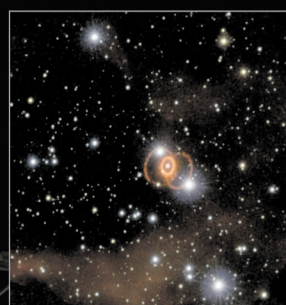
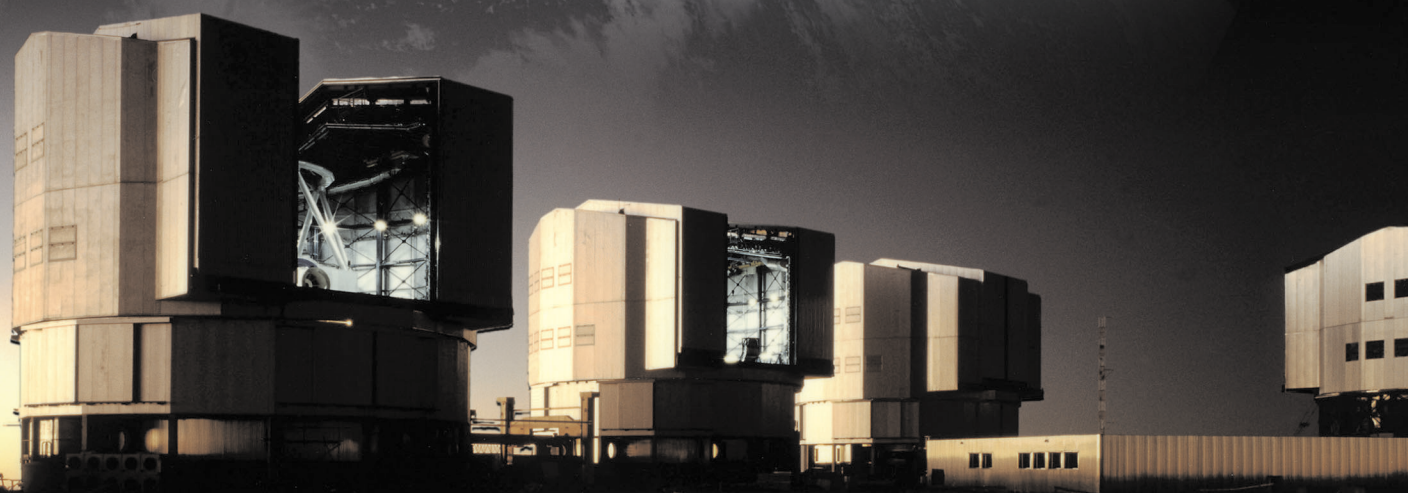


DE STERRENKUNDEPRACTICA VAN ESA/ESO

Sterrenkundige practica, gebaseerd op waarnemingen met de Hubble-ruimtetelescoop van NASA en ESA en de telescopen van ESO



Practicum 1



Het meten van de afstand tot supernova 1987A
Gebaseerd op waarnemingen met NASA/ESA's Hubble-ruimtetelescoop



Inhoudsopgave

De sterrenkundepractica van ESA/ESO — 1

Voorwoord

- Voorwoord blz. 2

Inleiding

- Supernovae blz. 3
- Supernova 1987A blz. 4
- De afstand tot de Grote Magelhaense Wolk blz. 4
- De ring blz. 5

Opdrachten

- Opdracht 1 blz. 7
- Opdracht 2 blz. 7
- Opdracht 3 blz. 9
- Opdracht 4 blz. 9
- Opdracht 5 blz. 10
- Opdracht 6 blz. 12

Literatuurverwijzingen

- Wetenschappelijke artikelen blz. 13

Voor de leerkracht

- Docentenhandleiding blz. 15



Voorwoord

De sterrenkundepractica van ESA/ESO — 1

Het meten van de afstand tot Supernova 1987A

Sterrenkunde is een boeiende wetenschap die vaak ook nog eens fraaie foto's oplevert: ideaal voor educatieve doeleinden. De afgelopen jaren hebben NASA, ESA, de Hubble-ruimtetelescoop en de telescopen van ESO op La Silla en Paranal in Chili steeds spectaculairdere afbeeldingen van het heelal gemaakt. De Hubble- en ESO-telescopen zijn waardevolle astronomische instrumenten, die echter niet alleen mooie nieuwe plaatjes hebben opgeleverd: ze stellen sterrenkundigen in staat om verder dan ooit tevoren het heelal in te tueren en antwoorden te vinden op nog openstaande vragen.

De analyse van waarneemgegevens is in de details vaak nogal ingewikkeld. De grote lijnen zijn echter eenvoudig genoeg om door middelbare scholieren zelf uitgevoerd te kunnen worden.

Deze reeks astronomische practica is een coproductie van de Europese deelnemer aan het Hubble-project, ESA (de European Space Agency), die over 15% van de waarneemtijd met Hubble beschikt, en de ESO (de European Southern Observatory).



Figuur 1: De Hubble-ruimtetelescoop van NASA/ESA
De Hubble-ruimtetelescoop heeft vanuit zijn baan om de aarde spectaculaire opnamen van het heelal gemaakt.



Inleiding

SN 1987A is de aanduiding van een beroemde supernova. Het eerste deel van de naam verwijst naar het soort object (een supernova), het tweede deel geeft aan dat het de eerste (A) supernova van het jaar 1987 was.

Supernovae

Een supernova is een explosie die het einde van bepaalde soorten sterren markeert. Er zijn twee soorten supernovae, maar hier zullen we ons alleen bezighouden met supernovae van type II — zware sterren die op spectaculaire wijze aan hun einde komen. SN 1987A was de explosie van zo'n zware ster.

Een zware ster (minstens vijf keer zo zwaar als onze zon) kan al na een paar miljoen jaar als supernova exploderen. Tijdens deze explosie wordt het grootste deel van de materie van de ster met een enorme klap de ruimte in geblazen. De snelheid van de uitgestoten materie kan 10^7 m/s (3% van de lichtsnelheid) bedragen. De uitdijende schil van sterrestof blijft duizenden

jaren zichtbaar, maar zal uiteindelijk vervagen. Zo'n zichtbaar overblijfsel van een supernova wordt een supernovarest genoemd. In het centrum van de supernovarest vinden we de kern van de oorspronkelijke ster, die tot een neutronenster is samengeperst.

