Het is een

Opdracht 2

Welke van de volgende apparaten werken niet met radiogolven?
vul in de tabel je antwoord in:

Werken zonder radiogolven	Werken met radiogolven



Opdracht 3

Probeer nog 3 voorwerpen te bedenken die werken met radiogolven.

1.

2.

3.



Les 2: Heb je dat gehoord?

Korte Beschrijving

Versterken van stemgeluiden door in een toeter te praten en de handen achter de oren te leggen. Een schotelantenne gebruikt hetzelfde principe.

Sleutelwoorden

- Radiotelescoop
- Schotel

Materialen

- Papier

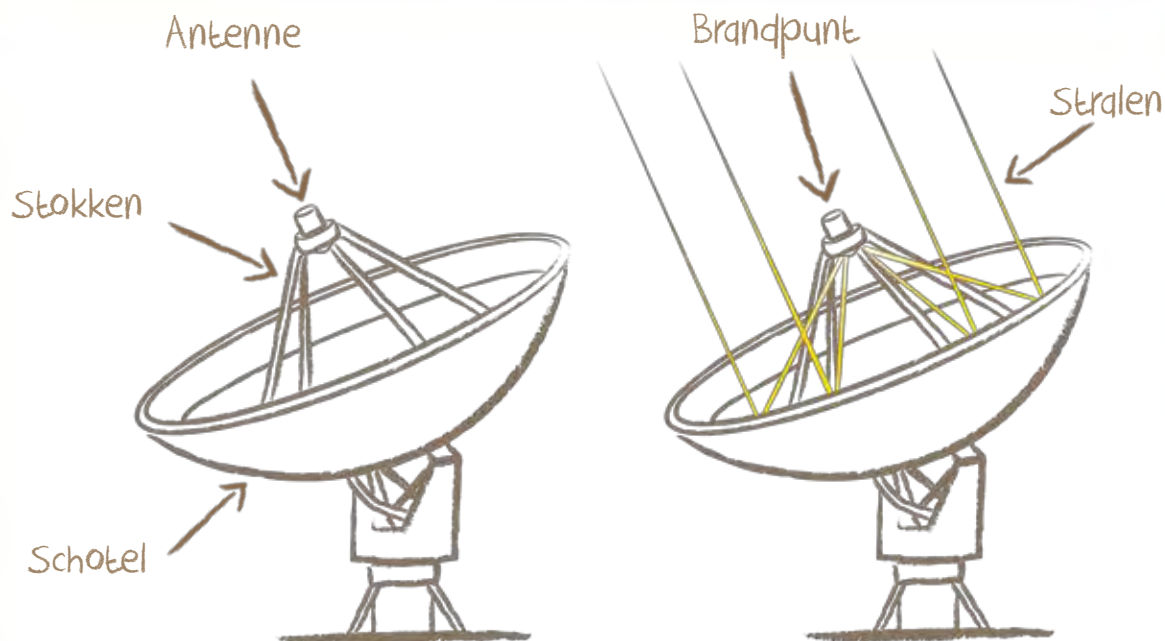
Leerdoel

Leren waar de schotel van een radiotelescoop voor dient.

Achtergrond

Zoals vermeld in les 1, is een radiotelescoop eigenlijk een hele grote radio-ontvanger. Door de grote afmeting van zijn schotel kan hij ook erg zwakke radiostraling detecteren. De schotel weerkaatst radiostralen naar de antenne (zie illustratie). Je kunt deze weerkaatsing vergelijken met een gewone spiegel die zichtbaar licht weerkaatst. In optische telescopen, die zichtbaar licht detecteren, zit inderdaad ook vaak een spiegel die dienst doet als schotel. De schotel is precies zo gevormd dat alleen de stralen die uit één specifieke richting komen naar de antenne worden gekaatst. Op deze manier *zoomen* astronomen in op een hemellichaam dat ze willen bestuderen. En daar vangen ze dan veel meer straling van op dan als ze een losse antenne omhoog zouden houden, zodat ze zelfs een zwak stralend ruimteobject kunnen zien. Eigenlijk zijn onze oren ook een soort schotels, die geluidsgolven opvangen en weerkaatsen naar ons trommelvlies, die je in deze analogie kunt beschouwen als antenne. Als we onze handen achter onze oren plaatsen, vergroten we de 'schotel' en horen we beter.





Beschrijving

- Vraag de leerlingen hoe je zachte geluiden kunt maken. Dit kan bijvoorbeeld door te fluisteren.
- Vraag ze vervolgens hoe je een hard geluid produceert. Een voorbeeld is natuurlijk dat je heel hard kunt schreeuwen, maar kunnen ze nog een andere manier bedenken? Laat ze even nadenken, en als ze echt geen ander idee hebben, geef ze dan een hint door afbeelding 1 van de bijlage te laten zien.
- Vraag de leerlingen wat ze zien. Leg uit dat je met een toeter het geluid een specifieke richting op kunt sturen, zodat de persoon die je roept jou hoort.
- Vertel nu dat we vroeger nog geen mp3-spelers en stereo-installaties hadden, maar grammofoons. Laat ze afbeelding 2 van de bijlage zien, zodat ze zich kunnen voorstellen hoe een grammofoon eruit ziet. Laat de leerlingen beschrijven wat ze zien. Vertel ze dat ook hier de toeter bedoeld is om het geluid te versterken.
- Laat de leerlingen opdracht 1 van het werkblad maken.
- Bespreek de opgave met de leerlingen individueel of klassikaal. Vertel ze dat hoe groter de toeter is, des te harder het geluid!
- Leg uit dat onze oren eigenlijk een omgekeerde toeter zijn. Laat de leerlingen opdracht 2 van het werkblad uitvoeren.
- Bespreek de opdracht klassikaal. Vertel dat dit experiment laat zien dat je het geluid beter hoort als je je handen achter je oren zet.
- Vertel hoe een radiotelescoop eruit ziet aan de hand van afbeelding 3 uit de bijlage. Leg uit dat de vorm van de schotel van de radiotelescoop vergelijkbaar is met onze oren. Laat de leerlingen opdracht 3 van het werkblad maken.
- Bespreek de opdracht. De vorm van de radiotelescoop zorgt ervoor dat alle signalen vanuit één richting precies naar de antenne worden weerkaatst. Leg het antwoord op de tweede vraag uit door te verwijzen naar het experiment waarbij de leerlingen hun handen achter hun oren klemde, waardoor ze beter hoorden. Radiotelescopen werken volgens hetzelfde principe. Hoe groter de schotel, des te meer radiogolven hij weerkaatst.

Aansluiting bij het curriculum: kerndoelen 1, 42 en 44

Verwante activiteiten: les 1, les 4, les 10

Opdracht 1

Jullie gaan in tweetallen een experiment uitvoeren. Je pakt een papier en rolt deze in de vorm van een toeter. Vorm een tweetal en zeg door de toeter iets tegen je klasgenoot op 2 meter afstand.

Doe de proef nog eens, maar laat nu de toeter weg.

Wat valt je op?

.....

.....

.....

Opdracht 2

Jullie gaan nog een experiment uitvoeren. Ga weer in tweetallen op 2 meter afstand tegenover elkaar zitten. Eén van jullie gaat de tekst hieronder voorlezen.

De ander gaat luisteren.

Je kunt geluiden hard of zacht horen,
soms versta je mensen slecht,
en soms versta je ze goed.

Als je klaar bent, draaien jullie de rollen om!

Nu gaan we het experiment nog een keer doen. Eén van jullie gaat de tekst voorlezen. De ander luistert, maar nu met de handen achter de oren. Let erop dat je de tekst even hard opleest als zojuist.

Draai ook weer de rollen om!

Schrijf hier welk verschil je hoort met de vorige oefening:

.....

.....

.....



Opdracht 3

Uit het heelal komen radiogolven. Deze radiogolven proberen we op aarde op te vangen met radiotelescopen. Deze hebben een speciale vorm.

Waarom hebben radiotelescopen deze vorm?

.....

.....

.....

Denk je dat het uitmaakt hoe groot de schotel is van een radiotelescoop?

Ja / Nee, want

.....





Les 3: Waarom zie je geen flits bij de dokter?

Korte Beschrijving

Uitleggen wat 'onzichtbaar' licht is aan de hand van röntgenfoto's.

Sleutelwoorden

- Röntgenstraling
- Röntgenfoto
- Flitser

Materialen

- Fototoestel met flitser

Leerdoel

Bekend raken met onzichtbaar licht aan de hand van het voorbeeld van röntgenstraling.

Achtergrond

Röntgenstraling is een van de soorten elektromagnetische straling die mensen niet kunnen zien. Het zit in de categorieën met kortere golflengtes en daarmee gepaard gaande hoge energieën. Röntgenstraling kan daarom schade aanrichten in het menselijk lichaam. Een dokter maakt alleen een röntgenfoto als het echt nodig is, want je mag niet te vaak worden blootgesteld aan röntgenstraling.

Een röntgencamera werkt eigenlijk volgens hetzelfde principe als een normaal fototoestel dat met een flitser een foto maakt in het donker. De röntgencamera zendt een flits röntgenstralen uit, die door de huid heen vliegen en uiteindelijk weerkaatsen op het (gebroken) bot, waarna de camera de stralen detecteert. De dokter gebruikt zo'n speciale camera omdat de röntgenstralen, in tegenstelling tot zichtbaar licht, door de huid heen gaan. Daardoor kan hij binnenin de arm kijken of het bot gebroken is. De straling gaat immers niet door het bot heen.



Beschrijving



- Vraag de kinderen wie al eens iets heeft gebroken. Een arm misschien, of iets anders?
- Vraag hem/haar of de dokter toen een speciale foto heeft genomen. Leg uit dat dit een röntgenfoto was, zoals de leerlingen onderaan opdracht 1 kunnen zien op de foto.
- Neem een foto van de kinderen, en zorg dat de flitser afgaat. Doe dit in een verdonkerd klaslokaal, bijvoorbeeld met gesloten gordijnen. Op die manier is de flits goed zichtbaar.
- Leg nu uit dat de fotocamera in staat was om de kinderen op de foto te zetten omdat de kinderen de flits weerkaatsten. Zelf zenden de kinderen namelijk geen licht uit, zoals bijvoorbeeld een lamp dat wel doet. Als er geen licht op ze valt, zijn ze te donker om te zien of te fotograferen. 's Nachts kun je elkaar ook moeilijk zien, omdat er geen zonlicht is.
- Leg uit dat een dokter eigenlijk ook een fotograaf is als hij een röntgenfoto maakt van een gebroken arm, maar dan met een onzichtbare flits! Laat de kinderen nu het werkblad van opdracht 1 invullen en bespreek de oefening klassikaal.
- Laat de kinderen afbeelding 4 zien van de bijlage. Leg aan de hand hiervan uit dat er nog meer soorten onzichtbaar licht zijn (zie 'algemene achtergrond').

Tip: Vertel de kinderen dat ze zelf onzichtbaar licht uitzenden. Ook in het donker! Dit is infraroodstraling, ofwel warmtestraling. Net zoals de Zon licht uitstraalt omdat hij heel heet is, doen mensen dat ook – door hun lichaamswarmte. En omdat ze een andere temperatuur hebben – mensen zijn veel kouder dan de Zon – zenden ze andere straling uit. Met een infraroodcamera kun je mensen in het donker zien!

Aansluiting bij het curriculum: kerndoelen 1 en 42

Opdracht 1

Beantwoord de volgende vragen:

1. Als je iets hebt gebroken, wordt er in het ziekenhuis een foto gemaakt. Is er bij jou wel eens zo'n foto gemaakt?

.....

2. Hoe zag die foto eruit?

.....

.....

Deze foto's noemen we röntgenfoto's.

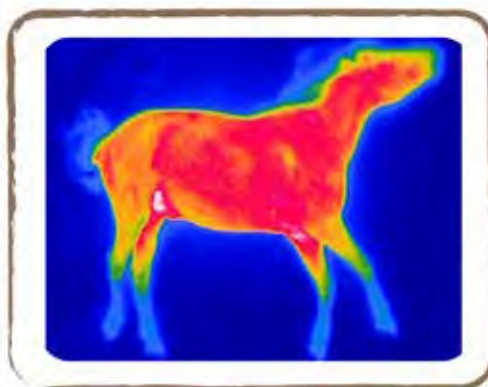
3. Wat is het verschil tussen een röntgenfoto en een normale foto?

.....

.....



4. Omcirkel de figuren waarvan jij denkt dat het een röntgenfoto is.





Les 4: Bouw je eigen papieren radiotelescoop!

Korte beschrijving

Een radiotelescoop en een touwtjestelefoon in elkaar knutselen.

