

Sleutelontdekkingen in de sterrenkunde

VENDELINUS 14-6-2025

pp: Josiane Claesen

Bron: Zenit

Sleutel 1

Bestudering van de fysica van sterren
en de interstellaire materie is alleen
mogelijk dankzij telescopen.

Nieuwe inzichten

- Sommige sterrenkundige inzichten zoals de samenstelling en energiebron van sterren, en het bestaan van sterrenstelsels zijn van vrij recente datum. Voor 1938 wist geen astronoom waar een ster zijn energie vandaan haalt.
- Waarnemingen buiten de aardse atmosfeer met ruimtesondes en ruimtetelescopen hebben compleet nieuwe vensters op het heelal geopend.
- Het begrijpen van de opbouw van het heelal werd pas goed mogelijk na de uitvinding van de telescoop → Hans Lipperhey in 1608.

NGC 6559

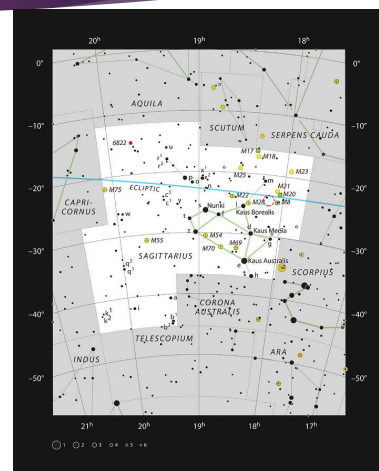
Bestudering v/d fysica van sterren en de interstellaire materie alleen mogelijk dankzij telescopen!



Emissienevel in Boogschutter

Ontdekt in 1826 door Herschel

Afstand 5000 lj



Sleutel 2

Door de draaiing van de aarde rond de zon ondergaan sterren op niet al te grote afstanden een kleine jaarlijkse schijnbare verplaatsing (parallax) aan de hemel tov achtergrondsterren.

Geocentrisch - Heliocentrisch

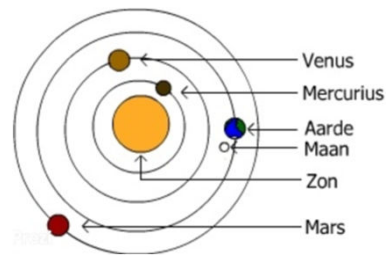
- ▶ In de oudheid was er geen vraag naar de afstand van sterren -> ze behoorden tot de hemelse sferen en waren vastgeprikt op een kristallen bol.
- ▶ Geocentrisch wereldbeeld! (Aristoteles, Ptolemaeus)
- ▶ Galileo -> introductie van de telescoop in de sterrenkunde
- ▶ Leverde sterke argumenten voor Heliocentrisch wereldbeeld. (in de eeuw ervoor voorgesteld door Copernicus)
- ▶ Bewegingswetten planeten door Kepler, zich baserend op waarnemingen van Tycho Brahe ondersteunden heliocentrisch heelal*
- ▶ Friedrich Bessel in 1838 boekte succes met meten van parallax van 61 Cygni, van $0,31''$ = afstand van 11 lj

Het wereldbeeld verandert

Van Geocentrisch

naar

Heliocentrisch



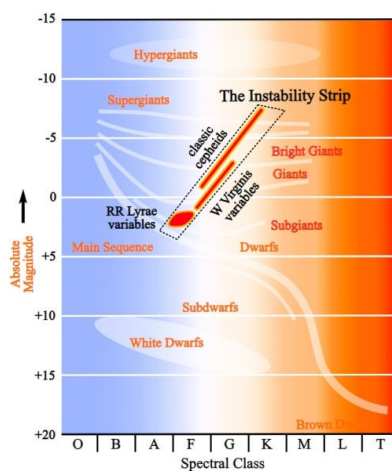
Sleutel 3

De periode-lichtkracht relatie van cepheïden in de Magelhaense Wolken.