Alle supernovae stralen heel kort erg fel: hun lichtkracht is vergelijkbaar met die van miljarden zonnen. Ze behoren hoogstwaarschijnlijk tot de meest intense lichtbronnen in het heelal. Hierdoor zijn ze ook op grote afstanden zichtbaar. Maar supernovae zijn schaars — per melkwegstelsel zijn het er niet veel meer dan een paar per eeuw. Het kan dus heel lang duren voordat er weer eens een supernova aan onze hemel te zien is.

Figuur2: De Grote Magelhaense Wolk (GMW)

De GMW is een klein onregelmatig gevormd melkwegstelsel — een van de naaste burens van ons eigen Melkwegstelsel. In de GMW worden voortdurend nieuwe sterren geboren. SN 1987A was een van de sterren van de GMW — een zwaar exemplaar.

Deze opname is gemaakt met de Schmidt-telescoop van de Europese Zuidelijke Sterrenwacht (ESO) op La Silla (Chili).





Inleiding



Figuur 3: De verschijning van SN1987A

Op de foto links is te zien hoe in de Tarantula-nevel, die deel uitmaakt van de GMW, een 'nieuwe' heldere ster is verschenen: dat is de supernova (pijl). De foto ernaast toont de Tarantula-nevel zoals deze vóór de verschijning van de supernova (op 23 februari 1987) eruit zag.

Inleiding

Supernova 1987A

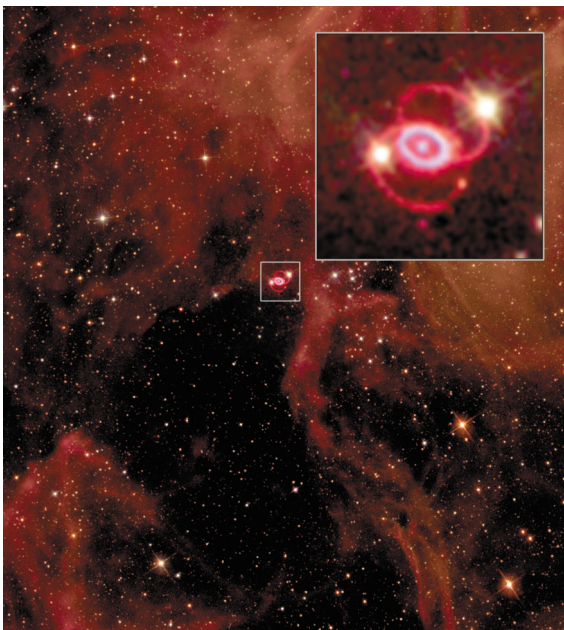
Op 23 februari 1987 verscheen opeens een heldere supernova in de Grote Magelhaense Wolk (GMW). De GMW is een naaste begeleider van ons eigen Melkwegstelsel.

De verschijning van de supernova was een van de meest opwindende momenten in de geschiedenis van de sterrenkunde: het was voor het eerst in bijna 400 jaar dat er weer een supernova met het blote oog te zien was.

De afstand tot de Grote Magelhaense Wolk

De bepaling van afstanden in het heelal is een van de meest fundamentele problemen in de sterrenkunde. Een nauwkeurige meting van de afstand tot SN 1987A, die zelf deel uitmaakt van de GMW, kan worden gebruikt om de afstand tot de GMW zelf te bepalen.

Alle sterren van de GMW bevinden zich ongeveer even ver van ons vandaan. Als we de afstand, D , tot SN 1987A kennen, weten we gelijk ook hoe ver alle andere soorten sterren in de GMW van ons vandaan zijn. Sommige van deze stertypen



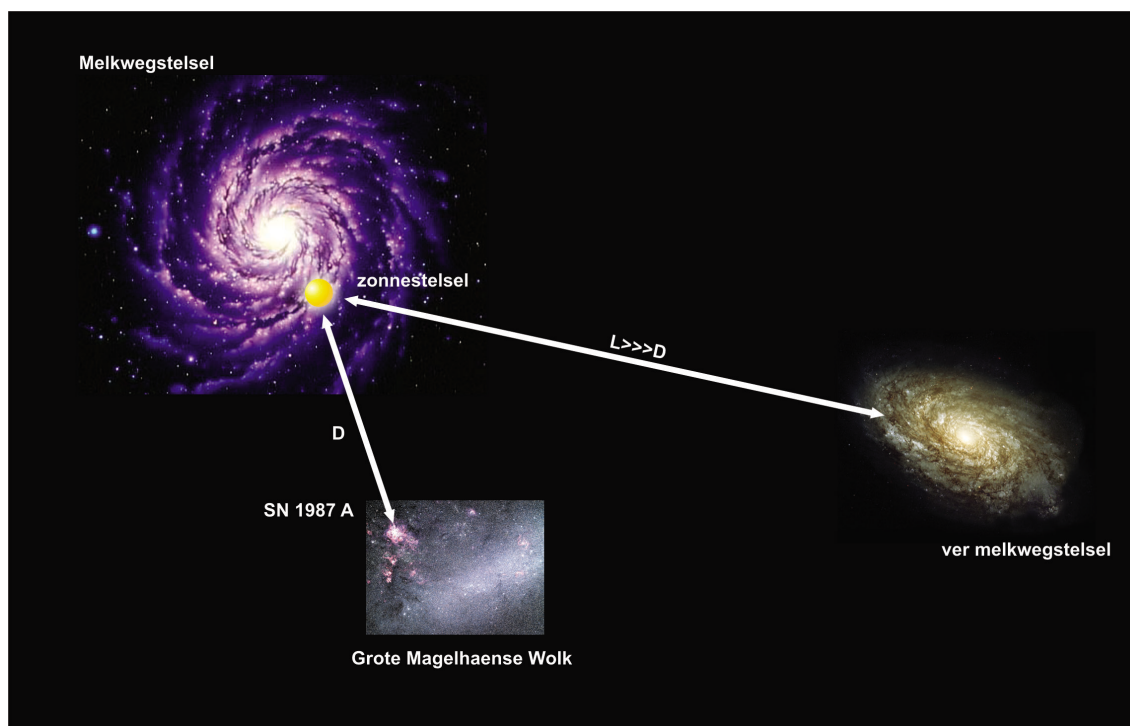
Figuur 4: Supernova 1987A

SN 1987A (rechtsboven vergroot weergegeven) liet drie ringen van gloeiend gas achter in de GMW. In deze opdracht wordt de kleine centrale ring gebruikt om de afstand tot de supernova, en daarmee ook tot de GMW, te bepalen.