Sleutelwoorden

- Radiotelescoop
- Touwtjestelefoon
- Geluid

Materialen

- Lijm
- Scharen
- 26 wc-rollen
- 26 plastic bekertjes
- 13 stukken touw (ca. 4 m)
- 26 paperclips
- potloden
- papier
- geluidsbox

Leerdoel

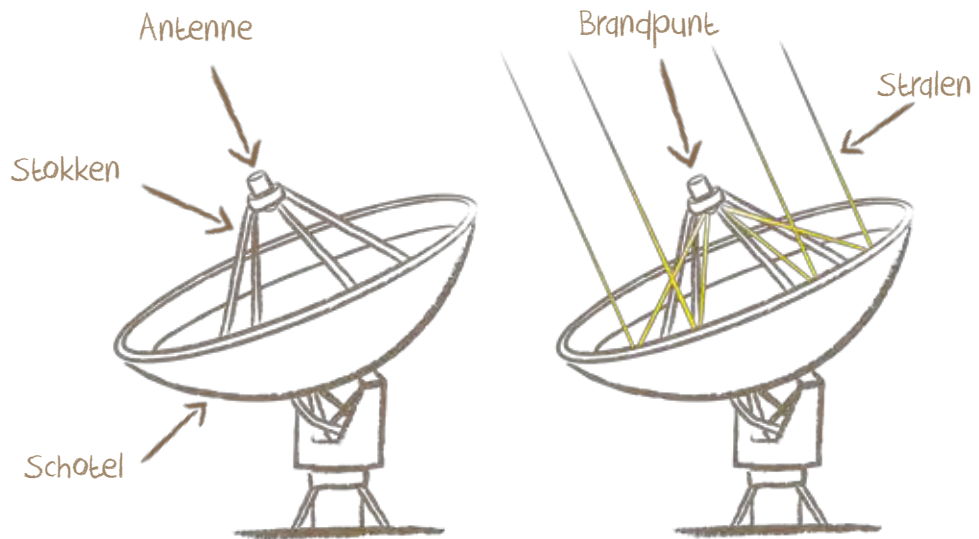
Kennismaken met de vorm van een radiotelescoop, en leren dat behalve lucht ook andere stoffen geluid kunnen voortdragen.

Achtergrond

Een radiotelescoop is eigenlijk een hele grote radio. Door de grote afmeting van zijn schotel kan hij ook erg zwakke radiostraling detecteren. De schotel weerkaatst radiostralen naar de antenne (zie illustratie). Je kunt deze weerkaatsing vergelijken met een gewone spiegel die zichtbaar licht weerkaatst. In telescopen die zichtbaar licht detecteren zit inderdaad ook vaak een spiegel die dienst doet als schotel. De schotel is precies zo gevormd dat alleen de stralen die uit één specifieke richting komen naar de antenne worden geëxtraheerd. Op deze manier zoomen astronomen in op een hemellichaam dat ze willen bestuderen. En daar vangen ze dan veel meer straling van op dan als ze een losse antenne omhoog zouden houden, zodat ze zelfs een zwak stralend ruimteobject kunnen zien.



Een radiotelescoop kan alle kanten op draaien. Hierdoor kan hij vele objecten aan de hemel bestuderen. Dit is vergelijkbaar met je oren. Je hoort namelijk het beste als je hoofd in de richting staat van waar het geluid vandaan komt. Terwijl hemellichamen straling uitzenden omdat ze heet zijn, maken objecten op aarde geluid omdat ze heel snel trillen. Daardoor brengen ze de lucht ook aan het trillen, en die luchttrilling kunnen we dan als het ware 'voelen' met onze oren. Maar ook andere materialen kunnen geluiden 'dragen'; sommige dragen geluid zelfs sneller en beter dan lucht! Zo kunnen onderzeeërs op grote afstanden met elkaar communiceren via geluidjes. En ook een strak gespannen draad kan geluiden beter overbrengen dan lucht.



Beschrijving

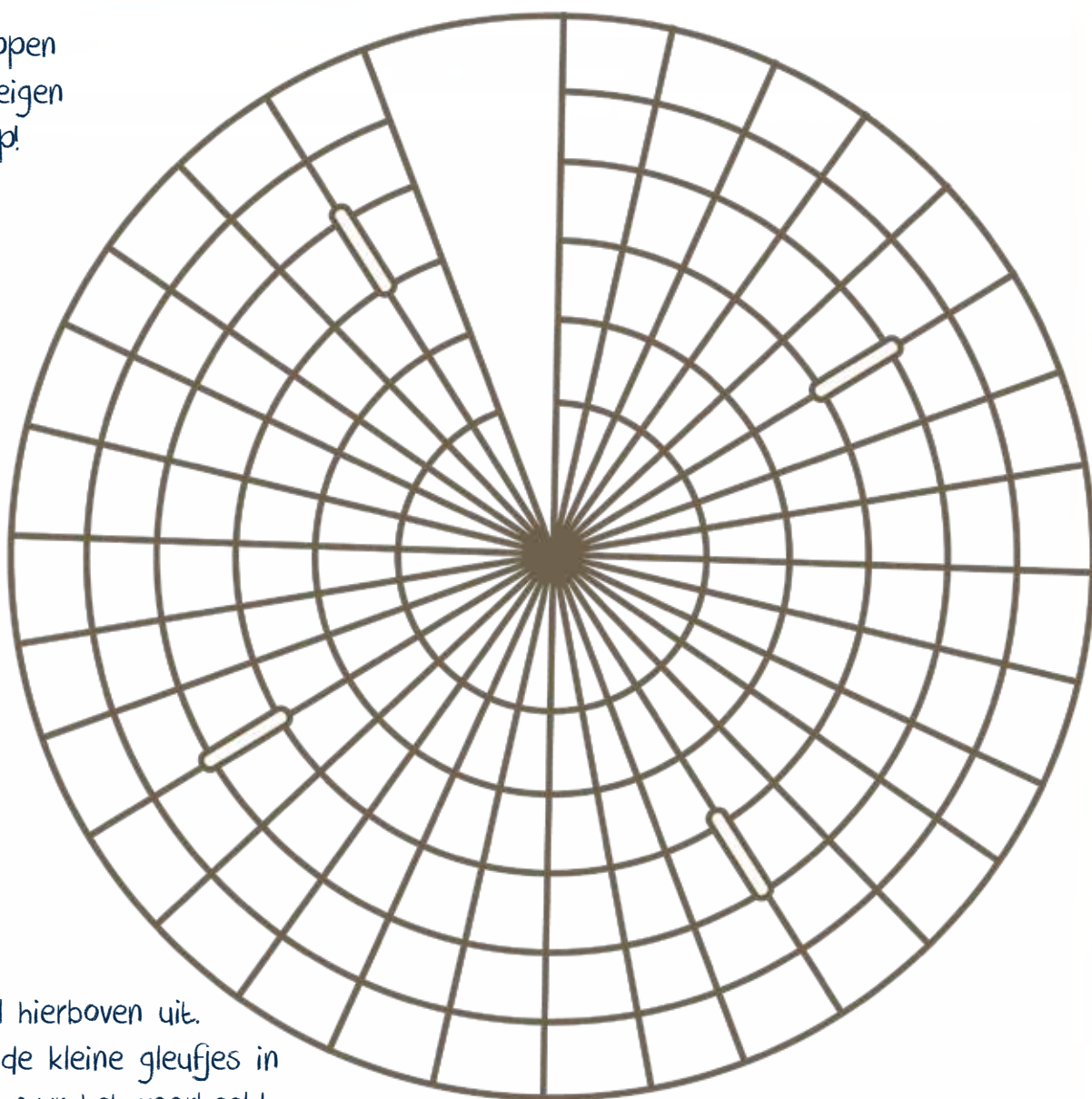
- Vraag de kinderen om opdracht 1 van het werkblad te maken.
- De kinderen die wat eerder klaar zijn, kunnen ondertussen op internet informatie opzoeken over de werking van een radiotelescoop.
- Als iedereen klaar is, vraag de leerlingen dan om te beschrijven wat ze hebben gemaakt. Help ze door te vragen waarom er een antenne uit de schotel steekt.
- Geluid is eigenlijk een trilling van de lucht. Demonstreer dit door een blaadje voor een geluidsbox te houden als deze aan staat. Zet het volume harder en vraag de leerlingen wat ze zien gebeuren. Net zoals het blaadje, trilt ook de lucht rondom de box, en die trilling beweegt naar onze oren toe, zodat we geluid horen.
- Laat de leerlingen nu opdracht 2 van het werkblad uitvoeren.
- Bespreek de opdracht klassikaal. Leg uit dat geluiden niet alleen door de lucht voortbewegen, maar ook door andere materialen, zoals water. Sommige van deze materialen dragen geluid zelfs beter dan lucht!

Aansluiting bij het curriculum: kerndoelen 1, 4, 42 en 44

Verwante activiteiten: Les 2, les 10

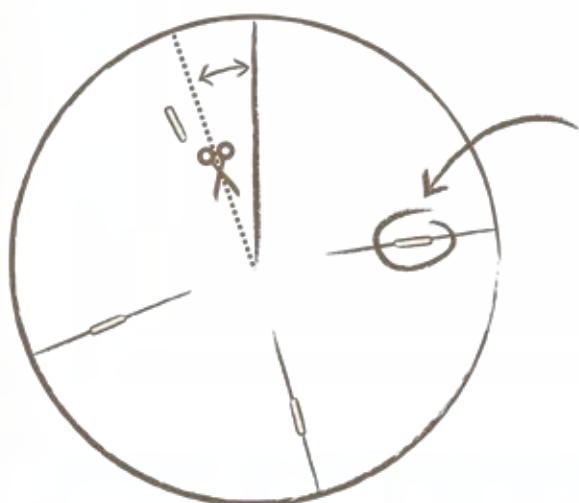
Opdracht 1

volg de stappen
en bouw je eigen
radiotelescoop!



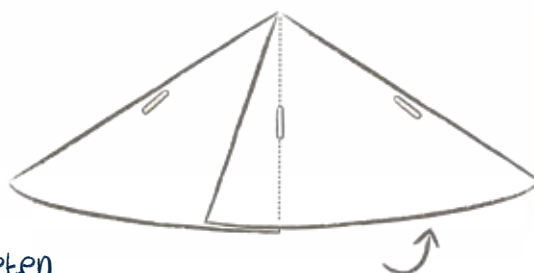
Stap 1

Knip de cirkel hierboven uit.
vergeet niet de kleine gleufjes in
de cirkel! Kijk naar het voorbeeld
hieronder.



Stap 2

Knip over de lijn waar een schaar bij staat.
Doe lijm op het witte vlak en vouw de kanten
op elkaar. Je krijgt een Chinees hoedje.



LET OP:

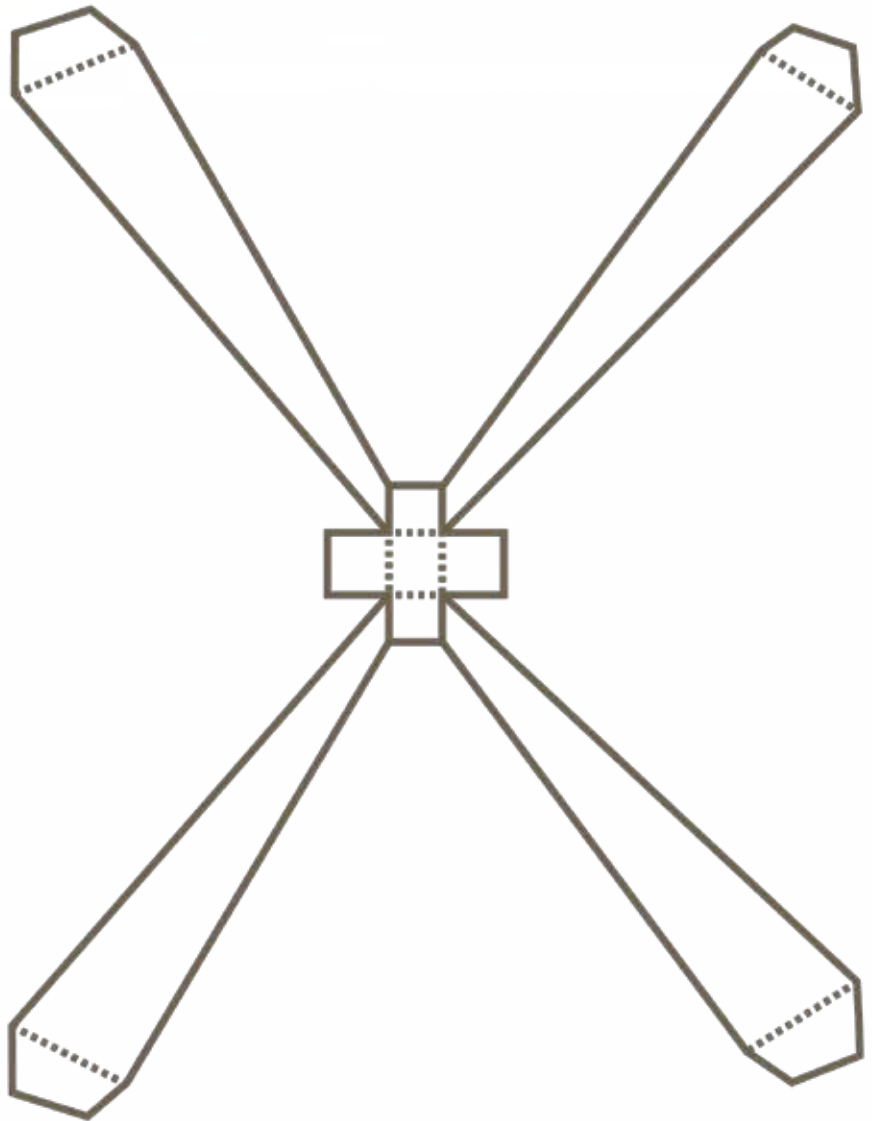
De lijnen moeten
aan de binnenkant van het hoedje zitten.

