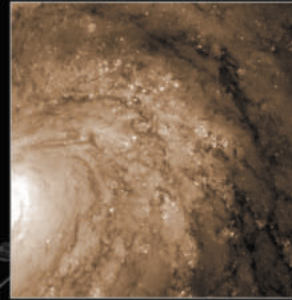
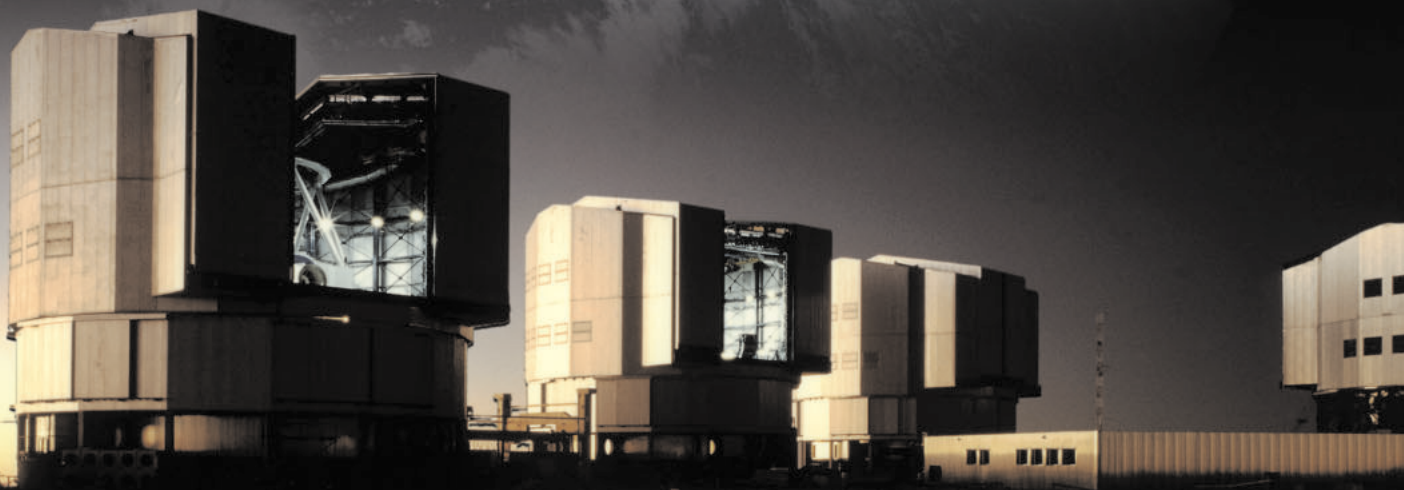


DE STERRENKUNDEPRACTICA VAN ESA/ESO

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



Practicum 2



De afstand tot M100 bepaald met behulp van cepheïden
Gebaseerd op waarnemingen met NASA/ESA's Hubble-ruimtetelescoop



Inhoudsopgave

De sterrenkundepractica van ESA/ESO — 2

Voorwoord

- Voorwoord blz. 2

Inleiding

- Kosmologie en afstandsmetingen blz. 3
- Cepheïden als afstandsindicatoren blz. 5
- M100, een grote spiraalnevel blz. 7

Opdrachten

- Metingen en berekeningen blz. 8
- Opdracht 1 blz. 8
- Opdracht 2 blz. 9
- Opdracht 3 blz. 10
- Opdracht 4 blz. 10
- Opdracht 5 blz. 10
- Opdracht 6 blz. 11
- Opdracht 7 blz. 11
- Opdracht 8 blz. 11

Literatuurverwijzingen

- Wetenschappelijke artikelen blz. 12

Voor de leerkracht

- Docentenhandleiding blz. 14



De sterrenkundepractica van ESA/ESO — 2

De afstand tot M100 bepaald met behulp van cepheïden

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 turen 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

Kosmologie en afstandsmetingen

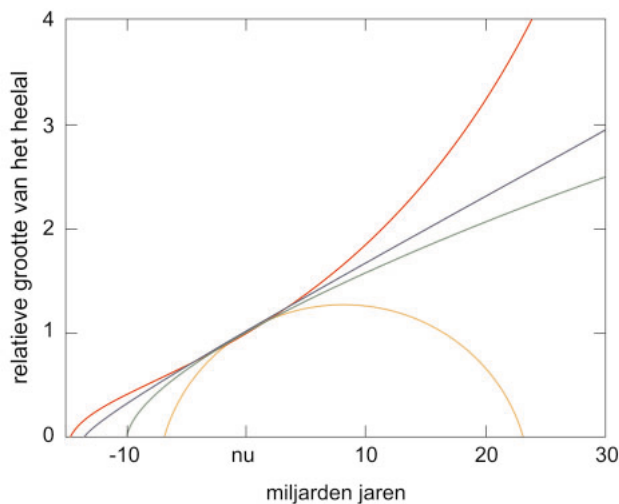
Hoe oud is het heelal? Hoe snel dijt het uit? Zal het ooit weer samentrekken? Dat zijn de fundamentele vragen waarop de kosmologie al lange tijd antwoorden hoopt te vinden.

Het lot van het heelal hangt nauw samen met het toekomstige gedrag van zijn uitdijingsnelheid. Als de uitdijing voldoende afremt, zal het heelal ooit weer gaan krimpen. Maar de huidige waarnemingen duiden er op dat het er meer op lijkt dat het heelal eeuwig zal blijven uitdijen.