In het gebied zijn behalve stof- en gaswolken (roodbruin) veel jonge— d.w.z. 12 miljoen jaar oude — blauwe sterren te zien. Dat duidt erop dat in het gebied rond de supernova nog steeds nieuwe sterren kunnen ontstaan.



Inleiding



Figuur 5: Het meten van afstanden tussen melkwegstelsels

Als de afstand tot de GMW nauwkeurig bekend is, kunnen ook de afstanden tot andere, verder weg gelegen stelsels nauwkeuriger bepaald worden.

komen ook in andere melkwegstelsels voor en kunnen dus worden gebruikt om de afstanden tot deze stelsels te bepalen. De afstand tot de GMW is een soort opstapje naar afstandsbepalingen van andere, verder weg gelegen melkwegstelsels.

De ring

De Hubble-ruimtetelescoop van NASA/ESA werd in 1990 gelanceerd. Hierdoor konden met de ESA's Faint Object Camera (FOC) van deze telescoop pas 1278 dagen na de explosie de eerste opnamen van SN 1987A worden gemaakt. Maar zelfs 'Hubble' had moeite om de nog verse restanten van de geëxplodeerde ster in beeld te brengen. Op de opnamen van de supernova zijn drie cirkelvormige structuren te zien. In deze opdracht kijken we alleen naar de centrale ring. De rand van deze ringvormige nevel is te ver van

de supernova verwijderd om bij de explosie van de ster te zijn ontstaan. De ring moet al eerder zijn gevormd, waarschijnlijk doordat de sterrende ster in de afgelopen duizenden jaren al een deel van zijn buitenlagen heeft weggeblazen. Het is nog onduidelijk waarom daarbij zo'n mooie, scherp begrensde ring is ontstaan, maar hij is er nu eenmaal. Het gas in de ring is gaan gloeien toen hij werd verlicht door een flits van ultraviolette straling die door de supernova werd uitgezonden.

We hebben erop gewezen dat de ring er al vóór de supernova-explosie was. We zullen er hier van uitgaan dat de ring een volmaakte cirkel is, die een bepaalde hoek maakt met de gezichtslijn die supernova en aarde met elkaar verbindt. Daardoor zien we geen cirkel, maar een ellips. Als de ring loodrecht op de gezichtslijn zou staan, zouden alle delen van de nevel tegelijkertijd opge-



Inleiding

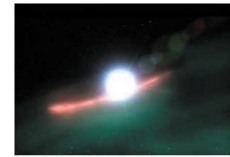
licht moeten zijn toen de lichtflits van de supernova hem bereikte. Maar in werkelijkheid lichtte het meest nabije deel van de ring het eerst op, waarna geleidelijk ook de verder weg gelegen delen in beeld kwamen (fig. 6); het licht van de 'achterkant' van de ring doet er door de grotere afstand immers langer over om ons te bereiken dan dat van de 'voorkant'. In werkelijkheid werden alle delen van de ring natuurlijk gelijktijdig verlicht.

Omdat het gas bleef nagloeien, bereikte de ring zijn maximale helderheid op het moment dat hij compleet was. Dit gegeven kunnen we gebruiken om de afstand tot SN 1987A te berekenen. Maar daartoe zullen eerst de nu volgende vragen beantwoord moeten worden.

Figuur 6: De ring licht op
Deze reeks afbeeldingen laat zien hoe de straling van SN 1987A de omringende materie bereikt, waardoor deze als een ring oplicht. De ring bereikte ongeveer 400 dagen na de supernova-explosie zijn maximale helderheid.

Merk op dat, hoewel de straling de verschillende delen van de ring gelijktijdig bereikte, we de meest nabije delen het eerst te zien kregen. Dat komt door het feit dat licht niet oneindig snel beweegt. Door het tijdverschil tussen het verschijnen van 'voorkant' en 'achterkant' van de ring te meten, kan de afstand tot SN 1987A worden bepaald.

Deze afbeeldingen zijn afkomstig uit een animatiefilmje dat door het Space Telescope Science Institute en NASA is gemaakt.





Opdrachten

Opdracht 1

Ons eerste doel is het berekenen van de hoekdiameter van de ring. Dat wil zeggen: de schijnbare middellijn in boogseconden, zoals gemeten vanaf de aarde. Deze hoekmaat noemen we a .

In onderstaande tabel staan de relatieve posities van de sterren 1, 2 en 3 naast SN 1987A (fig. 8, blz. 8) gegeven in boogseconden.

- ?
- Vul de tabel verder aan met metingen van de afstanden p de foto, om zo de afbeeldingsschaal te kunnen bepalen (in boogseconden per millimeter).

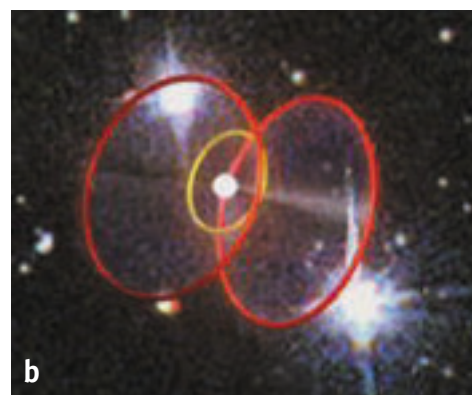
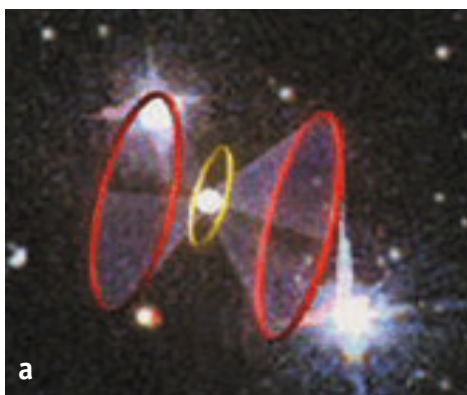
Opdracht 2

Van de ring rond SN 1987A wordt aangenomen dat hij echt rond is — dat hij op de foto elliptisch lijkt, heeft te maken met de hoek die de ring met het hemelvlak (het vlak dat lood-

recht op de gezichtslijn naar de supernova staat) maakt. Deze hoek wordt ook wel inclinatie genoemd.