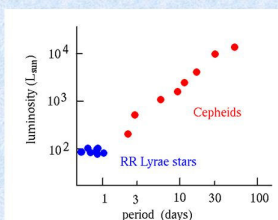
Belangrijke mijlpaal

- ▶ 1912: Henrietta Swan Leavitt ontdekt dat bij cepheiden de periode van helderheidswisseling samenhangt met de absolute helderheid.
- ▶ Hieruit valt gemakkelijk de afstand te bepalen!
- ▶ -
- ▶ 1913: Hertzsprung en Russell ontdekken dat de kleur van sterren samenhangt met de absolute helderheid -> Hertzsprung-Russel Diagram
- ▶ -
- ▶ 1929: ontdekking van roodverschuiving (door uitdijing van het heelal) van sterrenstelsels en hun afstand (Edwin Hubble)

Afstandsbepaling sterren



Cepheiden en RR Lyrae sterren als afstandsmeter



Als je de periode van de ster meet, dan weet je ook zijn lichtkracht.

Als je dan ook de helderheid meet kun je bepalen hoe ver deze ster weg is.

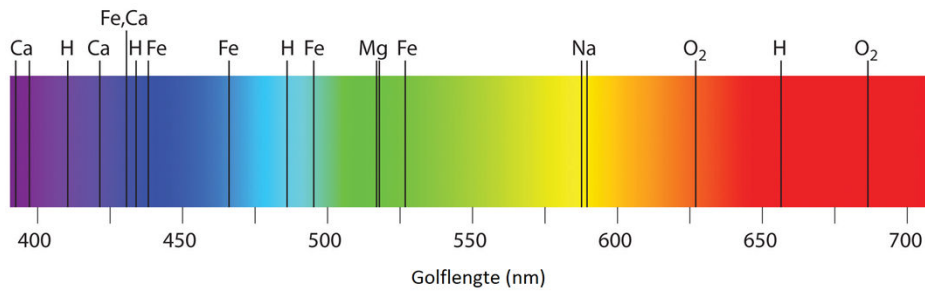
Sleutel 4

Het visuele deel van het zonnenspectrum met donkere absorptielijnen en de bijbehorende scheikundige elementen.

Spectroscopie doet de intrede

- ▶ William Wollaston legde de basis voor de spectroscopie. Hierop bouwde Joseph von Fraunhofer verder en nam in 1814 het zonnenspectrum gedetailleerd waar.
- ▶ -
- ▶ De donkere lijnen kregen later hun betekenis als vingerafdrukken van de elementen (door Kirchhoff en Bunsen in 1859).
- ▶ -
- ▶ Uit sterspectra werd vastgesteld dat sterren een vergelijkbare samenstelling hebben als de Zon
- ▶ -
- ▶ Pas in 1925 toonde Cecilia Payne aan via sterspectra dat steratmosferen grotendeels bestaan uit waterstof en helium, anders dan de aarde dus

Fraunhoferlijnen



Sleutel 5

Supernovaresten als de Krabnevel markeren het einde van zware sterren en verspreiden zware elementen in het heelal waaruit wijzelf gemaakt zijn.

Energie van de zon 1

- ▶ Oudheid: de zon werd geacht een eeuwig vuur te zijn
- ▶ -
- ▶ Dan werd gedacht dat de zon van steenkool gemaakt was en zo'n 4000 jaar zou branden -> geologische processen op aarde spraken dat tegen
- ▶ -
- ▶ 1854: Hermann von Helmholtz stelt gravitatie van de zon voor als energiebron. Hierdoor zou ze 20 miljoen jaar branden.
- ▶ Leeftijd van de aarde lag echter al vast op honderden miljoenen jaren!
- ▶ -
- ▶ Pas in 1920: Artur Eddington kwam met de theorie dat fusie van atoomkernen de gezochte energie zou kunnen leveren.