Deze uitdijing heeft tot gevolg dat voor elke waarnemer (en niet alleen die op de aarde) alle melkwegstelsels weg lijken te vluchten. En hoe verder weg ze zijn, des te groter is hun vluchtsnelheid. Dit gedrag wordt samengevat in de zogeheten wet van Hubble (in 1929 opgesteld door Edwin Hubble), die het verband schetst tussen de afstand van een object en zijn vluchtsnelheid:

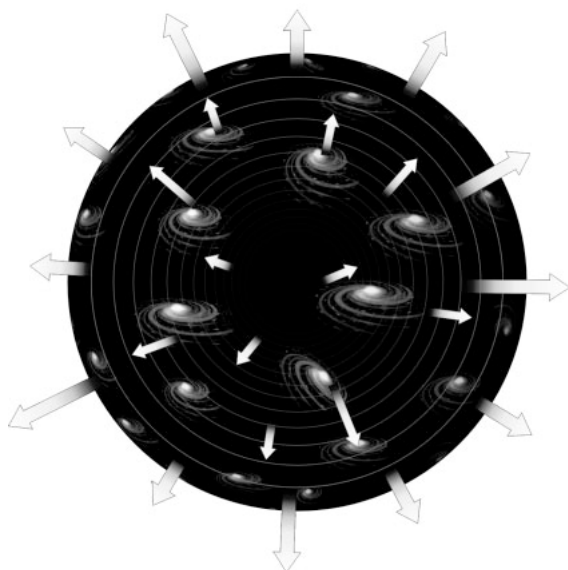
$$v = H_0 \cdot D$$

Deze wet zegt dat alle melkwegstelsels in het heelal van elkaar weg bewegen met een snel-



Figuur 2: Het lot van het heelal

Deze grafiek laat het verband zien tussen de grootte van het heelal en de tijd. Met andere woorden: hier is te zien hoe het heelal in de loop van de tijd groter of kleiner wordt. De verschillende lijnen 'in de toekomst' (het rechter gedeelte van de grafiek) laten de verschillende mogelijkheden voor de toekomst van het heelal zien: een heelal dat eeuwig uitdijt of een heelal dat weer samentrekt.

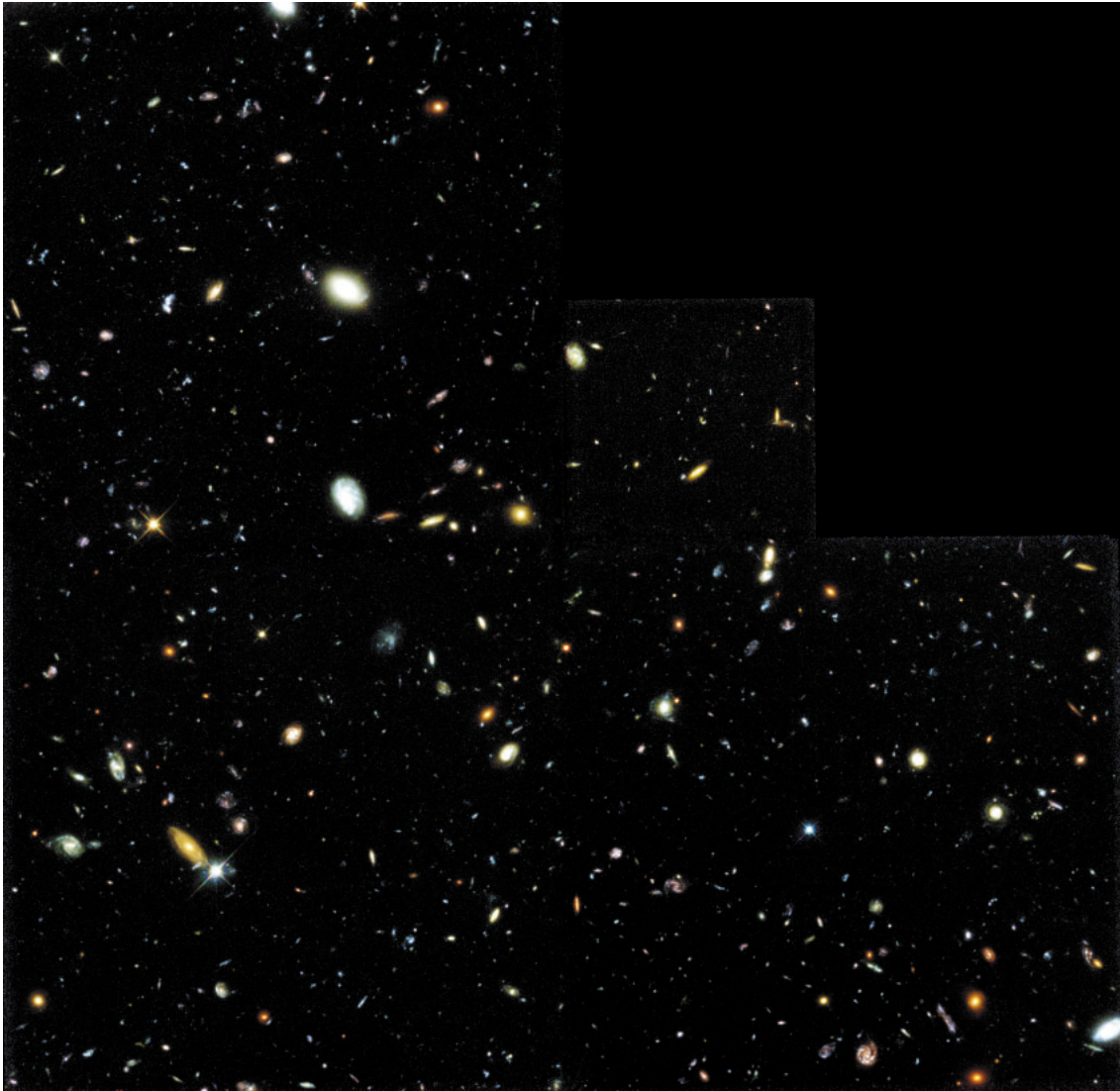


Figuur 3: Wegvluchtende melkwegstelsels

Deze tekening laat zien hoe melkwegstelsels van elkaar weg bewegen ten gevolge van de uitdijing van het heelal.