- ?
- Je kunt de middellijn van de ring op de foto meten zonder dat je de inclinatie kent. Leg uit waarom dit zo is. Misschien snap je het onmiddellijk, maar misschien moet je er even over nadenken: kijk dan ook eens naar fig. 9.
 - Meet de middellijn van de ring in fig. 8 en zet het resultaat om in radialen. Gebruik hierbij de omrekenfactor van opdracht 1 en de informatie in de 'Wiskundige hulpmiddelen'.

	afstand (mm)	afstand (boogseconden)	schaal (boogseconden/mm)
ster 2 ten opzichte van ster 1:		3,0	
ster 3 ten opzichte van ster 1:		1,4	
ster 3 ten opzichte van ster 2:		4,3	

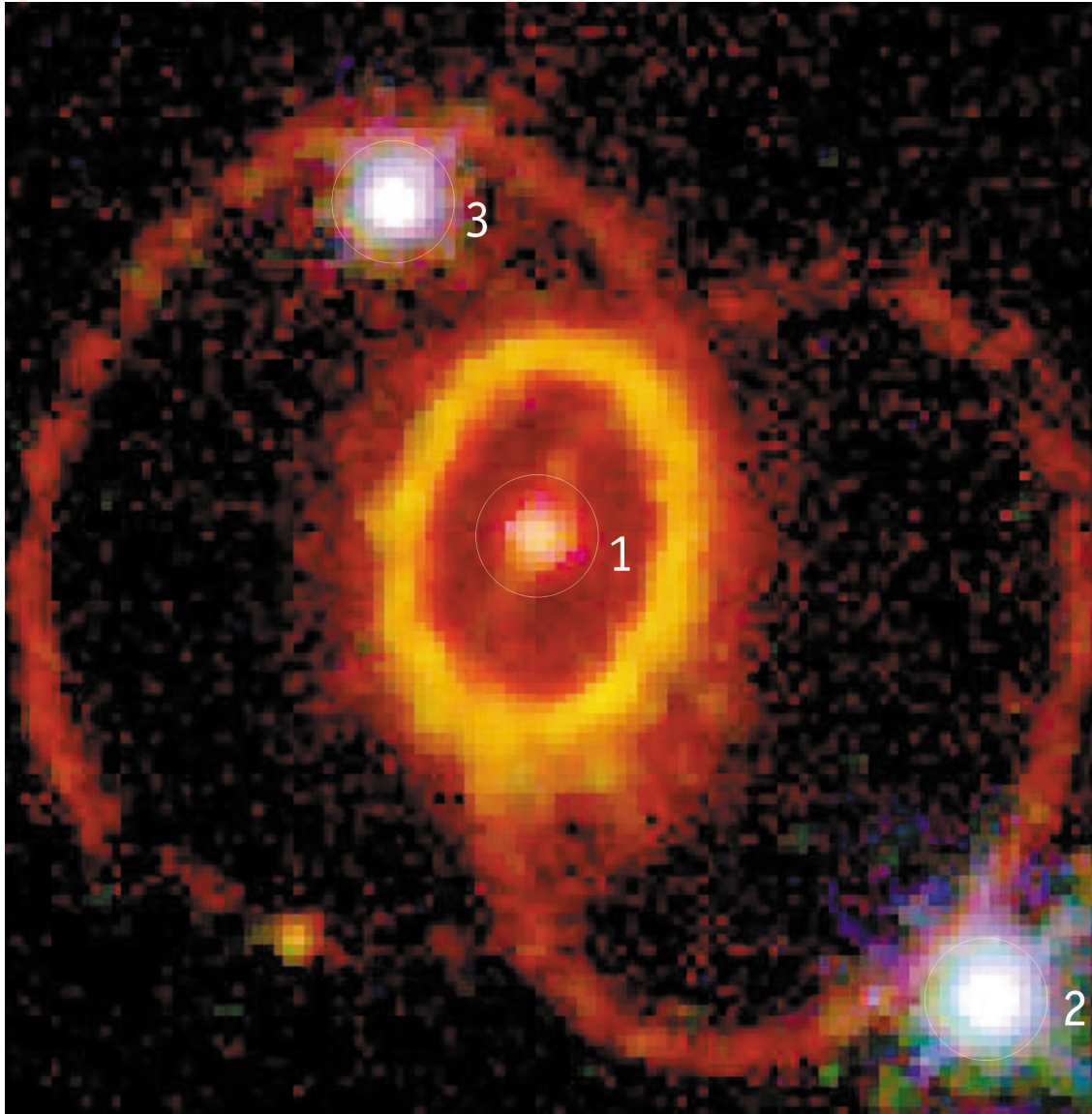


Figuur 7: De ringen

Als we SN 1987A vanuit een andere hoek zouden kunnen bekijken, zouden we drie evenwijdige ringen zien met de supernova in het midden van de kleinste van het stel (fig. 7a). Maar vanuit de omgeving van de aarde gezien lijken de drie ringen in hetzelfde vlak te liggen (fig. 7b; Hubble-opname, met dank aan STScI/NASA).



Opdrachten



Figuur 8: Sterren rond supernova 1987A

Deze opname werd in februari 1994 gemaakt met de Wide Field and Planetary Camera 2 (WFPC2) van de Hubble-ruimtetelescoop. Met WFPC2 zijn tal van spectaculaire foto's gemaakt: het was gedurende de eerste tien jaar het meest gebruikte instrument van de ruimtetelescoop. Het daarbij gebruikte filter laat vooral rood licht van gloeiend waterstofgas door: de zogeheten Balmer- α emissielijn.