Energie van de zon 2

- ▶ 1938: Hans B  the ontdekt dat omzetting van 4 protonen (waterstofkernen) in een heliumkern voldoende energie levert om de zon te doen branden
- ▶ -
- ▶ In zware sterren fungeren koolstof-, stikstof- en zuurstofkernen als katalysator bij het omzetten van waterstof in helium (CNO-cyclus).
- ▶ Deze CNO-cyclus werd ontdekt door Carl Friedrich von Weiz  cker in 1938
- ▶ -
- ▶ Zwaardere elementen verspreiden zich door de interstellaire ruimte en fungeren als bouwstof voor nieuwe sterren en planeten.

Wij bestaan uit sterrenstof

- ▶ 1957: Geoffrey en Margaret Burbidge, William Fowler en Fred Hoyle beschreven deze processen en toonden daarmee aan dat wij gemaakt zijn van sterrenstof.
- ▶ Tegelijkertijd kregen sterrenkundigen meer inzicht in het ontstaan en de levensloop van sterren.

Zwaartekracht

- ▶ Kepler bepaalde uit waarnemingen van Tycho Brahe dat de planeten in ellipsen rond de zon bewegen
- ▶ Galileo Galileï nam waar dat zware en lichte voorwerpen even snel vallen
- ▶ Simon Stevin deed deze ontdekking al in 1584, eerder dan Galileo dus!
- ▶ Isaac Newton werkte de theorie uit in 1687 in zijn vier bewegingswetten. Zijn vierde wet (gravitatiewet) (objecten met massa trekken elkaar aan) leidde hij af van uit Keplers' ellipsbanen van de planeten -> grondslag gelegd voor klassieke mechanica
- ▶ 1915: Albert Einstein ontwikkelde in zijn algemene relativiteitstheorie de beschrijving van de zwaartekracht als de kromming van ruimte en tijd

Sleutel 6

Voorstelling van het Melkwegstelsel op basis van data van de astrometriesatelliet Gaia.

Het Melkwegstelsel

- ▶ 1610: Galileo Galilei zag door zijn telescoop dat de Melkweg uit talloze sterren bestond
- ▶ 1785: William Herschel voerde stertellingen uit en beschreef de Melkweg als een platte schijf
- ▶ 1918: Harlow Shapley bepaalde ahv cepheïden in bolhopen dat die zich leken te groeperen rond een ver punt in de richting van het sterrenbeeld Sagittarius
- ▶ 1930: Robert Trumpler stelt vast dat in het Melkwegvlak interstellair stof het zicht belemmert
- ▶ 1951: met de opkomst van de radiosterrenkunde werd de spiraalstructuur van het Melkwegstelsel duidelijk (Jan Oort en student Henk v/d Hulst)

Het Melkwegstelsel door Gaia



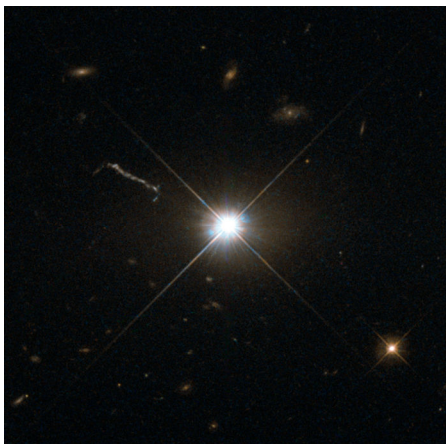
Sleutel 7

Het heelal wordt bevolkt door sterrenstelsels.

Het heelal wordt groter

- ▶ Door stertellingen in 1922 kwam Jacobus Kapteyn tot een afmeting van 40.000 lichtjaar (Melkweg)
- ▶ 1923: Edwin Hubble eindigde het debat over de vele waargenomen 'nevels' door cepheïden op te sporen in de Andromedanevel, hij kwam daarmee op een afstand van 900.000 lichtjaar
- ▶ 1963: Maarten Schmidt merkte dat de quasar 3C 273 een zeer grote roodverschuiving vertoont (uitdijing v/h heelal) en zich met een ongelooflijke snelheid van 43.752 km/sec van ons verwijdt, op een afstand van 2 miljard lichtjaar!