Inleiding



Figuur 4: Verre melkwegstelsels met grote roodverschuivingen

Deze opname, gemaakt met de Wide-Field and Planetary Camera (WFPC2) van de Hubble-ruimtetelescoop, toont vele melkwegstelsels op miljarden lichtjaren afstand. De meeste wazige vlekjes op de foto zijn stelsels van miljarden sterren. Al deze stelsels bewegen met grote snelheid van ons vandaan en hebben daardoor een grote roodverschuiving.

heid, v , die evenredig is met hun onderlinge afstand, D . H_0 ("H-nul") is een fundamentele grootheid van het heelal — de Hubble-constante. Dit getal speelt een belangrijke rol in vele kosmologische vraagstukken en is een maat voor de snelheid waarmee het heelal momenteel uitdijt. Omdat we uitgaande van deze uitdijing naar het verleden kunnen terugrekenen, kunnen we de leeftijd van het heelal, t , schatten door de inverse van de Hubble-constante te berekenen:

$$t = 1/H_0$$

De waarde van H_0 is dus van grote betekenis voor onze schattingen van de leeftijd van het heelal. Maar hoe kunnen we die constante bepalen? Het lijkt simpel: we hoeven slechts de vluchtsnelheid, v , en de afstand van één of meer melkwegstelsels te bepalen.

Nu is de *vluchtsnelheid* inderdaad vrij gemakkelijk te meten met behulp van de zogeheten roodverschuiving van het licht van het melkwegstelsel dat we onderzoeken. Roodverschuiving is een direct gevolg van de snelheid die een object ten opzichte van ons heeft. Het is in feite een



Inleiding



Figuur 5: Henrietta Leavitt

Ons begrip van de schijnbare helderheid en de variabiliteit van sterren is enorm toegenomen dankzij het werk van Henrietta Swan Leavitt (1868-1921). Leavitt onderzocht bij de sterrenwacht van Harvard College heel nauwkeurig de fotografische helderheden van 47 sterren, met als

doel deze als 'ijkbronnen' of 'standaardkaarsen' te gebruiken bij de bepaling van de helderheden van alle andere sterren. Zij ontdekte meer dan 1500 veranderlijke sterren in de nabije Magelhaense Wolken, en daarbij stelde zij vast dat heldere sterren van het Cepheïde-type langzamer van helderheid veranderen dan zwakke. Dit feit wordt ook nu nog gebruikt om afstanden in het heelal te meten. (Foto: AAVSO)

dopplerverschuiving, die ervoor zorgt dat de golflengte van het licht van melkwegstelsels die van ons weg bewegen naar de rode kant van het spectrum verschuift. Omdat rood licht een langere golflengte heeft dan blauw licht, betekent dit dus dat de golflengte van de wegvluchtende stelsels onderweg naar de aarde is toegenomen. Deze toename als fractie van de golflengte in rust ten gevolge van het dopplereffect wordt roodverschuiving genoemd; melkwegstelsels met een grote roodverschuiving bewegen snel van ons vandaan.

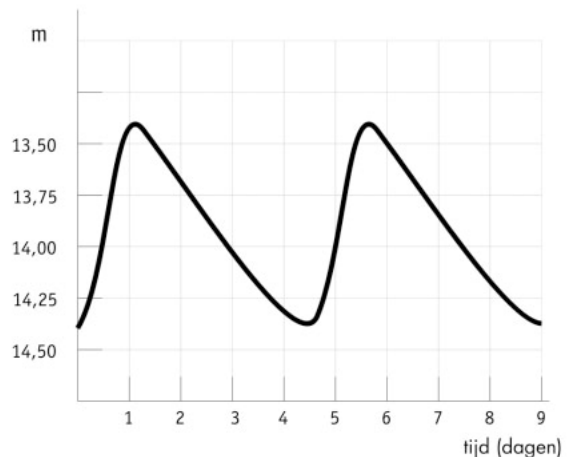
Cepheïden als afstandsindicatoren

Het bepalen van de *afstand* van een hemelobject is veel moeilijker; het is een van de grootste uitdagingen waar sterrenkundigen voor staan. In de loop der jaren zijn verscheidene afstandsindicatoren gevonden. Een van deze is een bepaald soort veranderlijke sterren die cepheïden worden genoemd.

Cepheïden zijn zeldzame, zeer heldere sterren die met grote regelmaat van helderheid veranderen. De sterren zijn genoemd naar δ Cephei, een met het blote oog zichtbare ster in het sterrenbeeld Cepheus waarbij dit helderheidsgedrag voor het eerst is vastgesteld.

In 1912 nam de astronome Henrietta Leavitt (zie fig. 5) twintig cepheïden waar in de Kleine Magelhaense Wolk (KMW), een buurstelsel van ons Melkwegstelsel. De kleine verschillen in afstand van de cepheïden in de KMW zijn verwaarloosbaar in vergelijking met hun afstand

tot de aarde. De helderste cepheïden in de KMW zijn dus ook echt helderder en lijken dat niet alleen omdat ze dichterbij zouden zijn. Henrietta Leavitt ontdekte een verband tussen de intrinsieke helderheid en de pulsatieperiode van cepheïden en toonde aan dat heldere cepheïden langzamer pulseren. Door de periode van een willekeurige cepheïde waar te nemen kan men dus diens werkelijke helderheid bepalen, en met behulp van zijn schijnbare helderheid dus ook zijn afstand vaststellen. Op die manier kunnen cepheïden als een soort 'standaardkaarsen' worden gebruikt, die ofwel als directe afstandsindicatoren kunnen worden gebruikt ofwel als objecten waarmee andere afstandsindicatoren kunnen worden geïjkt. Cepheïden zijn van andere veranderlijke sterren te onderscheiden door hun karakteristieke lichtkromme (zie fig. 6).