Stap 3

Nu ga je de antenne bouwen! Knip de figuur uit die hieronder staat.

Stap 4

De gestippelde lijnen zijn vouwlijnen. vouw alles naar achteren.



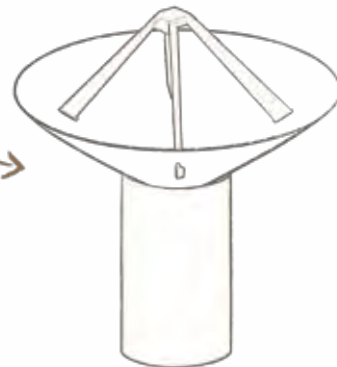
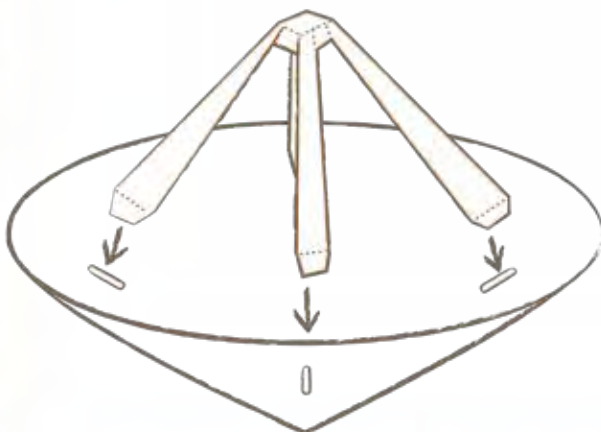
Stap 5

Doe lijm op het einde van de pootjes van de antenne.



Stap 6

Schuif de antennepootjes tussen de gleuven van de schotel en plak ze aan de andere kant van de schotel vast.



Stap 7

Lijm je schotel op een wc-rol en je hebt je eigen radiotelescoop gebouwd!

Opdracht 2

Jullie gaan in tweetallen een experiment uitvoeren: de sprekende draad! Dit heb je nodig:

- Een stuk draad/touw
- Twee plastic bekertjes
- Twee paperclips
- Een potlood met een scherpe punt

Zo doe je het:

- Prik in de bodem van beide bekertjes een klein gaatje.
- Trek de draad door de gaatjes; maak aan ieder eind een paperclip vast, zodat de draad er niet uitglijdt.

Wat denk je dat er zal gaan gebeuren?

.....

.....

Doe het maar: houd de draad strak en fluister met elkaar door de 'touwtestelefoon'; lukt het?

Hoe zou dat komen denk je?

.....

.....





Les 5: Maak je eigen radioafbeelding!

Korte beschrijving

Invulkleurplaat tekenen van een radioafbeelding, en de juiste radioafbeelding linken aan de juiste optische afbeelding.

Sleutelwoorden

- Radioafbeelding
- Radiotelescoop
- Kleurplaat

Materialen

- Kleurpotloden

Leerdoel

Bekend raken met radioafbeeldingen: ze zien er anders uit dan optische afbeeldingen.

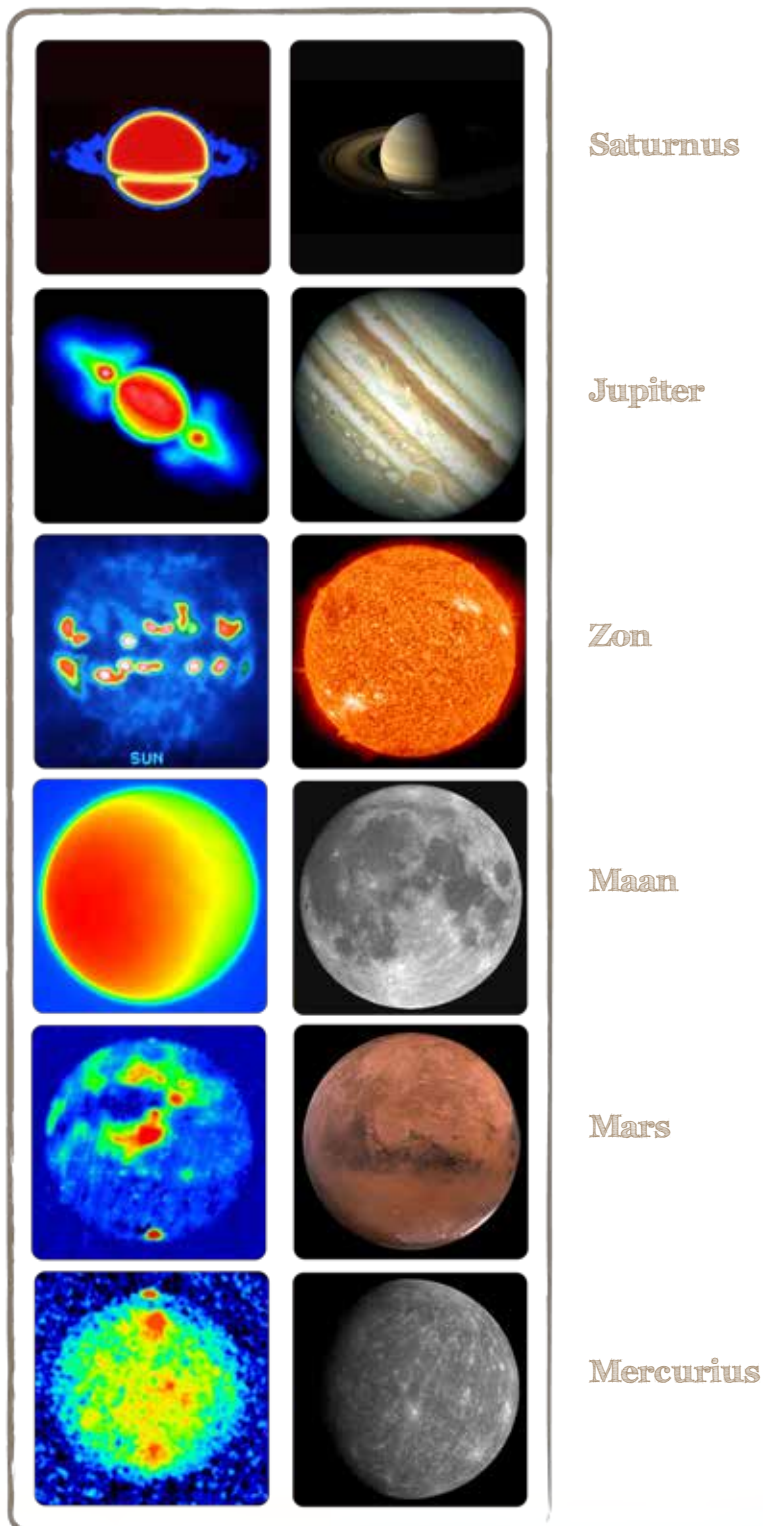
Achtergrond

Als we om ons heen kijken, nemen we de omgeving waar door middel van het zichtbare licht van de Zon. En als we 's nachts naar het heelal kijken, zien we het zichtbare licht van andere hemellichamen: de Maan, de sterren en de planeten. Wanneer sterrenkundigen met een radiotelescoop naar de hemel kijken, zien ze het universum op een heel andere manier dan als ze door een optische telescoop zouden kijken. In plaats van naar zichtbaar licht kijken ze naar radiostraling - een andere vorm van licht.

Eigenlijk kun je een foto die door een radiotelescoop is gemaakt niet afbeelden, omdat radiostraling onzichtbaar is. Daarom kleuren sterrenkundigen hun radiofoto's in met 'zichtbare' kleuren. Op deze manier maken ze eigenschappen van objecten zichtbaar die we anders niet konden zien. Hemellichamen zenden verschillende soorten elektromagnetische straling uit, en met elke soort sturen

ze weer andere informatie naar ons. In sommige gevallen is een ruimteobject helemaal niet te zien door middel van zichtbaar licht, bijvoorbeeld omdat hij zich bevindt achter een wolk van ruimtestof. Om zo'n object tóch te zien, moet je gebruik maken van straling die door die wolk heenuliegt. Bepaalde soorten straling doen dit!

In onderstaande afbeeldingen zie je verschillende ruimteobjecten die zijn gefotografeerd met zichtbaar en met onzichtbaar licht. Op elk soort foto zijn andere eigenschappen te zien. Op de Maan kun je in het zichtbare licht donkere ulekken zien, terwijl ze onzichtbaar zijn bij radiostraling. En via het onzichtbare licht blijkt ineens dat Jupiter een magnetisch veld heeft! Dat is op de rechterfoto niet te zien. De ringen van Saturnus zie je juist wel op beide foto's.





Beschrijving

- Vertel de leerlingen dat er zichtbaar en onzichtbaar licht bestaat (zie 'algemene achtergrond').
- Vertel de leerlingen waarom astronomen met een radiotelescoop naar de hemel kijken.
- Vraag ze om opdracht 1 van het werkblad te maken.
- Als de leerlingen klaar zijn, bespreek dan de opdracht klassikaal. Leg uit dat de leerlingen een radioafbeelding hebben getekend. Vertel dat radiotelescopen met 'andere ogen' naar het heelal kijken dan dat wij dat doen, en dat je hierdoor ook andere beelden krijgt.
- Laat foto 5 uit de bijlage zien en vertel dat dit zo'n radioafbeelding is.
- Vertel waarom astronomen foto's maken met een radiotelescoop in plaats van een optische telescoop.
- Laat de leerlingen nu opdracht 2 van het werkblad maken. Hierboven staan de juiste combinaties.
- Bespreek de opdracht klassikaal en laat de leerlingen hun bevindingen vertellen. Zien ze verschillen tussen de twee andersoortige foto's van hetzelfde object? En overeenkomsten?

Aansluiting bij het curriculum: kerndoelen 1, 42 en 55

Opdracht 1

Kleur de vakjes.

1 = paars

2 = lichtblauw

3 = donkerblauw

4 = groen

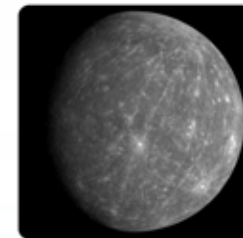
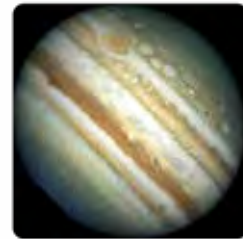
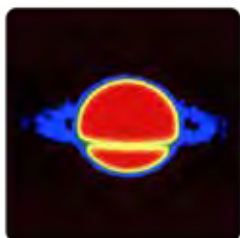
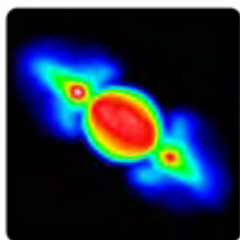
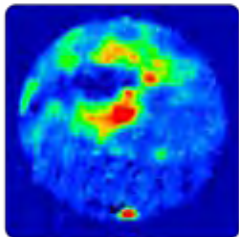
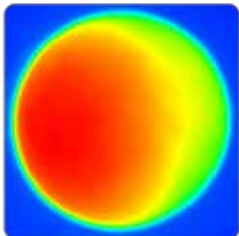
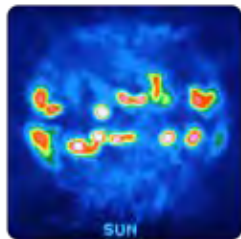
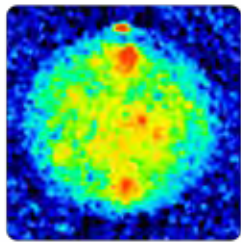
5 = geel

6 = rood

3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
3	3	3	3	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	3	3	3
3	3	3	1	1	2	2	4	4	4	4	4	4	2	2	1	1	3	3
3	3	1	1	2	2	4	4	4	1	4	1	4	4	2	2	1	1	3
3	1	1	2	2	4	4	4	1	4	5	4	1	4	4	2	2	1	1
3	1	2	4	4	4	4	4	4	5	5	5	4	4	4	4	4	2	1
3	2	2	4	4	4	4	5	5	6	6	5	5	4	4	4	4	4	2
3	2	2	4	4	1	4	5	6	6	6	6	5	5	4	1	4	4	2
3	2	2	4	1	4	5	6	6	6	6	6	6	5	5	4	1	4	2
3	2	2	4	4	5	5	6	6	6	6	6	6	5	5	5	4	4	2
3	2	2	4	1	4	5	5	6	6	6	6	6	5	5	4	1	4	2
3	2	2	4	4	1	4	5	6	6	6	6	5	5	4	1	4	4	2
3	2	2	4	4	4	4	5	5	6	6	6	5	4	4	4	4	4	2
3	1	2	4	4	4	4	4	5	5	5	5	4	4	4	4	4	2	2
3	1	2	2	4	4	4	1	4	5	5	5	4	4	4	4	2	2	1
3	3	2	2	2	4	4	4	1	4	4	4	1	4	4	2	2	1	1
3	3	1	2	2	2	4	4	4	4	4	1	4	4	2	2	1	1	3
3	3	3	1	2	2	2	4	4	4	4	4	2	2	2	1	1	3	3
3	3	3	3	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	3	3	3
3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

Opdracht 2

Hieronder zie je verschillende afbeeldingen van de Zon, de Maan en enkele planeten. Links staan de foto's die zijn gemaakt met onzichtbaar licht en rechts staan de hemellichamen zoals wij ze kennen. Welke foto's horen bij elkaar? Trek de lijnen. Weet je ook hoe ze heten?