Opdrachten

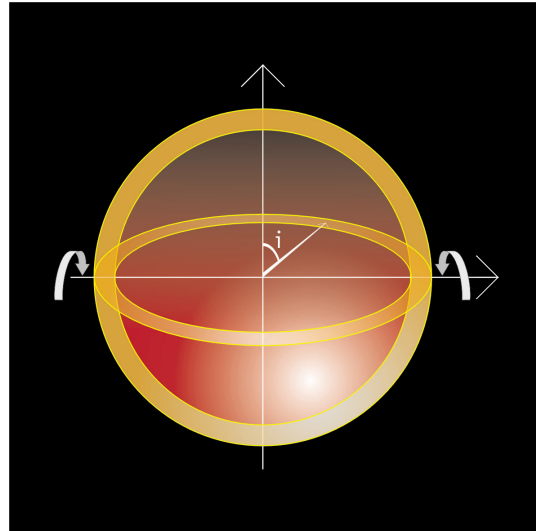
Figuur 9: Inclinatie

De inclinatiehoek i beschrijft de hoek die een object, zoals een ring, met het hemelvlak maakt.

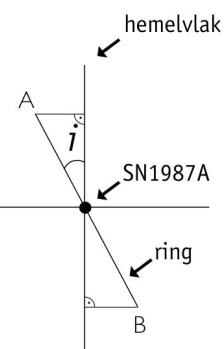
Opdracht 3

De inclinatiehoek wordt aangeduid met i . Als $i = 0^\circ$ of $i = 180^\circ$ zien we een cirkel. Als $i = 90^\circ$ zien we een rechte lijn. Bij alle andere waarden van i zien we een ellips.

- ? Hoe kun je i bepalen door de lange en de korte as van een ellips te meten? De figuren 9 en 10 kunnen je helpen om deze wiskundige relatie af te leiden.



waarnemer



Figuur 10: Bepaling van de inclinatiehoek

Stel dat we het systeem van opzij kunnen bekijken, zodat we precies kunnen zien welke inclinatiehoek i de ring met het hemelvlak (het vlak loodrecht op de gezichtslijn van de waarnemer) maakt.

De inclinatiehoek kan gemakkelijk worden afgeleid uit het verband tussen de korte en de lange as van de waargenomen ellips. Aangegeven zijn het meest nabije (A) en meest verre (B) punt van de ring.

- ? Meet de lange en de korte as van de ellips en bereken, met behulp van de wiskundige vergelijking die je zojuist hebt afgeleid, de inclinatiehoek i .

Opdracht 4

We weten nu de hoekdiameter en de inclinatiehoek van de ring. Maar om zijn afstand te kunnen berekenen, moeten we zijn werkelijke middellijn d kennen. Daarbij kunnen we gebruik maken van het gegeven dat de snelheid van het licht bekend is.

Als een supernova ontploft, zendt hij een intense lichtflits uit. Deze flits plant zich door de ruimte voort met de lichtsnelheid, c . Enige tijd later, t seconden na de flits, zal de flits de ring gaan verlichten. Omdat we ervan uit gaan dat de ring cirkelvormig is, en bovendien veronderstellen dat de supernova precies in het midden ervan staat, zullen alle delen van de ring vanuit de supernova gezien tegelijkertijd oplichten. Maar hoe ziet dit er vanaf de aarde uit? Hoewel alle delen van de ring de flits van de supernova op hetzelfde moment 'zien', zien wij de hele ring niet tegelijkertijd oplichten, omdat

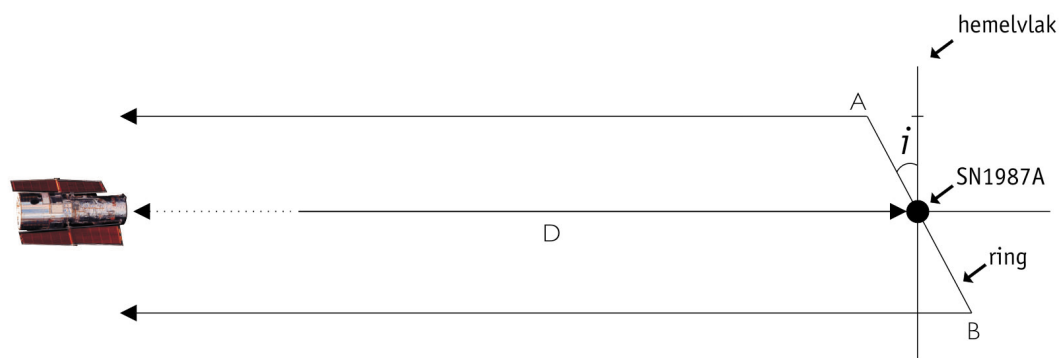




Opdrachten

deze een hoek met het hemelvlak maakt. Het deel van de ring dat naar ons toe helt zal eerder oplichten, omdat het licht een kleinere afstand naar de aarde te overbruggen heeft dan het licht van het verre deel van de ring. Pas als de ring vanaf de aarde gezien geheel verlicht is, zal zijn lichtkromme (fig. 12) een maximum bereiken. Het verschil in afstand tussen het meest nabije en het meest verre punt van de ring kan worden berekend door gebruik te maken van de tijd die het heeft geduurd om het lichtmaximum te bereiken. De tijd die verstrijkt tussen het eerste oplichten van de ring en het bereiken van het maximum van de lichtkromme houdt dus rechtstreeks verband met het verschil in afstand tussen het verre en het nabije punt van de ring.

- ? Meet de genoemde tijd t met behulp van de lichtkromme van de ring van SN 1987A.
- ? Als de inclinatiehoek van de ring 90 graden was geweest, zou het heel eenvoudig zijn geweest om het verband te vinden tussen t en de ringdiameter — waarom?