Figuur 6: De lichtkromme van een cepheïde

De lichtkromme van een cepheïde heeft een karakteristieke vorm, waarbij de helderheid snel toeneemt en vervolgens veel geleidelijker weer afneemt. De amplitude van de variaties bedraagt gewoonlijk 1 à 2 magnitudes.

De meest nauwkeurige metingen van zowel snelheid als afstand worden natuurlijk verkregen voor objecten die betrekkelijk dichtbij staan. Voordat de Hubble-ruimtetelescoop beschikbaar was, konden de sterrenwachten op aarde cepheïden waarnemen in melkwegstelsels op afstanden van maximaal 3,5 Megaparsec (een Megaparsec is gelijk aan een miljoen parsecs, ofwel 3,2 miljoen lichtjaren — zie ook de "Wiskundige Hulpmiddelen"). Maar op dergelijke afstanden spelen ook andere effecten een rol. Melkwegstelsels trekken elkaar aan en dit introduceert een extra bijdrage aan de snelheid, die onze metingen van de snelheid ten gevolge van



Inleiding

de uitdijing van het heelal verstoort. De extra snelheidsbijdrage wordt de eigenbeweging genoemd, en zijn uitwerking is ongeveer net zo groot als die van de vluchtsnelheden in onze omgeving van het heelal.

Om de uitdijing van het heelal te kunnen bestuderen, moeten we dus over afstandsmetingen beschikken van melkwegstelsels die zó ver weg zijn dat hun vluchtsnelheid aanzienlijk groter is dan hun eigenbeweging. Met de Hubble-telescoop zijn cepheïden waargenomen in stelsels op afstanden tot ongeveer 20 Megaparsec. Voordat de ruimtetelescoop gelanceerd was, wis-

ten sterrenkundigen niet zeker of het heelal nu tien of twintig miljard jaar oud is. Nu is men het er wel over eens dat de leeftijd van het heelal ergens tussen de twaalf en veertien miljard jaar moet liggen.

Een van de sleutelprojecten van de Hubble-telescoop omvat het nauwkeurig bepalen van de Hubble-constante en de leeftijd van het heelal. Tot nu toe zijn achttien melkwegstelsels op uiteenlopende afstanden op de aanwezigheid van cepheïden onderzocht. Een van deze stelsels is de spiraallevel M100.



Figuur 7: Het spiraalstelsel M100

Als we ons eigen Melkwegstelsel vanuit een ruimtevoertuig van boven zouden kunnen bekijken, zou het er ongeveer zo uit zien als het spiraalstelsel M100.

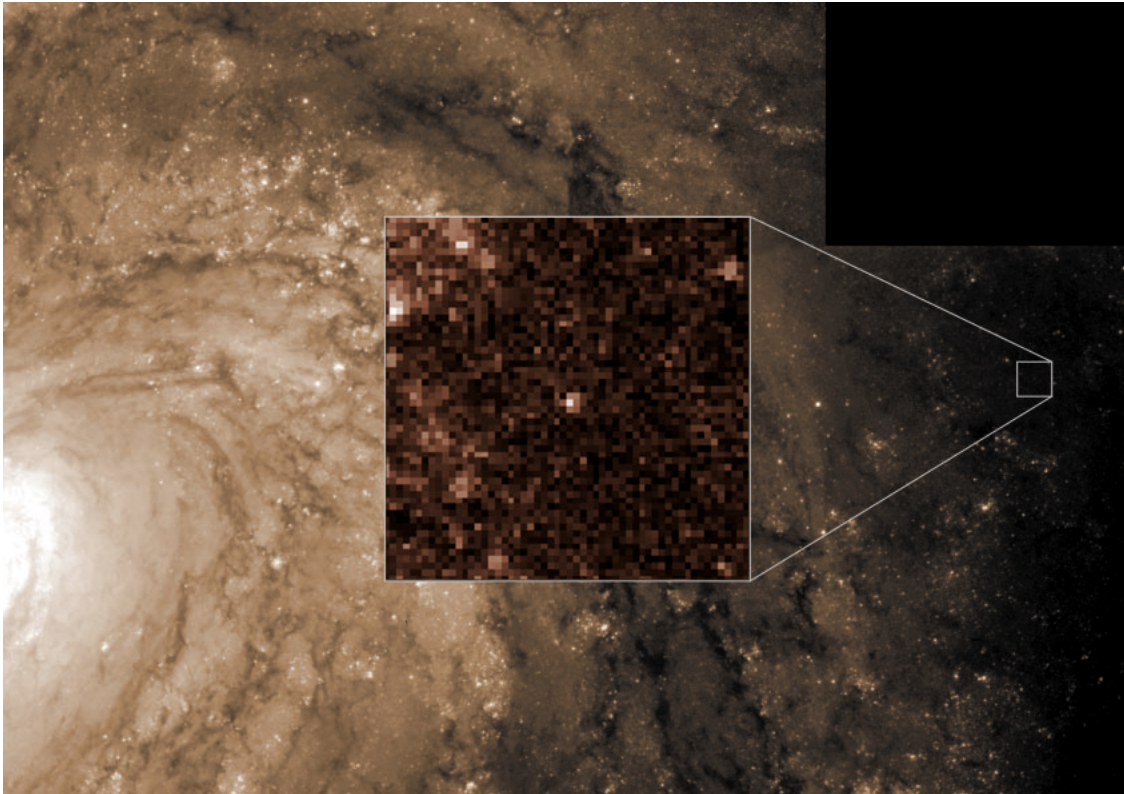
Spiraalstelsels zijn rijk aan stof en gas. Het stof is op opnamen als deze herkenbaar aan de donkere stroken tussen de indrukwekkende spiraalarmen.

M100 is een populair waarneemobject bij amateur-astronomen. Het bevindt zich aan de lentehemel in het sterrenbeeld Coma Berenices.