Les 6: Kijken met andere ogen!

Korte beschrijving

Een rood/blauwe bril in elkaar knutselen en er doorheen kijken.

Sleutelwoorden

- Bril
- Kleuren
- Rood
- Blauw

Materialen

- Zonnebril
- Lijm
- Scharen
- 7 vellen rood transparant kleurpapier
- 7 vellen blauw transparant kleurpapier

Leerdoel

Leren dat wat je ziet afhangt van door welke bril je kijkt.

Achtergrond

Als de zon schijnt, zetten we een zonnebril op om onze ogen te beschermen tegen het felle zonlicht. We zien alles dan veel donkerder dan we gewend zijn. Blijkbaar hangt het er maar net vanaf door welke bril je kijkt, hoe je de wereld om je heen ziet. Als je door een gekleurde bril kijkt, zie je alles weer op een andere manier. Wanneer astronomen met een radiotelescoop naar de ruimte kijken, zien ze de wereld door een 'radiobril'. Zo'n radiobril is een stuk moeilijker te maken dan een blauw/rode bril, zoals de kinderen in deze les zullen doen. Onze ogen zijn namelijk niet gevoelig voor radiostraling, dus we hebben een compleet apparaat nodig dat deze stralen wel kan waarnemen; een radiotelescoop.



Met een radiotelescoop zien astronomen andere eigenschappen van een ruimteobject dan wanneer ze alleen met een optische telescoop zouden kijken. Met andere soorten 'onzichtbare' straling kun je nóg weer andere dingen zien. In het dagelijkse leven maken we ook gebruik van onzichtbare straling om objecten op een andere manier te bekijken. Met behulp van röntgenstraling ziet de dokter bijvoorbeeld of we een arm hebben gebroken!



Beschrijving

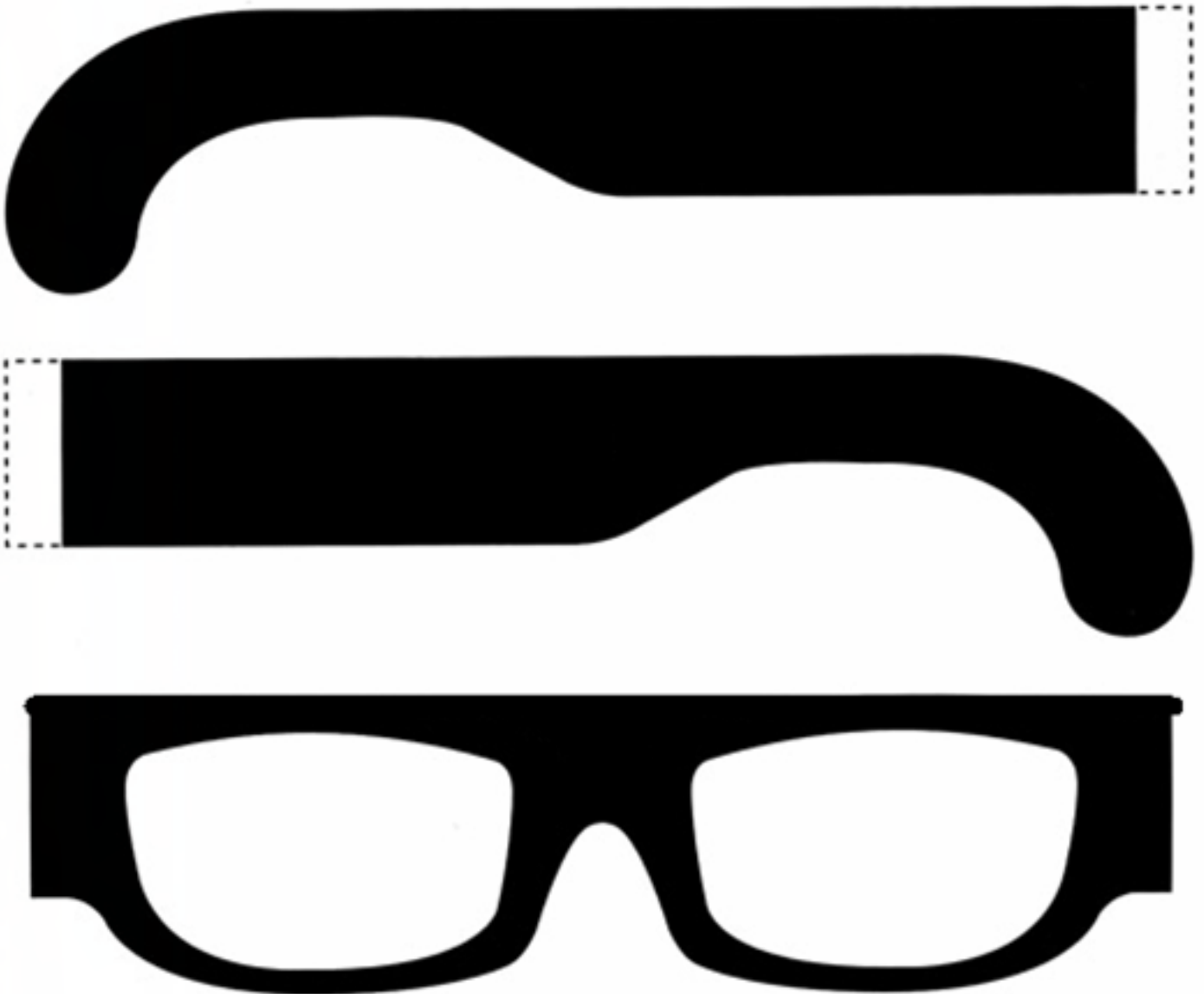
- Vraag de kinderen waarom we een zonnebril opzetten als de zon schijnt.
- Laat ze nu opdracht 1 van het werkblad maken en bespreek de opdracht. Benadruk dat het ervan afhangt door welke bril je kijkt hoe je de wereld om je heen ziet. Met een radiotelescoop zie je het heelal op een andere manier dan met een normale, optische telescoop.
- Vertel de leerlingen dat er zichtbaar en onzichtbaar licht bestaat (zie 'algemene achtergrond').
- Vraag ze vervolgens om opdracht 2 te maken. Leg daarbij uit dat de foto's op verschillende manieren te ordenen zijn. Je kunt om te beginnen alle soorten straling bij elkaar leggen, dus radio bij radio, infrarood bij infrarood, röntgen bij röntgen en zichtbaar bij zichtbaar. Daarnaast kun je dezelfde voorwerpen bij elkaar leggen.

Aansluiting bij het curriculum: kerndoelen 1, 2 en 42

Verwante activiteiten: les 7

Opdracht 1

Julie gaan een eigen bril maken! Knip de vormen uit en plak de randen van de 2 poten van de bril vast met lijm. Plak het rode papier links en het blauwe papier rechts.



Zet de bril op en sluit 1 oog. Wat zie je als je om je heen kijkt?

.....

.....

.....

Sluit nu het andere oog. Wat zie je als je om je heen kijkt?

.....

.....

Wat zie je als je met beide ogen om je heen kijkt?

.....

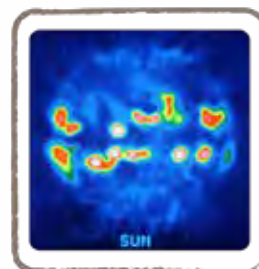
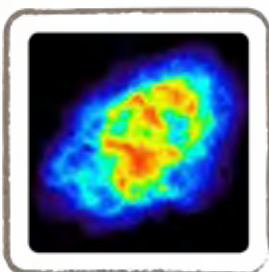
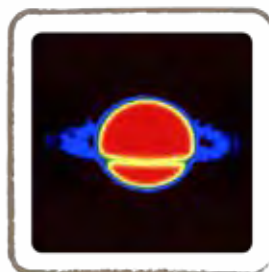
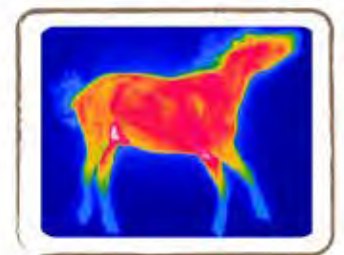
.....

Opdracht 2

Bekijk de afbeeldingen hieronder.

Ze zijn gemaakt met zichtbaar licht,
radio-, infrarood- en röntgenstraling.

Welke afbeeldingen horen bij elkaar?





Les 7: Kwartet!

Korte beschrijving

Kwartetten met de zes verschillende vormen van elektromagnetische straling.

Sleutelwoorden

- Kwartet
- Elektromagnetisch spectrum

Materialen

- Scharen
- Lijm
- Karton

Leerdoel

Leren welke andere vormen van elektromagnetische straling er bestaan, naast optische straling.

Achtergrond

Naast zichtbaar licht bestaan er nog andere soorten (onzichtbare) elektromagnetische straling, zoals staat beschreven in de 'algemene achtergrond'. Als je een foto neemt met een speciaal apparaat dat 'onzichtbare' straling kan waarnemen, moet de foto afgedrukt worden in zichtbare kleuren, zodat menselijke ogen het kunnen zien. Voor elk soort straling levert dit een typisch plaatje op.

In het kwartet spel uit deze les zitten een aantal typische radio-, röntgen- en infraroodfoto's. De radiofoto's zijn gemaakt van ruimteobjecten die radiostraling uitzenden. Je kunt ook infraroodplaatjes maken van hemellichamen, maar het is gemakkelijker om simpelweg mensen en dieren 'in het infrarood' te



fotograferen; wij zenden namelijk zelf infraroodstraling uit! Dit komt doordat ons lichaam warm genoeg is om uit zichzelf dit soort stralen uit te zenden. Infraroodplaatjes hebben vaak een rode gloed als we ze afbeelden in zichtbare kleuren. Met röntgenfoto's krijgen we te maken als we denken dat we iets hebben gebroken. Dan maakt de dokter een foto met behulp van röntgenstraling om door je huid heen te kijken en je botten te bestuderen. Zo'n foto wordt altijd afgebeeld in zwart-wit. Ook sommige ruimteobjecten zenden overigens röntgenstraling uit. Van microgolfstraling bestaat er slechts één typische foto; een opname van de kosmische achtergrondstraling die vanuit alle kanten van het universum continu op ons afkomt. Dit is een van de vier plaatjes in het kwartet 'microgolfstraling'. Ultravioletstraling wordt vaak uitgebeeld in een blauwe kleur. Zichtbaar licht heeft natuurlijk geen typische plaatjes; alle normale foto's zijn gemaakt met zichtbaar licht!



Beschrijving

- Laat de leerlingen foto 4 uit de bijlage (elektromagnetisch spectrum) zien en vraag wat ze erover weten.
- Leg ze uit dat wij slechts een klein deel van alle soorten licht kunnen zien en vertel over de andere soorten straling (zie 'algemene achtergrond').
- Laat nu de figuur van bijlage 5 zien. Vertel dat dit een typische radioafbeelding is. Astronomen hebben deze foto genomen met een radiotelescoop en ingekleurd met zichtbare kleuren. Het is slechts een voorbeeld van een foto die gemaakt is met onzichtbare straling en is omgezet naar een zichtbare foto. Er zijn ook typische röntgen- en infraroodfoto's.
- Laat de leerlingen opdracht 1 van het werkblad maken. Dit kwartet spel bevat zes soorten elektromagnetische straling: radiostraling, microgolfstraling, infraroodstraling, zichtbaar licht, Uv-straling en röntgenstraling.
- Als ze klaar zijn, kunnen ze een rondje kwartetten. Leg uit dat sommige plaatjes zijn gemaakt met de betreffende straling (bijvoorbeeld het radioplaatje van de planeet met ringen is gemaakt met radiostraling), terwijl andere plaatjes 'normale' foto's zijn van apparaten die werken met de betreffende straling (bijvoorbeeld de normale foto van de magnetron is gemaakt met zichtbaar licht, terwijl de magnetron zelf werkt met microgolfstraling).

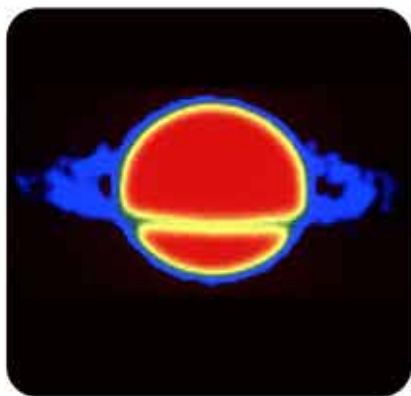
Aansluiting bij het curriculum: kerndoelen 1, 42 en 54

Verwante activiteiten: les 6

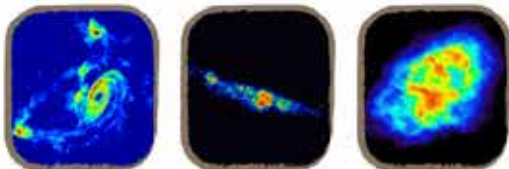
Opdracht 1

Jullie gaan je eigen kwartetspel maken. Knip de kaarten uit en plak ze op een stuk karton. Als jullie klaar zijn, kunnen jullie kwartet spelen!