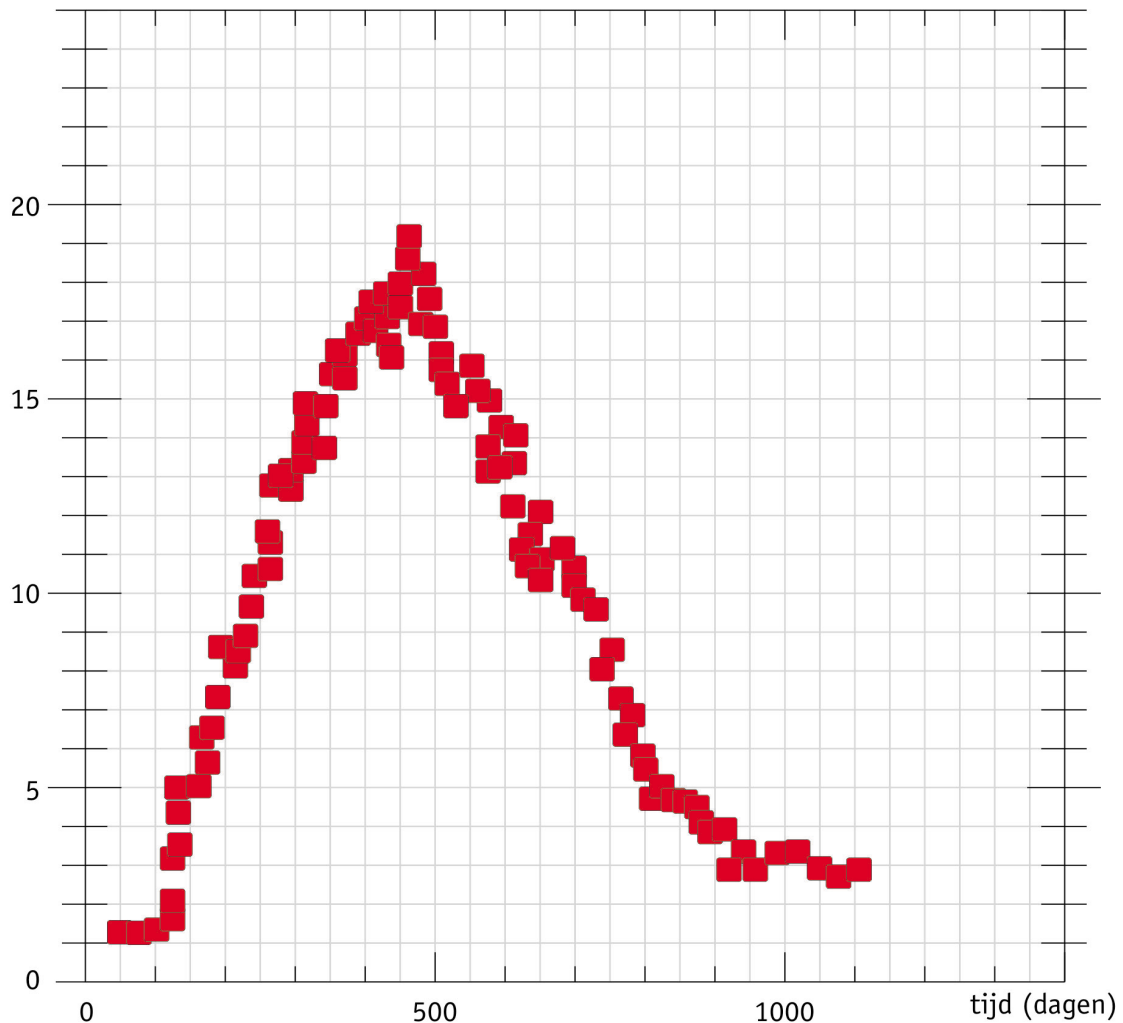
Figuur 11: De reis van het licht

De lichtflits van SN 1987A bereikte de hele ring tegelijkertijd. Het meest nabije punt, A, en het meest verre punt, B, werden dus tegelijk verlicht en zonden tegelijkertijd hun licht naar de waarnemers op aarde. Maar het licht van punt B moest een grotere afstand afleggen dan dat van A, omdat de ring een hoek met het hemelvlak maakt. Daardoor (en door de eindige lichtsnelheid) kwam het licht uit B later op aarde aan.



Opdrachten

intensiteit (in willekeurige eenheden)



Figuur 12: Lichtkromme van de ring

Hier laten we de metingen zien van de totale hoeveelheid licht van de ring in de maanden na de supernova-explosie. De totale intensiteit van de ring begint toe te nemen zodra het licht van het meest nabije deel van de ring ons bereikt. Zodra de ring (vanaf de aarde gezien) volledig verlicht is, wordt het maximum bereikt; daarna is de ring weer bijna uitgedoofd. Deze metingen zijn gedaan met de International Ultraviolet Explorer (IUE) — een Europese satelliet die tot 1996 waarnemingen heeft verricht.

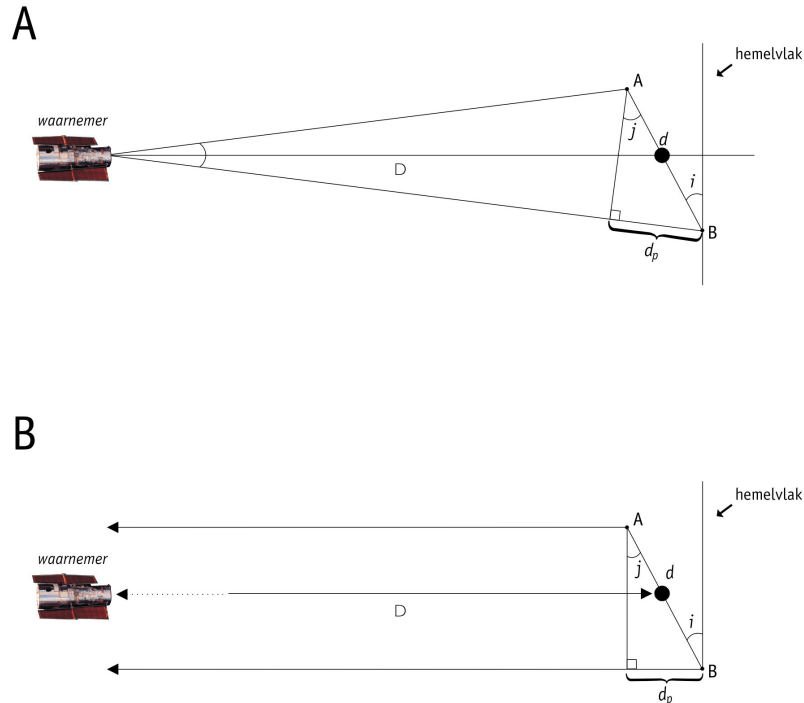
Opdracht 5

Voor de volgende berekening hebben we weer een benadering nodig (zie fig. 13a en 13b). We zullen aannemen dat de lijnen die de punten A en B met de aarde verbinden evenwijdig lopen. Dit is een geldige aanname, omdat de diameter van de ring zo klein is in vergelijking met zijn afstand. Hierdoor zijn de hoeken i en j in fig. 13a even groot.