Deze foto is gemaakt met de Wide Field and Planetary Camera 2 van de Hubble-telescoop. De blauwe gebieden op de foto zijn rijk aan jonge, hete sterren.



Inleiding



Figuur 8: 'Hubble' spoort cepheïden op in M100

Met behulp van de gevoelige camera van de Hubble-telescoop is onder meer de cepheïde opgespoord die het onderwerp van deze opdracht is. De ster, die middenin het vierkante kader staat, maakt deel uit van een stervormingsgebied in een van de spiraalarmen van het melkwegstelsel M100.

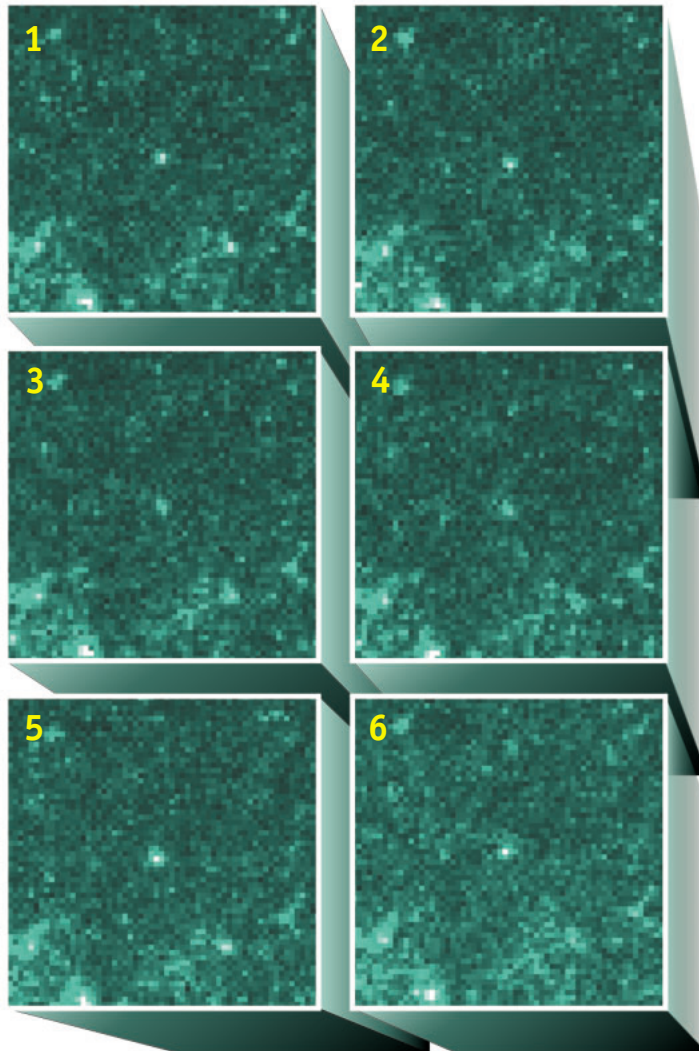
M100: een groot spiraalstelsel

Het melkwegstelsel M100 is een indrukwekkend spiraalstelsel in de grote Virgo-cluster. Deze laatste omvat 2500 afzonderlijke stelsels. M100 is een roterend systeem van gas, stof en sterren dat veel op ons eigen Melkwegstelsel lijkt. De benaming M100 geeft aan dat dit het 100ste object is in de Messier-catalogus van niet-stellaire objecten.

M100 is een van de verste melkwegstelsels waarin nauwkeurige metingen aan cepheïden zijn gedaan. Dit practicum is gebaseerd op opnamen en gegevens die met behulp van de Hubble-ruimtetelescoop zijn verkregen.



Opdrachten



Figuur 9: Een cepheïde in M100
Deze zes opnamen, op verschillende tijdstippen verkregen, tonen een van de cepheïden in het melkwegstelsel M100. De cepheïde staat in het midden van elk kader. Het is duidelijk dat de ster in helderheid varieert.

Metingen en berekeningen

De verband tussen de lichtkracht en de periode van cepheïden is sinds Henrietta Leavitts eerste metingen vele malen aangepast. De beste schatting voor deze relatie is op dit moment:

$$M = -2,78 \log (P) - 1,35$$

waarbij M de absolute helderheid van de ster is en P zijn periode, gemeten in dagen.

Op de bladzijden 9 en 10 staan de lichtkrommen van de twaalf cepheïden in M100 die met de Hubble-telescoop zijn waargenomen.

Opdracht 1

- ?
- Bereken, met behulp van de informatie in deze lichtkrommen de absolute helderheid M van de twaalf sterren.

Ons doel is om de afstand van M100 te berekenen. Als je de afstandsvergelijking nog kunt herinneren, weet je dat de absolute helderheid alléén niet voldoende is om de afstand te kunnen bepalen — je hebt ook de schijnbare helderheid nodig.

Nog afgezien van de problemen die het nauwkeurig meten van helderheden met zich mee-