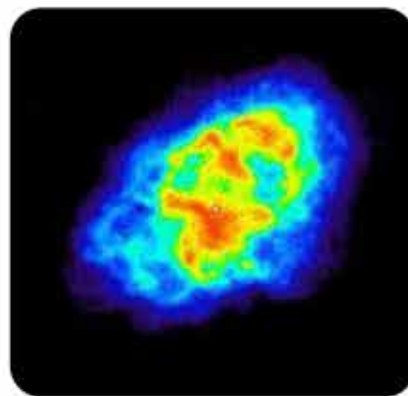
ELEKTROMAGNETISCH
SPECTRUM



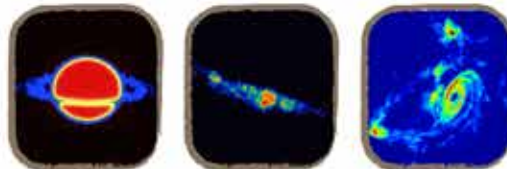
Radiostraling



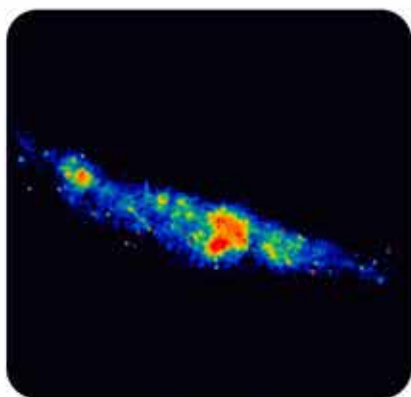
ELEKTROMAGNETISCH
SPECTRUM



Radiostraling



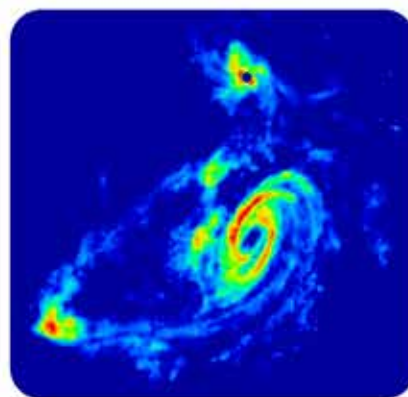
ELEKTROMAGNETISCH
SPECTRUM



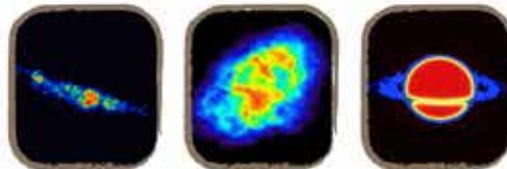
Radiostraling



ELEKTROMAGNETISCH
SPECTRUM



Radiostraling

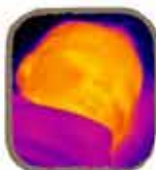


Opdracht 1

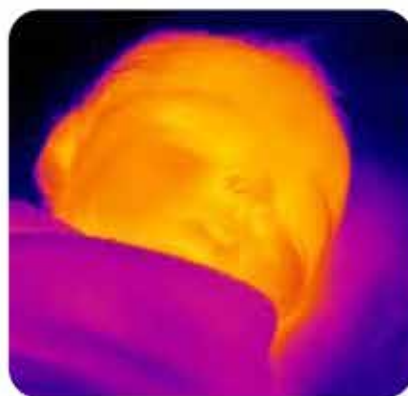
ELEKTROMAGNETISCH
SPECTRUM



Infrarood



ELEKTROMAGNETISCH
SPECTRUM



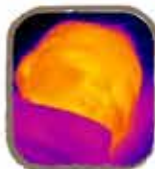
Infrarood



ELEKTROMAGNETISCH
SPECTRUM



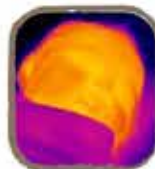
Infrarood



ELEKTROMAGNETISCH
SPECTRUM



Infrarood



Opdracht 1

ELEKTROMAGNETISCH
SPECTRUM



Röntgen



ELEKTROMAGNETISCH
SPECTRUM



Röntgen



ELEKTROMAGNETISCH
SPECTRUM



Röntgen



ELEKTROMAGNETISCH
SPECTRUM



Röntgen



Opdracht 1

ELEKTROMAGNETISCH
SPECTRUM



Zichtbaar



ELEKTROMAGNETISCH
SPECTRUM



Zichtbaar



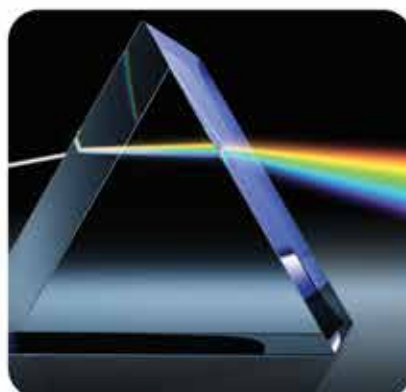
ELEKTROMAGNETISCH
SPECTRUM



Zichtbaar



ELEKTROMAGNETISCH
SPECTRUM

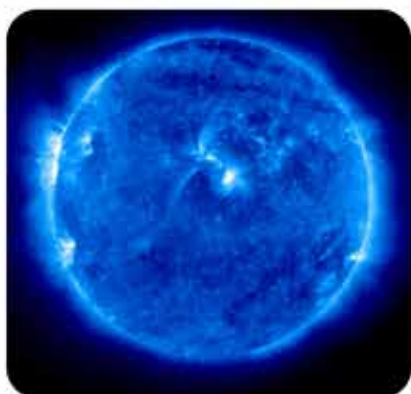


Zichtbaar



Opdracht 1

ELEKTROMAGNETISCH
SPECTRUM



UV-straling



ELEKTROMAGNETISCH
SPECTRUM



UV-straling



ELEKTROMAGNETISCH
SPECTRUM



UV-straling



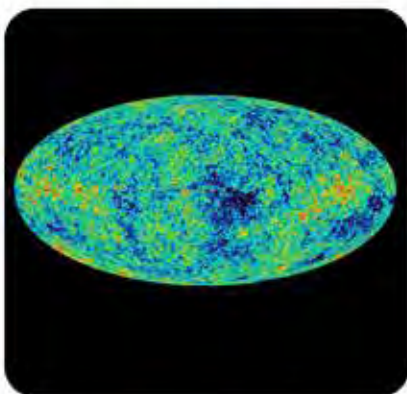
ELEKTROMAGNETISCH
SPECTRUM



UV-straling



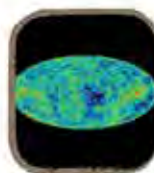
Opdracht 1

ELEKTROMAGNETISCH
SPECTRUM

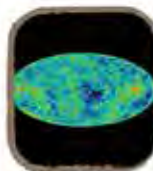
Microgolfstraling

ELEKTROMAGNETISCH
SPECTRUM

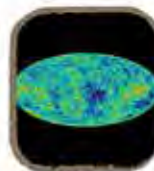
Microgolfstraling

ELEKTROMAGNETISCH
SPECTRUM

Microgolfstraling

ELEKTROMAGNETISCH
SPECTRUM

Microgolfstraling





Les 8: Golven!

Korte beschrijving

Getekende elektromagnetische golven opmeten en met behulp van de schaal de werkelijke lengte bepalen.

Sleutelwoorden

- Golven
- Golflengte

Materialen

- Bak met water
- Kleine steentjes
- Pennen
- Rekenmachines
- Papier
- Liniaal

Leerdoel

Leren hoe schalen werken; kennis maken met golflengtes; leren dat licht uit elektromagnetische golven bestaat; leren dat radiogolven een lange golflengte hebben.

Achtergrond

Zoals in de 'algemene achtergrond' is beschreven, is licht een vorm van elektromagnetische straling. Deze straling bestaat uit elektromagnetische golven, die een bepaalde golflengte hebben. Als je een golf uittekent (zie werkblad), kun je zijn golflengte bepalen door de afstand te meten tussen twee toppen van de golf. Ook andere vormen van elektromagnetische straling hebben een bepaalde golflengte. Het verschil in golflengte is hetgeen wat ze van elkaar onderscheidt. Radiostraling is eigenlijk gewoon licht, ware het niet dat de golflengte te groot is voor onze ogen. Dit kun je vergelijken met extreem lage tonen; hun (geluids)golflengte is te groot voor onze oren. In figuur 4 van de bijlage zie je een overzicht van alle soorten elektromagnetische straling met hun bijbehorende golflengte. Terwijl zichtbaar licht uit golven bestaat die kleiner



zijn dan een bacterie (minder dan een miljoenste meter), zijn radiogolven soms langer dan een mens (meer dan een meter)!

Beschrijving



- Vertel de leerlingen dat radiogolven (radiostraling) overal om ons heen zijn, maar dat ze niet zichtbaar zijn voor onze ogen. Radiostations zenden natuurlijk dit soort straling uit, maar er komen ook een heleboel radiostralen vanuit de ruimte op ons af. Leg uit dat radiogolven eigenlijk een andere vorm van licht zijn, alleen dan een vorm die mensen niet kunnen zien.
- Neem de leerlingen mee naar een meer of een vijver. Als het slecht weer is, of als er geen meer of vijver in de buurt is, zet dan een grote bak water in het klaslokaal en laat een leerling een klein steentje in het water gooien. Vertel de leerlingen dat ze goed moeten opletten wat er gebeurt. Laat ze nu opdracht 1 van het werkblad maken.
- Ga in op het feit dat licht bestaat uit elektromagnetische golven, die een bepaalde golflengte hebben, net als de andere vormen van elektromagnetische straling. Maak daarbij de analogie met de rimpels die een vallend steentje veroorzaakt in een vijver.
- Leg vervolgens uit wat een golflengte precies is. Teken op het bord een golf, zoals de golven op het werkblad. Vertel nu dat de afstand tussen twee toppen de golflengte wordt genoemd. Laat ze nu opdracht 2 van het werkblad maken.
- Vertel de leerlingen dat de golflengte van radiogolven heel lang kan zijn. Deze kan namelijk meer dan een meter zijn.
- Vraag of ze weten wat 'op schaal tekenen' betekent.
- Leg vervolgens uit dat wanneer je een schaal van 1:50 hebt, dat het betekent dat 1 cm op de tekeningen in werkelijkheid 50 cm is. Vraag ze hoe het zit als je een schaalverdeling hebt van 1:300.
- Noem eventueel nog een paar voorbeelden, en laat ze dan opdracht 3 van het werkblad maken.
- De opdracht kan klassikaal of individueel besproken worden. Laat de kinderen afbeelding 4 uit de bijlage zien, en bespreek per soort straling de bijhorende golflengte. Benadruk dat radiogolven erg lang zijn vergeleken bij zichtbaar licht!

Aansluiting bij het curriculum: kerndoelen 1, 24, 25, 26, 31, 33, 42 en 55

Opdracht 1

Schrijf op wat je gezien hebt. Je mag ook een tekening maken.

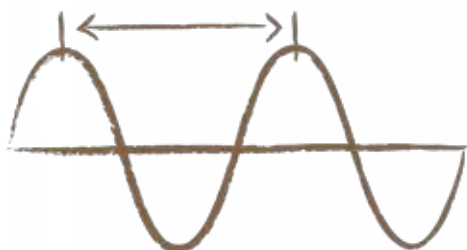
.....

.....

.....

Opdracht 2

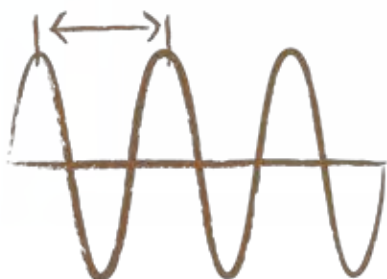
Je ziet hier een paar golven. Meet de lengte van de pijl op en je weet hoe lang de golflengte is. Vul je antwoord in op de stippellijn.



De golflengte is.....centimeter



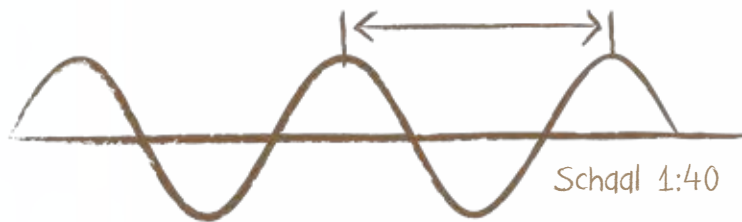
De golflengte is.....centimeter



De golflengte is.....centimeter

Opdracht 3

Je ziet hier een paar golven. Meet op hoe lang de pijl is maar vergeet niet dat de golven op schaal getekend zijn! De schaal staat onder de golf. Vul je antwoord in op de stippellijn.



- a) De golflengte is.....centimeter
- b) In werkelijkheid is de golflengte dan (antwoord bij a) $\times 40 =$centimeter



- a) De golflengte is.....centimeter
- b) In werkelijkheid is de golflengte dan (antwoord bij a) $\times 500 =$centimeter



- a) De golflengte is.....centimeter
- b) In werkelijkheid is de golflengte dan (antwoord bij a) $\times 2000 =$centimeter



Les 9: Bericht uit de ruimte!