- ? Kijk naar de tekening van fig. 13 en gebruik deze om het verband af te leiden tussen d_p — het verschil in de afstand tussen het nabije punt A en van verre punt B, d — de werkelijke middellijn van de ring en i — de inclinatiehoek zoals berekend in opdracht 3.
- ? Vind vervolgens het verband tussen het afstandsverschil d_p , de lichtsnelheid c en de tijd t .



Opdrachten



Figuur 13: Het vinden van de werkelijke middellijn

Met behulp van deze figuur en eerder gevonden getallen is het mogelijk om de werkelijke diameter, d , van de supernovaring te bepalen. Tekening 13a toont de werkelijke situatie, maar door de grote afstand van de GMW is het redelijk om aan te nemen dat de gezichtslijnen naar A en B evenwijdig lopen. Deze aanname is verwerkt in figuur 13b.

- ? Combineer de beide vergelijkingen tot één vergelijking voor de werkelijke diameter van de ring, d .
- ? Vul in deze vergelijking de getallen in die je eerder hebt berekend of gemeten. Wat vind je voor d ?

Opdracht 6

Je bent nu klaar voor de finale!

- ? Gebruik de waarden van d en de hoek a om de afstand tot de supernova, D , te bepalen. (Maak hierbij gebruik van de benadering voor kleine hoeken uit de 'Wiskundige hulpmiddelen'. Geef de uitkomst in kiloparsec met behulp van de omrekeningsfactor die in de 'Wiskundige hulpmiddelen' staat.

We geven je nu een stukje achtergrondinformatie aan de hand waarvan je kunt controleren of je antwoorden een beetje kunnen kloppen...

De afstand tot de supernova is door Panagia et al. (1991) berekend aan de hand van de oorspronkelijke versies van deze gegevens. Zij vonden dat $D = 51,2 \pm 3,1$ kpc en hebben de inclinatiehoek bepaald op $i = 42,8 \pm 2,6$ graden.

Als jouw uitkomsten minder dan 20% van deze getallen afwijken, zijn je metingen en berekeningen waarschijnlijk goed geweest en mag je trots zijn op het resultaat.

- ? Welke redenen zouden er kunnen zijn dat jouw uitkomsten afwijken van die van Panagia et al.?

Over de beide buitenste ringen hebben we het in deze opdracht niet gehad.

- ? Heb je enig idee waar die grote ringen vandaan zijn gekomen?



Literatuurverwijzingen

Wetenschappelijke artikelen

- Fransson, C., Cassatella, A., Gilmozzi, R. Kirshner, R. P., Panagia, N., Sonneborn, G., en Wamsteker, W., 1989, *Ap.J.*, **336**, 429-441: *Narrow ultraviolet emission lines from SN 1987A Evidence for CNO processing in the progenitor.*
- Gould, A., 1994, *Ap.J.*, **425**, 51-56: *The ring around supernova 1987A revisited. 1: Ellipticity of the ring.*
- Panagia, N., Gilmozzi, R., Macchetto, F., Adorf, H.M., Kirshner, R.P. 1991, *Ap.J.*, **380**, L23-L26: *Properties of the SN 1987A circumstellar ring and the distance to the Large Magellanic Cloud.*
- Jakobsen, P., Albrecht, R., Barbieri, C., Blades, J. C., Boksenberg, A., Crane, P., Deharveng, J. M., Disney, M. J., Kamperman, T. M., King, I. R., Macchetto, F., Mackay, C. D., Paresce, F., Weigelt, G., Baxter, D., Greenfield, P., Jedrzejewski, R., Nota, A., Sparks, W. B., Kirshner, R. P., Panagia, N., 1991, *ApJ*, **369**, L63-L66: *First results from the Faint Object Camera – SN 1987A.*

Zie ook de links op:

<http://www.astroex.org/>



Colofon



EUROPEAN SOUTHERN OBSERVATORY
Education and Public Relations Service

De sterrenkundepractica van ESA/ESO
Practicum 1: Het meten van de afstand tot
Supernova 1987A
Eerste uitgave (vertaling van de tweede Engelse
uitgave 23.05.2002)

Productie:

De Hubble European Space Agency Information
Centre en de European Southern Observatory:
<http://www.astroex.org>
(Hier vindt men pdf-versies van dit materiaal en links
naar relevante websites)

Postadres:

European Southern Observatory
Karl-Schwarzschild-Str. 2
D-85748 Garching bei München
Duitsland

Tel: +49 89 3200 6306 (of 3200 60)
Fax: +49 89 3200 64 80 (of 320 32 62)
E-mail: info@astroex.org

Oorspronkelijk idee en tekst:

Emma Fosbury en Robert A.E. Fosbury

Definitieve tekst:

Anne Værnholt Olesen, Lars Lindberg Christensen,
Jean-Marc Brauer en Arntraud Bacher

Illustraties en opmaak:

Martin Kornmesser

Vertaling:

Eddy Echternach

Correcties en eindredactie:

Eddy Echternach, Robert Wielinga en Peter Barthel

Coördinatie:

Lars Lindberg Christensen en Richard West

Met dank aan Karl-Heinz Lotze, Duitsland, voor de
inspiratie, aan Nino Panagia, STScI/ESA, voor het ter
beschikking stellen van gegevens, en aan Nina
Troelsgaard Jensen, Frederiksberg Seminarium, voor
haar opmerkingen.

Deze Nederlandse uitgave verschijnt onder auspiciën
van NOVA, de Nederlandse Onderzoekschool voor
Astronomie, en de Nederlandse Astronomen Club,
NAC. Realisatie werd financieel mogelijk dankzij een
subsidie van de Gratama-stichting. Ook NOVA, NAC,
het Groninger Universiteitsfonds GUF en het Kapteyn
Instituut van de Rijksuniversiteit Groningen droegen
financieel bij.