Opdrachten

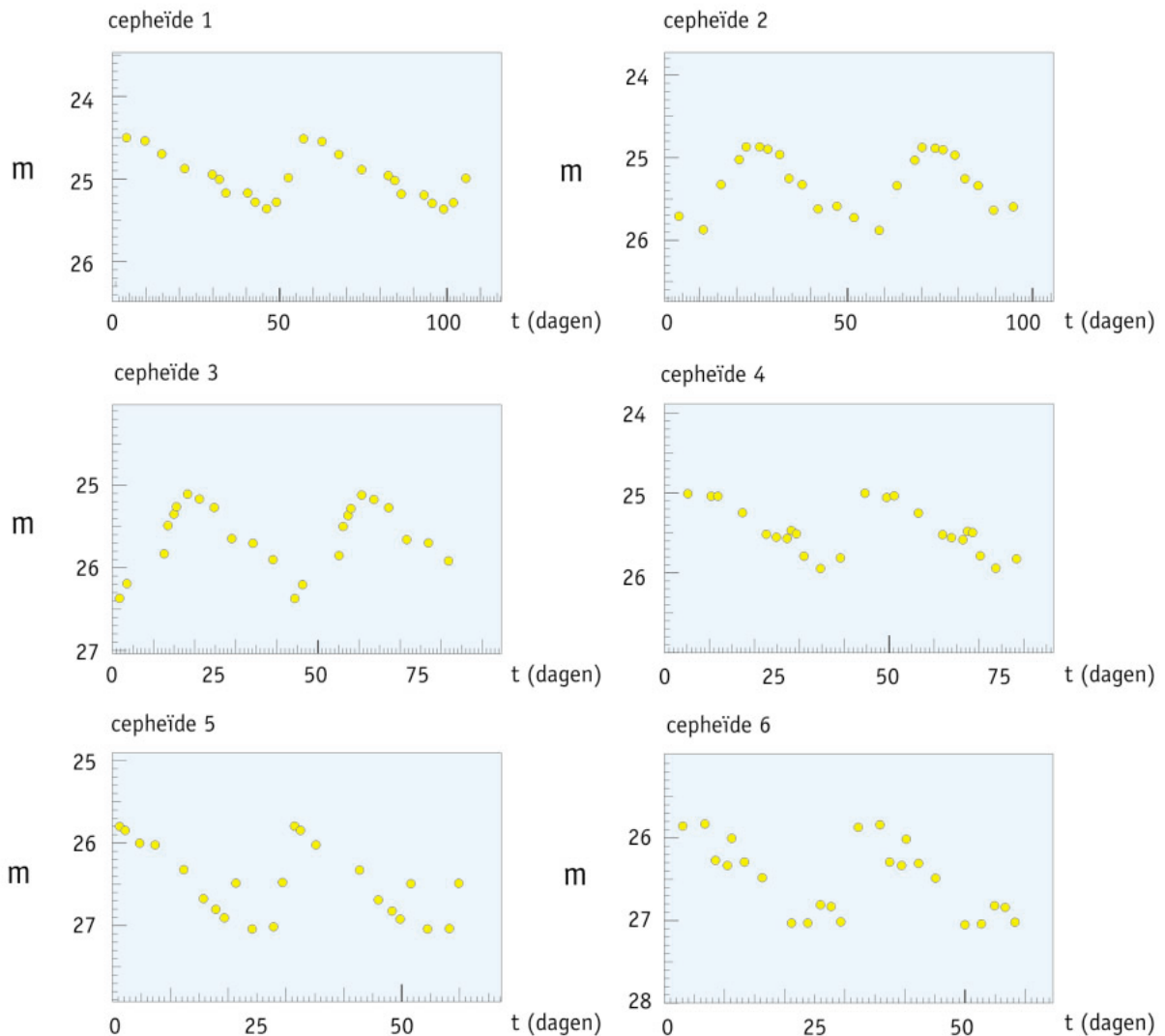
brengen, hebben sterrenkundigen er honderd jaar over gedaan om het eens te worden over wélke schijnbare helderheid, m , in de afstandsvergelijking van de cepheïden — die immers in helderheid variëren — moet worden gebruikt.

Opdracht 2

- ? Bedenk een methode om, met behulp van de lichtkrommen, de schijnbare helderheid van de cepheïden te schatten.

Begin 20ste eeuw maten de astronomen zowel de minimale schijnbare helderheid (m_{\min}) als de maximale schijnbare helderheid (m_{\max}), om vervolgens het gemiddelde van de twee ($\langle m \rangle$) te nemen.

Als je dat doet — of je eigen methode gebruikt — heb je alle gegevens die nodig zijn om de afstand tot M100 te berekenen.