Korte beschrijving

Coderen en decoderen van een buitenaardse boodschap door hokjes in te kleuren op basis van nullen en enen.

Sleutelwoorden

- Code
- Wiskunde
- Bericht
- Buitenaards
- Ontcijferen

Materialen

- Potloden
- Ruitjespapier

Leerdoel

Leren hoe een wiskundige code een afbeelding kan bevatten.

Achtergrond

Sinds mensenheugenis vragen we ons af of er leven mogelijk is op andere planeten. Tot nu toe is de Aarde de enige plek in het heelal waarvan we zeker weten dat er leven mogelijk is. Het heelal is echter zo overweldigend groot dat je zou verwachten dat zich ergens een vorm van buitenaards leven heeft ontwikkeld. Astronomen schatten dat er alleen al in ons sterrenstelsel – de Melkweg – 200 miljard sterren zijn. Om die sterren cirkelen waarschijnlijk miljarden planeten. In tegenstelling tot sterren zijn planeten moeilijk te zien omdat ze uit zichzelf geen straling uitzenden. Daarom hebben sterrenkundigen nog niet zoveel planeten ontdekt. Maar met steeds betere telescopen zijn ze in staat om in toenemende mate zogenoemde exoplaneten (planeten buiten ons Zonnestelsel) te vinden. Als een planeet voor zijn moederster langs beweegt,



blokkeert hij een klein beetje licht en verradt daarmee zijn aanwezigheid. Op dit moment ligt de teller net onder de tweeduizend ontdekte exoplaneten.

Met radiotelescopen kunnen we naar buitenaardse signalen speuren. Wij sturen als mensen continu onbedoeld radiostralen de ruimte in als we op afstand met elkaar communiceren. Misschien hebben buitenaardse wezens ook wel de radio of de mobiele telefoon uitgevonden! In dat geval zou er vanaf hun planeet ook kunstmatige straling afkomen. Met een radiotelescoop kunnen we die dan detecteren. Misschien proberen ze ons zelfs een boodschap te sturen!

Het is onwaarschijnlijk dat die boodschap dan in het Nederlands, Engels of welke aardse taal dan ook wordt gestuurd. Misschien zenden ze een bericht in hun eigen taal. Dat zou jammer zijn, want daar begrijpt niemand op Aarde iets van. Toch is het mogelijk dat we iets van hun boodschap zullen begrijpen. Aliens zouden namelijk iets kunnen zeggen in wiskundetaal. Dat wordt gezien als een universele taal. Het is niet iets dat door mensen is bedacht, maar is gebaseerd op feiten uit de natuur. Zo is bijvoorbeeld de waarde van het getal π (spreek uit: pie) universeel hetzelfde; het is de verhouding tussen de omtrek en diameter van een cirkel. Buitenaardse wezens zullen een ander woord hebben voor bijvoorbeeld een ster, maar ze gebruiken zeker dezelfde waarde voor de verhouding tussen zijn omtrek en zijn diameter. Deze is namelijk overal in het heelal hetzelfde: π , ofwel 3,14159265359.....

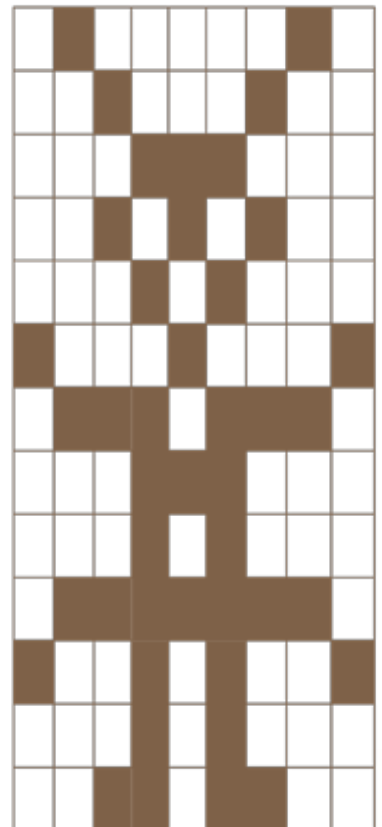
Andere bronnen: Het Amerikaanse SETI Project zoekt actief naar buitenaardse signalen: <http://www.seti.org/>

Beschrijving

- Vraag de leerlingen waar ze aan denken als ze aan het heelal denken. Vraag ze of ze denken dat er buitenaardse wezens in de ruimte leven. Hoe zouden die met elkaar communiceren?
- Vertel dat als er buitenaardse wezens zijn, ze waarschijnlijk een taal spreken die wij niet kennen! En dat het heel moeilijk wordt om ze te verstaan en te begrijpen! Maar misschien sturen ze wel een wiskundige code. Wiskunde is namelijk een universele taal, dus ook aliens hebben ermee te maken. Ook zo'n wiskundige code zal moeilijk te ontcijferen zijn, maar die puzzel kunnen we in theorie wel oplossen. De wiskunde van buitenaardse wezens moet immers hetzelfde zijn als die van ons!
- Laat de leerlingen nu opdracht 1 van het werkblad maken. Als ze de goede code invullen, krijgen ze de volgende afbeelding te zien:

Vertel de leerlingen dat zij nu zelf een bericht mogen maken! Laat ze opgave 2 van het werkblad maken.

Aansluiting bij het curriculum: kerndoelen 1, 7, 45 en 55



Opdracht 1

Je gaat een bericht ontcijferen! Teken op papier een rechthoek van 9 vakjes horizontaal en 13 vakjes verticaal.

Klaar? Begin dan linksboven in de rechthoek met de code. Maak voor elke 1 een vakje zwart en laat voor elke 0 een vakje open. Als je een / ziet, dan begin je op de volgende regel.

De code uit de ruimte:

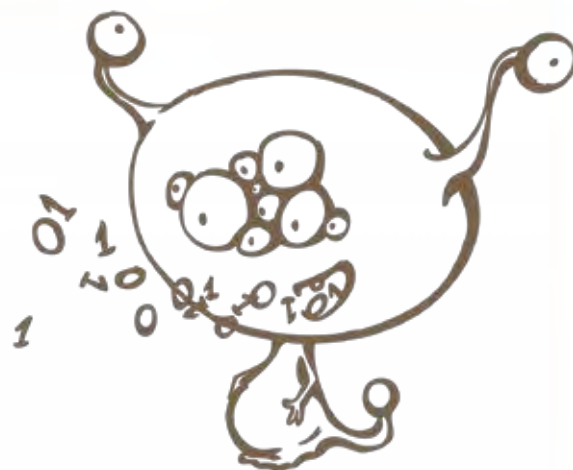
```
010000010/001000100/000111000/001010100/000101000/100010001/011101110/0001110
00/000101000/011111110/100101001/000101000/001101100
```

Als je de code goed ingevuld hebt, krijg je een plaatje. Wat zie je nu?

.....

.....

.....



Opdracht 2

Nu ga je zelf een bericht bedenken om de ruimte in te sturen! Pak nieuw papier en teken een rechthoek van 9 vakjes horizontaal en 13 vakjes verticaal en maak er een leuke tekening van door sommige vakjes zwart te kleuren. Als je klaar bent, pak je opnieuw een vel papier en teken je weer een rechthoek van 9 vakjes horizontaal en 13 vakjes verticaal. In elk vakje dat je zwart hebt ingekleurd in je tekening, schrijf je een 1. In elk vakje dat je niet hebt ingekleurd, schrijf je een 0.

Schrijf de code als 1 regel, zoals de code die je kreeg in opdracht 1. Geef je code aan iemand anders en kijk of hij/zij jouw bericht kan ontcijferen!



Les 10: Weerkaatsing!

Korte beschrijving

Spellen van het woord 'radiotelescoop' met een woordzoeker. Marshmallows opwarmen door een kom te verhitten met aluminiumfolie onder de zon.

Sleutelwoorden

- Weerkaatsing
- Brandpunt
- Radiotelescoop

Materialen

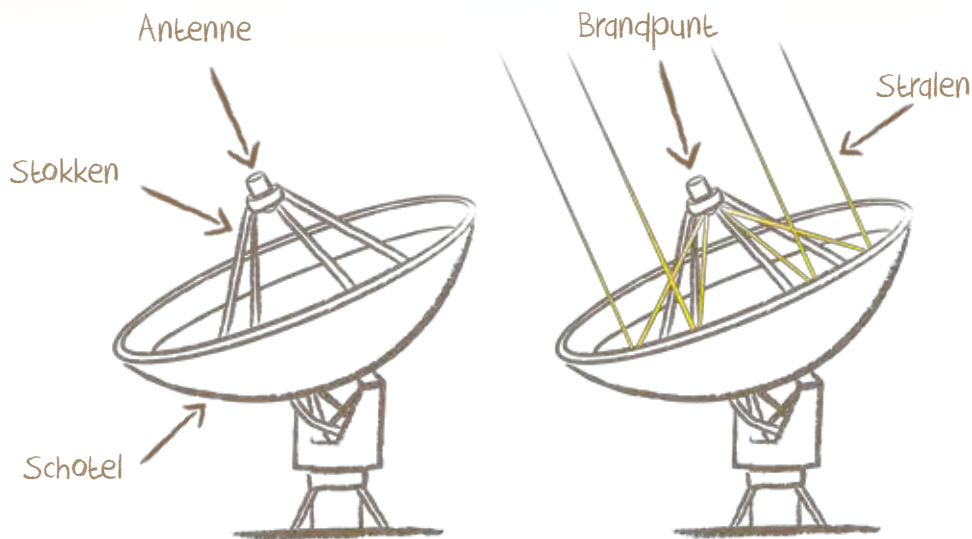
- 13 zakspiegels
- 13 stukjes karton
- 13 zaklampen
- 13 kommen
- 13 marshmallows
- 13 cocktailprikkers
- Aluminiumfolie

Leerdoel

Leren wat de functie is van de schotel in een radiotelescoop; leren dat elektromagnetische golven samenkomen in een brandpunt als ze juist worden weerkaatst.

Achtergrond

Een radiotelescoop is eigenlijk een hele grote radio. Door de grote afmeting van zijn schotel kan hij ook erg zwakke radiostraling detecteren. De schotel weerkaatst radiostralen naar de antenne (zie illustratie). Je kunt deze weerkaatsing vergelijken met een gewone spiegel die zichtbaar licht weerkaatst. In telescopen die zichtbaar licht detecteren zit inderdaad ook vaak een spiegel die dienst doet als schotel. De schotel is precies zo gevormd dat alleen de stralen die uit één specifieke richting komen naar de antenne worden geëkaatst, die precies in het zogenoemde brandpunt ligt. Op deze manier *zoomen* astronomen in op een hemellichaam dat ze willen bestuderen. En daar vangen ze dan veel meer straling van op dan als ze een losse antenne omhoog zouden houden, zodat ze zelfs een zwak stralend ruimteobject kunnen zien.



Beschrijving

- Laat de kinderen de woordzoeker invullen uit opdracht 1 van het werkblad. Als ze het antwoord niet kunnen vinden, vertel ze dan dat dit 'radiotelescoop' moet zijn.
- Vraag ze vervolgens om op te schrijven wat ze over een radiotelescoop weten. Bespreek de antwoorden klassikaal.
- Vraag de leerlingen wat er opvallend is aan een radiotelescoop. Laat eventueel afbeelding 3 uit de bijlage zien. Vertel dat een radiotelescoop bestaat uit een schotel waar een grote antenne uitsteekt die radiogolven uit het heelal opvangt.
- Leg uit dat radiogolven een andere vorm van licht zijn, en dat ze net als licht weerkaatsen op bepaalde materialen (zie 'algemene achtergrond').
- Demonstreer de reflectie van licht op een spiegel. Leg dan uit dat ook andere soorten straling, zoals radiogolven, reflecteren op bepaalde oppervlakken. Een voorbeeld daarvan is natuurlijk de schotel van een radiotelescoop!
- Vertel de leerlingen dat ze in tweetallen een experiment gaan doen, waarbij één leerling met een zaklamp op een spiegel schijnt, terwijl de andere leerling met een stukje karton probeert de reflectie op te vangen.
- Laat ze vervolgens opdracht 2 van het werkblad maken. Als de zon niet schijnt, kunnen ze de opdracht met de marshmallows ook onder een bureaulamp uitvoeren. Dit moet dan wel een ouderwetse gloeilamp zijn; spaarlampen geven niet genoeg warmte af.
- Bespreek opdracht 2 klassikaal en leg uit dat de marshmallow gaat smelten omdat het licht door het aluminiumfolie wordt weerkaatst. De marshmallow is precies in het midden van de kom, het zogenoemde brandpunt, waar alle stralen samenkomen. Je kunt dit experiment vergelijken met een radiotelescoop. De radiogolven worden weerkaatst op de schotel en komen allemaal samen in het brandpunt. Leg uit dat de antenne van een radiotelescoop altijd in het brandpunt zit omdat alle radiogolven naar dat punt worden weerkaatst.