Voor de leerkracht

Korte samenvatting

Dit practicum behandelt de geometrie van de kleine ring rond supernova 1987A (SN 1987A). Vervolgens wordt de afbeeldingschaal van de Hubble-opname van de supernova gedefinieerd, zodat de werkelijke middellijn van de ring, en zijn inclinatie ten opzichte van het hemelvlak kan worden gevonden.

Waarnemingen vanaf de aarde hebben laten zien hoe het licht van de supernova de verschillende delen van de ring bereikte. Met behulp van de lichtmetingen en de lichtsnelheid kunnen de werkelijke afmetingen van de ring worden bepaald. Als zowel de schijnbare hoekafmetingen als de werkelijke middellijn van de ring bekend zijn, kan de afstand tot SN 1987A worden bepaald.

Deze docentenhandleiding bevat de oplossingen van de verschillende opdrachten. Waar nodig zijn deze van commentaar voorzien. Het doel van deze handleiding is om het nut van deze lesbrief te maximaliseren en de leerkracht te helpen bij het opstellen van een lesplan.

Opdracht 1

Handmatige voorbeeldmetingen, gedaan met een meetlat, aan de hand van een 149 mm x 151 mm versie van de afgebeelde opname (de werkelijke afmetingen hangen van de printer af):

	afstand (mm)	afstand (boogseconden)	schaal (boogseconden/mm)	gemiddelde schaal (boogseconden/mm)
ster 2 ten opzichte van ster 1:	89 mm	3,0	0,03371	0,03111
ster 3 ten opzichte van ster 1:	50 mm	1,4	0,02800	
ster 3 ten opzichte van ster 2:	136 mm	4,3	0,03162	

Opdracht 2

De hoekdiameter van de ring wordt gevonden door de grootste middellijn van de ellips de meten. De projectie van een cirkel is altijd ergens net zo breed als de cirkel zelf, ongeacht de hoek waaronder we hem zien.

De gemeten schijnbare middellijn van de ring: 51 mm.
Omzetting naar radialen:

$$a = 51 \text{ mm} \times 0,031 \text{ bgsec/mm} \times 4,848 \times 10^{-6} \text{ rad/bgsec} = 7,7 \times 10^{-6} \text{ rad}$$

Opdracht 3

Sommige mensen hebben moeite om diepte te zien in een tweedimensionaal diagram — d.w.z. een perspectivische tekening (zoals een isometrische projectie) in dwarsdoorsnede te 'decoderen'. Besteed zorg aan dit onderdeel en voorzie de diagrammen zo nodig van commentaar. De benadering volgens welke lichtstralen van een verre lichtbron evenwijdig lopen, zou bekend moeten zijn (wordt vaak gebruikt bij de behandeling van zonlicht).

Elke ellips mag worden beschouwd als de projectie van een gekantelde cirkel die een hoek i (de inclinatie) met het hemelvlak maakt (het vlak loodrecht op de gezichtslijn). De lange as is gelijk aan de middellijn van de cirkel en de korte as is $\cos i$ maal de lange as.

Hieruit volgt dat:

$$\cos i = \text{korte as} / \text{lange as} = 37 \text{ mm} / 51 \text{ mm}$$

$$i = \cos^{-1}(37/51) = 0,7590 \text{ rad} = 43 \text{ graden}$$



Voor de leerkracht

Opdracht 4

De grafiek wordt gebruikt om langs de tijdas te meten hoeveel tijd er verstreek tussen het eerste verschijnen van de ring en het bereiken van zijn maximale intensiteit. We lezen **t = 399 dagen** af. Dat dit getal ongeveer overeenkomt met de duur van een jaar is zuiver toeval.

Als de inclinatie 90 graden was geweest, zouden we de ring als een lijn hebben gezien. In dat geval zou het tijdverschil tussen het verschijnen van het eerste licht en het moment waarop de verre rand oplicht precies gelijk zijn aan de middellijn van de ring gedeeld door de lichtsnelheid.

Opdracht 5

$$\sin i = d_p/d \Rightarrow d = d_p/(\sin i)$$

$$d_p = c \times t$$

Gecombineerd geeft dit:

$$d = d_p/(\sin i) = (c \times t)/(\sin i) = (2,997 \times 10^8 \times 399 \times 24 \times 3600)/(\sin 43.49^\circ) = \mathbf{1,5012 \times 10^{16} \text{ m}}$$

Opdracht 6

$$D = d/a = (1,5012 \times 10^{16})/(7,6917 \times 10^6) = 1,9517 \times 10^{21} \text{ m} = \mathbf{63,2 \text{ kpc}}$$

De afstand die Panagia et al. (met behulp van een uitgebreidere rekenmethode) uit de oorspronkelijke gegevens afleiden is $D = 51,2 \pm 3,1 \text{ kpc}$. (Dat komt in redelijke mate overeen met onze eigen uitkomst.)

Foutenbronnen

Met behulp van deze vraag is het mogelijk om de leerlingen een inleiding tot de foutenrekening te geven, bijvoorbeeld door ze de berekening te laten herhalen met de kleinste en de grootste meetresultaten die gevonden zijn. De gevolgen zijn:

te grote hoekdiameter, $a \Rightarrow$ te kleine D (hoe dichterbij iets is, des te groter lijkt het)

te grote schijnbare diameter \Rightarrow te kleine D

te grote omzettingsfactor \Rightarrow te kleine D

te kleine $t \Rightarrow$ te kleine D

te grote $i \Rightarrow$ te kleine D

Het is een goede oefening om de leerlingen zelf achter deze trends te laten komen.

De oorsprong van de twee buitenringen

De kwestie van de twee buitenringen is een goed voorbeeld van een schijnbaar eenvoudig wetenschappelijk probleem dat nog onopgelost is. (Dat gebeurt wel vaker in een geavanceerde wetenschap als de sterrenkunde.)

De wetenschappers zijn het er nog niet over eens hoe de ringen zijn ontstaan, maar zeker is dat ze zijn uitgestoten door de oorspronkelijke ster, 20.000 jaar vóóordat deze als supernova ontplofte. Waarom de ringen zo scherp begrensd zijn is een volslagen raadsel. Aangenomen wordt dat een rode reuzenster aan het einde van zijn bestaan materie alle richtingen op blaast.

www.astroex.org