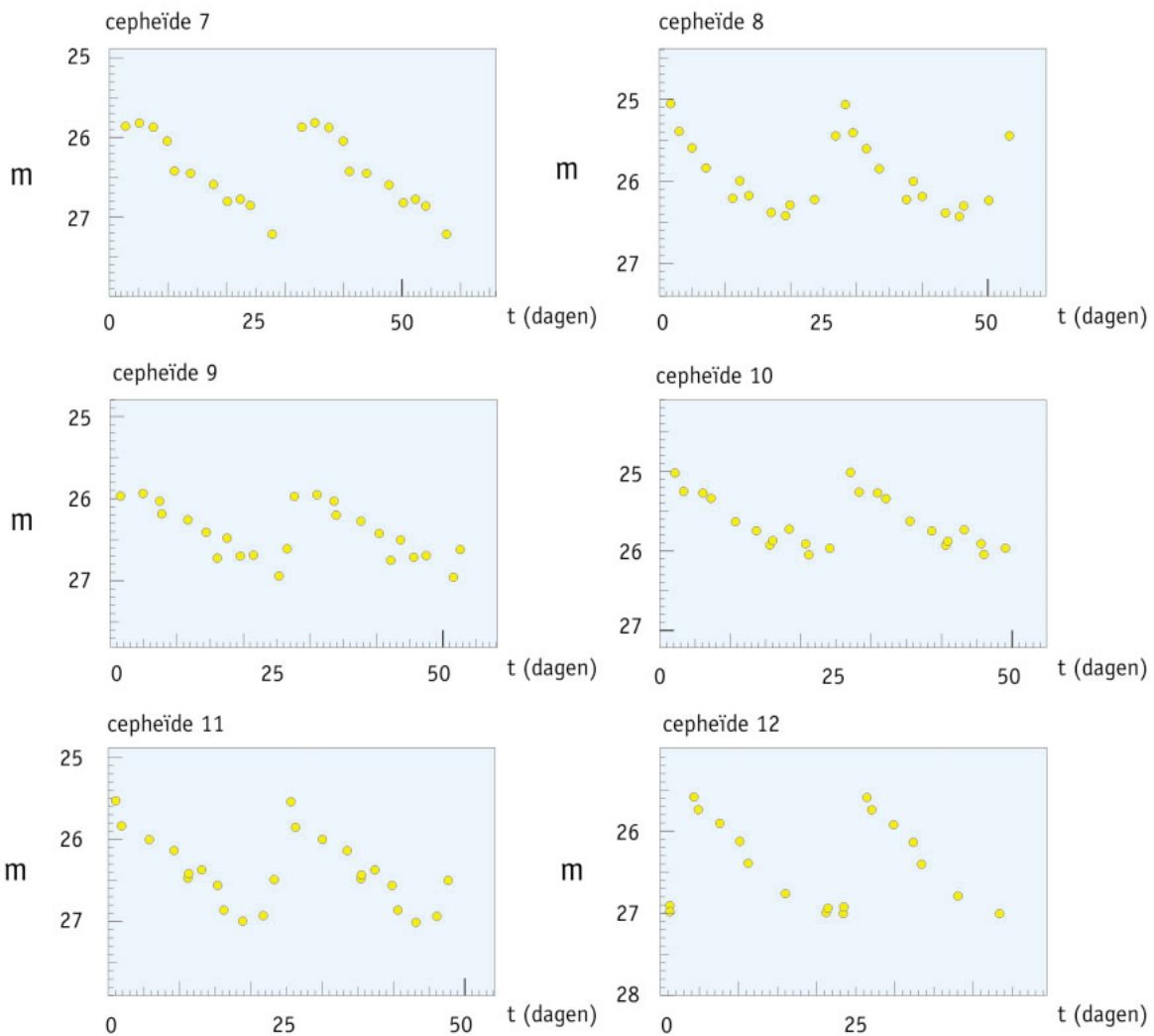


Figuur 10: Lichtkrommen van cepheïden

Hier afgebeeld zijn de lichtkrommen van de twaalf cepheïden in M100 die met de Hubble-telescoop zijn waargenomen. De absolute helderheid, M , van deze sterren kan uit hun periode worden afgeleid. (Grafieken gebaseerd op gegevens van Freedman et al. (1994)).



Opdrachten



Figuur 10 (vervolg): De lichtkrommen van cepheïden

Opdracht 3

- ? Bereken $\langle m \rangle$ en D (in Mpc) voor elk van deze cepheïden. Raadpleeg eventueel de 'Sterrenkundige Hulpmiddelen'.

Je kunt natuurlijk twaalf keer dezelfde berekening uitvoeren. Maar het is gemakkelijker om een klein programma voor je rekenmachine te schrijven of gebruik te maken van een spreadsheet op je computer.

Opdracht 4

- ? Bedenk redenen waarom je niet voor elke cepheïde dezelfde afstand vindt.

Opdracht 5

- ? Je hebt nu de afstanden van twaalf cepheïden in M100 bepaald. Heb je daarmee ook de afstand van M100 gevonden?



Opdrachten

- ? Zou het feit dat de twaalf sterren verschillende posities binnen M100 hebben de reden kunnen zijn dat ze niet allemaal dezelfde afstand hebben?
- ? Zoek uit hoe groot ons eigen Melkwegstelsel is (zoek dit bijvoorbeeld op in een sterrenkundeboek of kijk op het internet). Neem nu aan dat M100 ongeveer even groot is. Denk dan nog eens na over de vorige vraag.

Opdracht 6

- ? Bereken het gemiddelde van de afstanden van de twaalf cepheïden en beschouw de uitkomst als de afstand van M100.
- ? In het oorspronkelijke wetenschappelijke artikel over deze Hubble-metingen werd de afstand tot M100 gegeven als $17,2 \pm 1,8$ Megaparsec. Bij de bepaling van deze waarde werd rekening gehouden met de aanwezigheid van interstellair stof. Welke invloed heeft de extinctie van licht door dit stof op je uitkomst?

Opdracht 7

Zoals je nog eens in de inleiding kunt nalezen (blz. 5), kan uit de vluchtsnelheid, v , en de afstand, D , van een stelsel als M100 worden berekend hoe snel het heelal uitdijt. Hiertoe moet je de Hubble-constante H_0 — een getal dat wordt uitgedrukt in km/s/Mpc — berekenen. De vluchtsnelheid van de Virgo-cluster, waar M100 deel van uitmaakt, is vastgesteld op 1400 km/s (Freedman et al., 1994).

- ? Bereken met behulp van deze waarde voor v en het gemiddelde van je afstandsmetingen (D) de Hubble-constante.

Opdracht 8

- ? Stel nu eens dat de leeftijd van het heelal gelijk is aan $t = 1/H_0$, hoe oud is het heelal dan? Denk eraan dat je in de juiste eenheden rekt. (Tip: reken eerst Mpc om naar km!) Hoe veel ouder dan de aarde is het heelal dus (ongeveer)?



Literatuurverwijzingen

Wetenschappelijke artikelen

- Freedman, W.L., Madore, B.F., Mould, J.R., Ferrarese, L., Hill, R., Kennicutt, R.C., Jr., Saha, A., Stetson, P.B., Graham, J.A., Ford, H., Hoessel, J.G., Huchra, J., Hughes, S.M., en Illingworth, G.D., 1994, *Nature*, **371**, 757-762.: *Distance to the Virgo cluster galaxy M100 from Hubble Space Telescope observations of Cepheids.*

Zie ook de links op:

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



Colofon



EUROPEAN SOUTHERN OBSERVATORY
Education and Public Relations Service

**De sterrenkundepractica van ESA/ESO
Practicum 2: De afstand tot M100
bepaald met behulp van cepheïden
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

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 het Tycho Brahe Planetarium,
Denemarken, voor de inspiratie, aan Wendy Freedman
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

In dit practicum meten we de perioden en schijnbare helderheden van cepheïden in het melkwegstelsel M100. De absolute helderheden worden bepaald met behulp van de periode-lichtkrachtrelatie en de afstand tot M100 kan vervolgens worden berekend met behulp van de afstandsvergelijking. Ten slotte berekenen we een waarde voor de Hubble-constante (met behulp van een gegeven waarde voor de vluchtsnelheid van M100) en maken daaruit een schatting voor de leeftijd van het heelal.