Aansluiting bij het curriculum: kerndoelen 1, 42, 44, 45 en 55

Verwante activiteiten: les 2, les 4, les 12



Opdracht 1

Streek alle woorden weg die in de woordzoeker staan. De letters die overblijven, vormen een woord. Weet jij welk woord? Schrijf op wat jij over dit woord weet!

.....

.....

.....

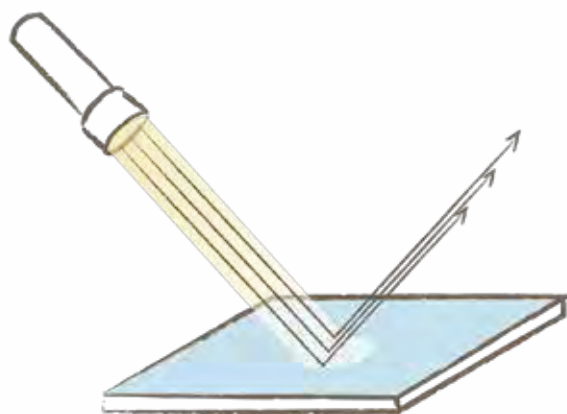
R	G	J	U	P	I	T	E	R	P
E	S	A	A	N	M	M	A	A	N
L	U	E	D	R	A	A	H	D	V
I	N	D	I	O	R	C	T	I	E
C	A	R	E	T	S	E	H	O	N
H	W	Z	E	N	D	E	N	T	U
T	E	L	E	S	C	O	O	P	S
L	E	T	E	C	H	N	I	E	K
S	E	V	S	T	R	A	L	E	N
W	E	R	E	L	D	C	O	O	P

aarde
dag
esa
jupiter
licht
maan
mars
nacht
radio
ster
stralen
techniek
telescoop
tv
unawe
venus
zenden
wereld
wetenschap

Opdracht 2

Jullie gaan in tweetallen een experiment doen! Leg de spiegel op de grond. Eén van jullie gaat met de zaklamp schuin op de spiegel schijnen. De ander probeert het licht dat teruggekaatst wordt door de spiegel op te vangen met het stuk karton.

Draai ook eens de rollen om!



Als jullie klaar zijn, gaan jullie een ander proefje doen. Pak een kom die bekleed is met aluminiumfolie. Zet deze kom in de zon of onder een hete gloeilamp. Prik de marshmallow aan het stokje. Houd dan de marshmallow in het midden van de kom. Na een tijdje gebeurt er iets met de marshmallow.

Schrijf op wat er gebeurt.

.....

.....

.....

.....

.....

.....



Les 11: Storing!

Korte beschrijving

Creëren van een verstoring in een geluidsbox met een mobiele telefoon.

Sleutelwoorden

- Apparaten
- Radio
- Afstandsbediening
- Mobiele telefoon

Materialen

- Draagbare radio
- Afstandsbediening
- Mobiele telefoon

Leerdoel

Bewust worden van alle apparaten die werken met radiogolven; leren dat dezelfde soort signalen uit de ruimte komen; leren waarom radiotelescopen op afgelegen plekken staan.

Achtergrond

Er zijn een heleboel apparaten die werken met radiostraling. Dit zijn bijvoorbeeld mobiele telefoons, walkie-talkies, boordradio's, draagbare televisies, etc. Er is dus overal om ons heen radiostraling, afkomstig van allerlei apparaten.

De radiogolven uit het heelal zijn veel zwakker dan de radiogolven om ons heen, omdat ze van een veel grotere afstand komen. Radiotelescopen staan altijd ver weg van grote steden, omdat anders de signalen uit de ruimte verstoord worden door alle menselijke apparaten. Dit komt doordat de apparaten met hetzelfde soort straling werken als de straling die uit het heelal komt; een radiotelescoop kan apparaten moeilijk onderscheiden van ruimteobjecten omdat ze dezelfde straling uitzenden.



- Vertel de leerlingen dat er zichtbaar en onzichtbaar licht bestaat (zie 'algemene achtergrond').
- Vraag ze of ze apparaten kunnen noemen die werken met radiostraling.
- Vertel dat astronomen radiogolven uit het heelal proberen op te vangen met radiotelescopen. Deze les laat zien dat dit hetzelfde soort straling is die sommige apparaten uitzenden.
- Demonstreer dat sommige apparaten werken met dezelfde straling als radio's, door te laten zien dat er interactie is tussen een apparaat en een geluidsbox in de vorm van een kleine storing. Doe dit door de radio aan te zetten en tegen de leerlingen te zeggen dat ze goed moeten luisteren wat er gebeurt als je op een knop van de afstandsbediening drukt. Omdat een afstandsbediening werkt met infraroodstraling, en dus niet met radiostraling, zul je geen verstoring horen.
- Laat de leerlingen opdracht 1 van het werkblad maken. Doe vervolgens hetzelfde, maar nu met een mobiele telefoon. Bel iemand op en zorg dat je het mobieltje dichtbij de radio houdt. Ditmaal zal een duidelijke verstoring merkbaar zijn.
- Vraag leerlingen hun bevindingen op te schrijven op het werkblad. Bespreek de antwoorden klassikaal. Blijkbaar werken sommige apparaten inderdaad met hetzelfde soort golven als een radio! Ze beïnvloeden ook een geluidsbox met hun elektromagnetische golven.

Aansluiting bij het curriculum: kerndoelen 1, 42, 44

Verwante activiteiten: les 1

Opdracht 1

Schrijf op wat je hebt gehoord toen de juf/meester op de knop van de afstandsbediening drukte.

.....

.....

.....

Schrijf op wat je hebt gehoord toen de juf/meester iemand belde.

.....

.....

.....

Waarom denk je dat de geluidsbox stoort?

.....

.....

.....

Leg uit waarom radiotelescopen vaak niet in de buurt van een stad of dorp staan.

.....

.....

.....



Les 12: Groot, groter, grootst!

Korte beschrijving

Linken van de juiste foto bij de juiste radiotelescoop.

Sleutelwoorden

- Groot
- Schotel
- Brandpunt

Materialen

- Draagbare radio

Leerdoel

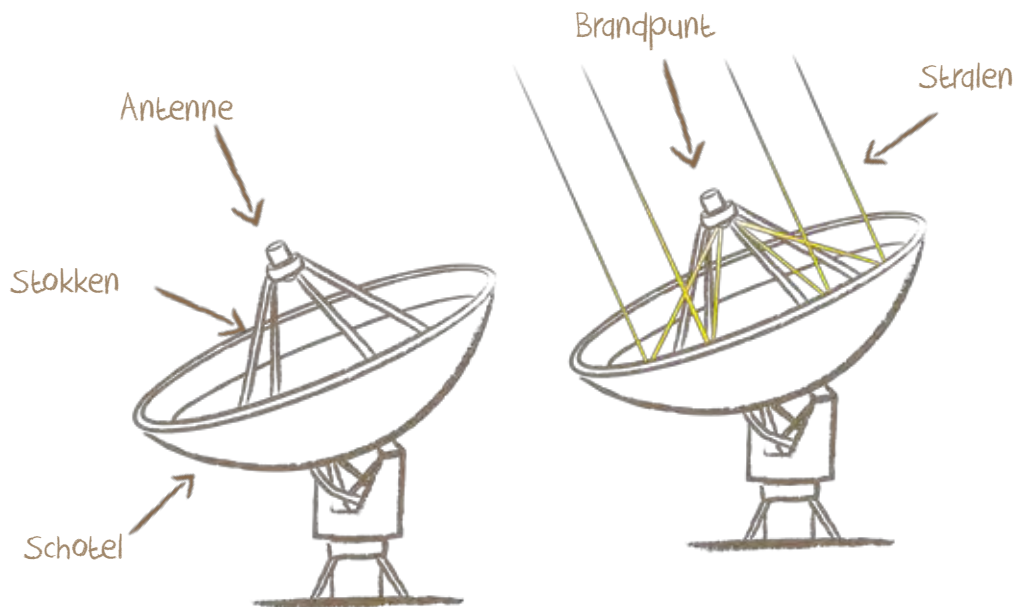
Leren dat een grotere schotel meer radiogolven kan opvangen, en dus een betere foto kan maken.

Achtergrond

Een radiotelescoop is eigenlijk een hele grote radio. Door de grote afmeting van zijn schotel kan hij ook erg zwakke radiostraling detecteren. De schotel weerkaatst radiostralen naar de antenne (zie illustratie). Je kunt deze weerkaatsing vergelijken met een gewone spiegel die zichtbaar licht weerkaatst. In telescopen die zichtbaar licht detecteren zit inderdaad ook vaak een spiegel die dienst doet als schotel. De schotel is precies zo gevormd dat alleen de stralen die uit één specifieke richting komen naar de antenne worden geëkaatst, die precies in het zogenoemde brandpunt ligt. Op deze manier *zoomen* astronomen in op een hemellichaam dat ze willen bestuderen. En daar vangen ze dan veel meer straling van op dan als ze een losse antenne omhoog zouden houden, zodat ze zelfs een zwak stralend ruimteobject kunnen zien.



Hoe groter de schotel, des te gevoeliger hij is voor straling van een ruimteobject. Dit komt doordat een schotel meer straling weerkaatst naar zijn antenne als hij een grotere oppervlakte heeft. Een grotere radiotelescoop zal dus zwakkere objecten kunnen zien. Dat wil overigens niet zeggen dat een foto meer pixels krijgt als hij wordt gemaakt met een grotere schotel. Laten we het voorbeeld nemen van de twee radiotelescopen van het werkblad; een schotel van 305 meter doorsnee en een van 25 meter doorsnee. Maar de laatste wordt gebruikt samen met andere schotels van dezelfde grootte. Als twee 25-meter schotels op een afstand van 305 meter worden geplaatst, maken ze samen foto's met hetzelfde aantal pixels als de 305-meter schotel. Dat wil zeggen: beide systemen kunnen hetzelfde object fotograferen met dezelfde precisie (bijvoorbeeld tot op een kilometer nauwkeurig). Deze eigenschap van radiotelescopen heet resolutie, en is anders dan gevoeligheid. De gevoeligheid hangt af van de totale oppervlakte terwijl de resolutie afhangt van de afstand tussen de uiteinden van de telescoop(reeks). De 305-meter schotel kan elk pixel wel met een hogere gevoeligheid waarnemen, maar twee kleine schotels op 1 km afstand van elkaar maken foto's met meer pixels, dus met hogere resolutie.



Beschrijving

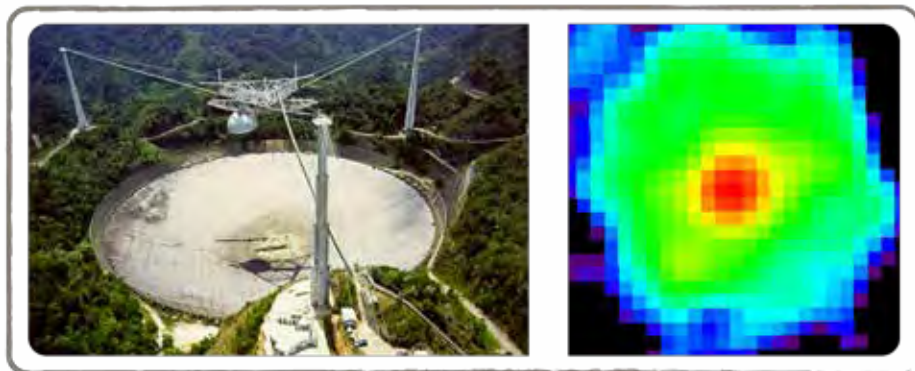
- Vertel de leerlingen dat er zichtbaar en onzichtbaar licht bestaat (zie 'algemene achtergrond').
- Vraag de leerlingen uit welke twee belangrijke onderdelen een radiotelescoop bestaat. Leg uit hoe de radiostralen worden weerkaatst van de schotel naar de antenne.
- Vertel dat de antenne de radiogolven ontvangt en doorstuurt naar een computer die er een afbeelding van maakt. De grootte van de schotel is van belang voor de kwaliteit van deze afbeelding. Laat de leerlingen opdracht 1 van het werkblad maken. De foto met meer gevoeligheid hoort bij de 305-meter schotel.
- Vertel ze dat een grotere schotel meer radiogolven kan opvangen, met meer gevoeligheid in de foto tot gevolg. Het aantal pixels is echter hetzelfde als bij twee kleine schotels op 305 meter afstand van elkaar.

Aansluiting bij het curriculum: kerndoelen 1, 42, 44, 45 en 55

Verwante activiteiten: Les 2, les 4, les 10

Opdracht 1

Hier zie je twee radioafbeeldingen en twee radiotelescopen.



Wat is het verschil tussen de twee radioafbeeldingen?

.....

.....

.....

Welke radiotelescoop geeft de beste radioafbeelding, denk je?

.....

.....

.....

Waarom denk je dat?

.....

.....

.....

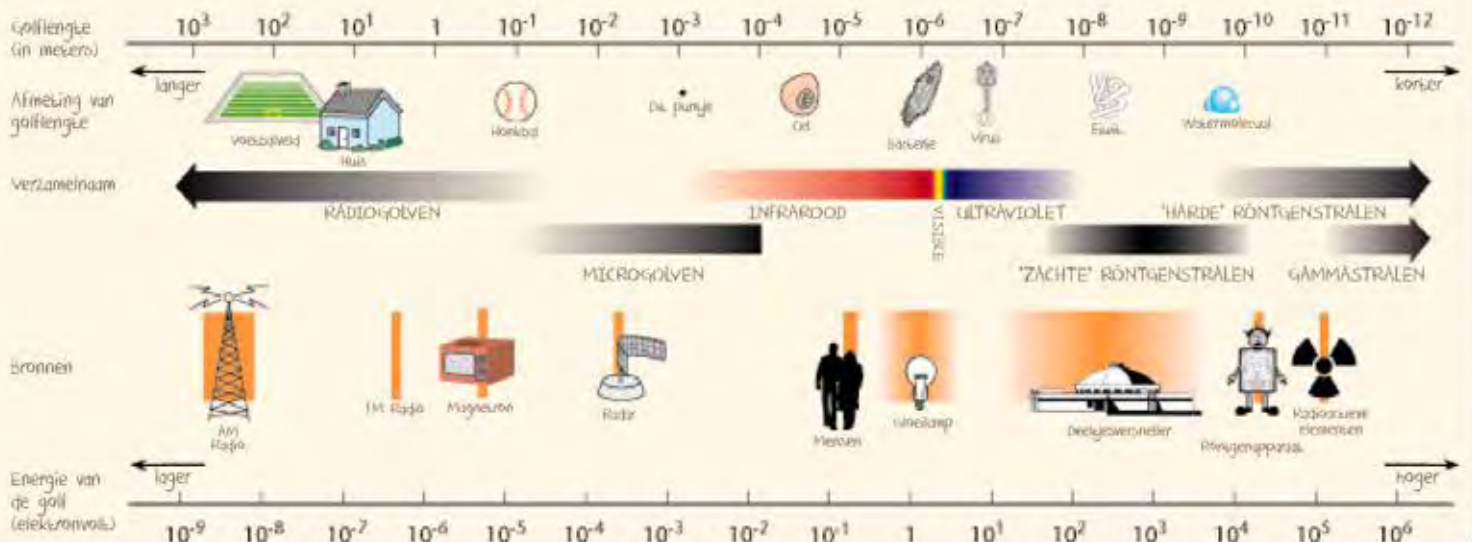
BIJLAGE



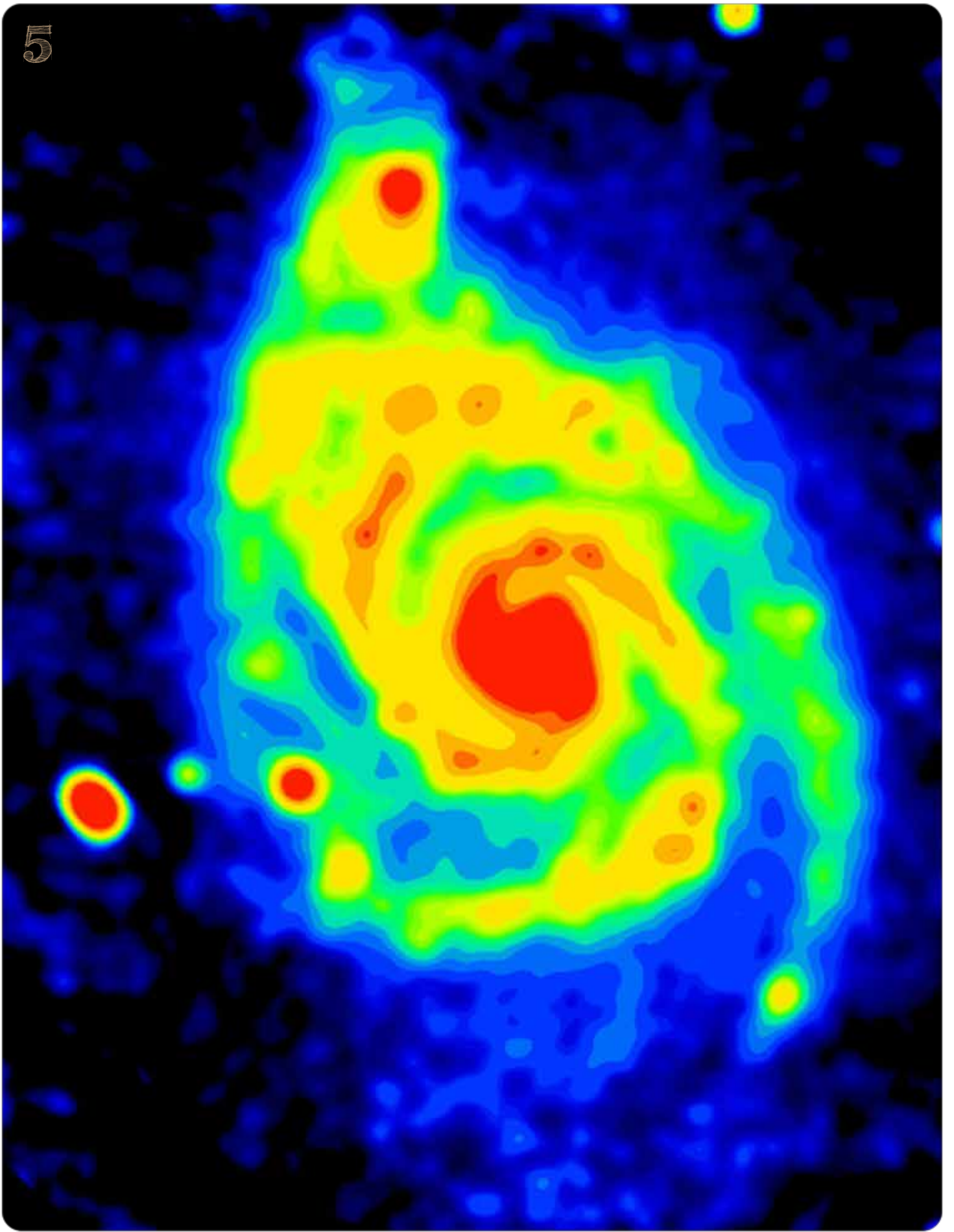




4 HET ELEKTROMAGNETISCHE SPECTRUM



5



Begrippenlijst

Brandpunt

De radiostralen van een bepaald hemellichaam worden gereflecteerd door de schotel van een radiotelescoop en komen uiteindelijk samen in het brandpunt. De antenne ligt altijd precies in het brandpunt, zodat het alle straling opvangt die van de bewuste bron afkomt.

Elektromagnetische straling

Zichtbaar licht – alle kleuren van de regenboog – is slechts een van de vele vormen van elektromagnetische straling. Andere vormen zijn radiostraling, microgolfstraling, infraroodstraling, Uv-straling en röntgenstraling. Elektromagnetische straling bestaat uit golven. De golflengte van deze golven bepaalt welk soort elektromagnetische straling het is. Zo correspondeert een golflengte van enkele honderden nanometers (0,0000001 m) met zichtbaar licht, een golflengte van enkele meters met radiostraling, en een golflengte van enkele nanometers (0,000000001 m) met röntgenstraling. Voor het volledige elektromagnetische spectrum, zie ook figuur 4 uit de bijlage.

Frequentie

De frequentie hangt af van de golflengte. Hoe langer de golflengte, hoe lager de frequentie. Met de volgende formule kun je de frequentie berekenen: $\text{frequentie} = \text{lichtsnelheid} / \text{golflengte}$.

Golflengte

De golflengte is de afstand tussen twee pieken van een elektromagnetische golf. Deze hangt af van de frequentie. Hoe hoger de frequentie, hoe korter de golflengte. Met de volgende formule kun je de golflengte berekenen: $\text{golflengte} = \text{lichtsnelheid} / \text{frequentie}$.

Optische straling

Optische straling is de bekendste vorm van elektromagnetische straling: het is zichtbaar licht, ofwel alle kleuren van de regenboog.

Radioastronomie

Binnen de radioastronomie bestuderen sterrenkundigen het heelal door middel van radiostraling, in plaats van met zichtbaar licht.

Radiogolven

Radiostraling – een vorm van elektromagnetische straling – bestaat uit radiogolven.

Radiotelescoop

Een radiotelescoop vangt radiostraling op uit de ruimte. En waar een optische telescoop (voor zichtbaar licht) voorzien is van een glazen lens, is een radiotelescoop uitgerust met een schotel. Deze schotel weerkaatst de radiostralen uit de ruimte en stuurt ze naar de antenne, die midden boven de schotel hangt.

Schotel

Een schotel is een deel van een radiotelescoop dat de radiostraling uit het heelal weerkaatst richting de antenne van de radiotelescoop.

Bronnen Afbeeldingen

Elektromagnetisch spectrum, p.6, p63
Bron: NASA

Westerbork telescoop, p.7
Bron: Wikimedia Commons

Apparaten, p.12
Bron: C. Prouot / EU-UNAW

Schotelantennes, p.14, 22
Bron: C. Prouot / EU-UNAW

Röntgenfoto handen, p.19, 39
Bron: Wikimedia Commons

Optische foto handen, p.19
Bron: C.Prouot /EU-UNAW

Röntgenfoto voet, p.20, 34, 39
Bron: Wikimedia Commons

Infraroodfoto paard, p.20, 34
Bron: Wikimedia Commons

Infraroodfoto persoon, p.20, 34
Bron: ASU

Röntgenfoto torso, p.20, 39
Bron: Wikimedia Commons

Optische foto voet, p.20, 34
Bron: C.Prouot /EU-UNAW

Draadjestelefoon, p.25
Bron: C.Prouot /EU-UNAW

Radioafbeelding Saturnus, p.27, 30, 34, 37
Bron: NRAO

Radioafbeelding Jupiter, p.27, 30
Bron: Telaviu University

Radioafbeelding Zon, p.27, 30, 34
Bron: NRAO

Radioafbeelding Maan, p.27, 30
Bron:NRAO

Radioafbeelding Mars, p.27, 30
Bron: NRAO

Radioafbeelding Mercurius, p.27, 30
Bron: NRAO

Optische afbeelding Saturnus, p.27, 30, 34
Bron: NRAO

Optische afbeelding Jupiter, p.27, 30
Bron: NASA/ESA/HST

Optische afbeelding Zon, p.27, 30, 34
Bron: NASA/SDO

Optische afbeelding Maan, p.27, 30
Bron: Wikimedia Commons

Optische afbeelding Mars, p.27, 30
Bron: Wikimedia Commons

Optische afbeelding Mercurius, p.27, 30
Bron: NASA

Röntgenfoto hoofd, p.34, 39
Bron: Wikimedia Commons

Radioafbeelding nevel, p.34, 37
Bron: Wikimedia Commons

Optische foto hand, p.34
Bron: C. Prouot / EU-UNAW

Optische foto voet, p.34
Bron: C. Prouot / EU-UNAW

Optische foto paard, p.34
Bron: Wikimedia Commons

Optische foto gezicht, p.34
Bron: EU-UNAW

Radioafbeelding sterrenstelsel, p.37
Bron: University of Massachusetts Amherst

Radioafbeelding schijf, p.37
Bron: Jodrell Bank/ Manchester University

Infraroodfoto persoon met paard, p.38
Bron: Wikimedia Commons

Infraroodfoto persoon, p.38
Bron: Wikimedia Commons

Infraroodfoto hand, p.38
Bron: Wikimedia Commons

Infraroodfoto baby, p.38
Bron: Wikimedia Commons

Gloeilamp, p.40
Bron: Wikimedia Commons

Regenboog, p.40
Bron: Wikimedia Commons

Prisma, p.40
Bron: Wikimedia Commons

CD, p.40
Bron: Wikimedia Commons

Zonnebrandcrème, p.41
Bron: Wikimedia Commons

Ultravioletafbeelding Zon, p.41
Bron: Wikimedia Commons

Zonnebank, p.41
Bron: Wikimedia Commons

Zonnebril, p.41
Bron: Wikimedia Commons

Magnetron, p.42
Bron: Wikimedia Commons

Popcorn, p.42
Bron: Wikimedia Commons

Logo magnetron, p.42
Bron: Wikimedia Commons

Kosmische achtergrondstraling, p.42
Bron: Wikimedia Commons

Radioafbeelding, p.59
Bron: NASA/JPL/IPAC

Grote schotel, p.59
Bron: Arecibo Observatory

Kleine schotel, p.59
Bron: Wikimedia Commons

Bijlage 1
Bron: Wikimedia Commons

Bijlage 2
Bron: Wikimedia Commons

Bijlage 3
Bron: Wikimedia Commons

Bijlage 4
Bron: NASA

Bijlage 5
Bron: NASA / Chandra

Colofon

Auteurs: Monique Ankoné en Erik Arends

Coördinatie: Pedro Russo en Wouter Schrier

Opmaak en illustraties: Charlotte Prouot / EU-UNAWE

Eindredactie: Robin Kleian, Iris Nijman

Fonts: Aderyn font - David Kerkhof

FFF Tusj font - Magnus Cederholm

Deze publicatie is geproduceerd met een fonds van het Seventh Framework Programme ([FP7/2007-2013]) van de Europese Commissie onder grant agreement n° 263325

ISBN: 978-94-91760-04-4

www.eu-unawe.org/nl/





ISBN 978-94-91760-04-4



9 789491 760044 >