Deze docentenhandleiding omvat oplossingen voor de verschillende vraagstukken, evenals uitleg bij de benaderingen en vereenvoudigingen die in dit practicum zijn gemaakt.

De hypothese dat het heelal sinds de oerknal met een constante snelheid uitdijt geldt, strikt genomen, slechts binnen bepaalde kosmologische modellen. Een dergelijke uitdijning is slechts mogelijk als het heelal weinig materie bevat, omdat de zwaartekracht van materie — zichtbaar en onzichtbaar — de uitdijning van het heelal afremt. Recente onderzoeksresultaten zeggen nog niets definitiefs over de uitdijningssnelheid van het heelal; de vergelijking die bij deze opdrachten wordt gebruikt is dus niet meer dan een eenvoudige, maar redelijke benadering.

Merk op dat, volgens recente kosmologische modellen, het heelal na een vijf miljard jaar durende periode van afnemende uitdijning (een gevolg van de aantrekkingskracht van donkere en normale materie) een versnellende uitdijning lijkt te ondergaan. Deze versnelde uitdijning lijkt het gevolg te zijn van een mysterieuze 'afstotende zwaartekracht' die ook wel 'donkere energie' of 'kwintessens' (het 'vijfde element') wordt genoemd. Het fijne hiervan is echter nog niet bekend.

Opdrachten 1, 2 and 3

Met behulp van de methode die in opdracht 2 wordt gesuggereerd en eenvoudige metingen met behulp van een liniaal vinden we de volgende resultaten (zie tabel).

cepheïde nummer	t ₂	t ₁	periode = t ₂ -t ₁	M	m max	m min	m gemiddeld	D Mpc	D gemiddeld Mpc
1	100,0	46,5	53,5	-6,15	24,50	25,30	24,90	16,25	19,85
2	58,5	11,0	47,5	-6,01	24,90	25,90	25,40	19,15	
3	61,0	18,5	42,5	-5,88	25,10	26,40	25,75	21,15	
4	74,0	35,0	39,0	-5,77	25,00	25,95	25,48	17,77	
5	50,0	19,0	31,0	-5,50	25,80	27,05	26,43	24,22	
6	50,0	21,0	29,0	-5,42	25,80	27,10	26,45	23,61	
7	35,0	4,5	30,5	-5,48	25,80	27,20	26,50	24,85	
8	46,0	19,0	27,0	-5,33	25,05	26,40	25,73	16,25	
9	31,0	5,0	26,0	-5,28	25,90	27,00	26,45	22,22	
10	27,0	2,5	24,5	-5,21	25,00	26,10	25,55	14,20	
11	43,0	19,0	24,0	-5,19	25,55	27,00	26,28	19,61	
12	38,0	16,0	22,0	-5,08	25,60	27,00	26,30	18,90	

Omdat M100 heel ver weg is, voldoen andere methoden (zoals bijvoorbeeld het plotten van het m-P-diagram) niet goed. We hebben ervoor gekozen om de periode-lichtkrachtrelatie als gegeven in te brengen, in plaats van deze door de leerlingen zelf te laten afleiden. Hierdoor is dit practicum toegankelijk voor een grotere groep leerlingen — wat een voordeel kan zijn.



Voor de leerkracht

Opdracht 4

De belangrijkste oorzaak van afwijkingen in de resultaten is eenvoudig de gebruikelijke meet-(on)nauwkeurigheid. Dit soort handmatige metingen zijn nooit erg nauwkeurig. De betrouwbaarheid van de resultaten kan worden verbeterd door geavanceerdere meetmethoden te gebruiken. Een andere oorzaak kan zijn dat er verschillende soorten cepheïden zijn, met enigszins afwijkende eigenschappen.

Opdracht 5

Ja, op basis van deze (tamelijk) grote steekproef van cepheïden, kunnen we een redelijke schatting voor de afstand van M100 maken.
Nee, de afmetingen van een melkwegstelsel zijn klein vergeleken met de afstand tot M100. Ons eigen Melkwegstelsel is ongeveer 25 kpc groot. Het antwoord op de vorige vraag is en blijft dus 'nee'.

Opdracht 6

Met behulp van de ruwe methode in dit practicum is een uitkomst van 19,85 Mpc heel acceptabel. De vraag is gesteld teneinde de leerlingen ervan te doordringen dat onzekerheden tot de vaste ballast van de exacte wetenschappen, en met name die van de astronomie, behoren. Door de aanwezigheid van stof (extinctie) vinden we een grotere waarde van m en dus een te grote afstand!

Opdracht 7

$$H_0 = v/d = 1400/19,85 = \mathbf{70,53 \text{ km/s/Mpc}}$$

Deze uitkomst is heel acceptabel. Algemeen wordt aangenomen dat H_0 tussen de 60 en 80 km/s/Mpc ligt.

Opdracht 8

Met behulp van de omzettingsfactor van Mpc naar km, vinden we $H_0 = 2,286 \times 10^{-18} \text{ s}^{-1}$. En dus:

$$t = 1/H_0 = 4,375 \times 10^{17} \text{ s} = \mathbf{13,87 \text{ miljard jaar}}$$

Dit is ongeveer driemaal de leeftijd van de aarde (ca. 4,6 miljard jaar). Deze vraag werd gesteld, om de leerlingen in staat te stellen de leeftijd van het heelal te vergelijken met iets dat mogelijk al bekend was.

www.astroex.org