Een vreemd object



Het beste beeld van quasar 3C 273

Gemaakt door HST

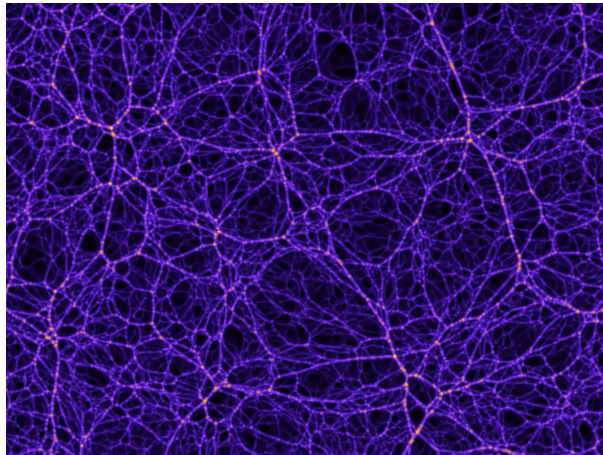
Sleutel 8

Computersimulatie van het kosmisch web.

Een grote ontdekking

- ▶ AL het vorige bijeen genomen en in een straffe computer gestoken. Dan hebben we 10.000 computers laten rekenen!
- ▶ **Het kosmisch web:** Het kosmisch web is een netwerk van filamenten en bladeren dat de grootschalige structuur van het heelal definieert. Deze structuren zijn samengesteld uit intergalactisch gas en donkere materie.
- ▶ **Computersimulaties:** Wetenschappers gebruiken computersimulaties om het kosmisch web te bestuderen en te begrijpen hoe het gevormd is en hoe het evolueert. Deze simulaties zijn driedimensionaal en geven een realistisch beeld van de grootschalige structuur van het heelal.
- ▶ **Stervorming:** Op de knooppunten van de filamenten, waar de dichtheid het hoogst is, ontstaan sterrenstelsels.

Het kosmisch web



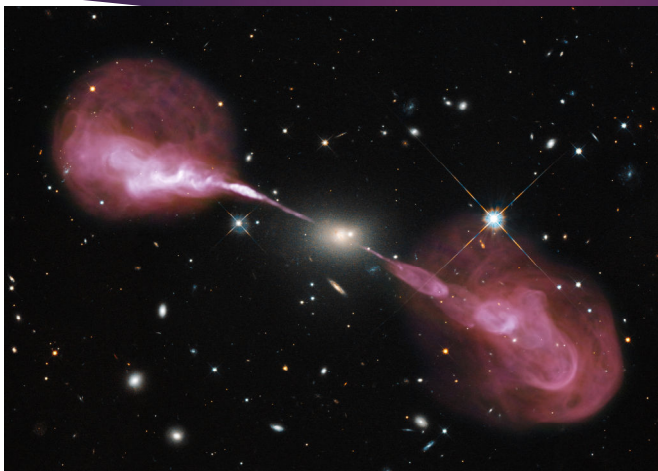
Sleutel 9

Combinatie van een visueel beeld en een radio-opname van het radiosterrenstelsel Hercules A.

Het heelal is veranderlijk

- ▶ Edwin Hubble zeer productief. Met de toenmalige grootste kijker ter wereld (Hooker telescoop Mount Wilson 2,5 m) stelde hij vast dat sterrenstelsels zich met toenemende afstand evenredig sneller van ons verwijderen
- ▶ Georges Lemaître deed dat zelfs nog vóór Hubble (een relatie tussen de verwijderingssnelheid van sterrenstelsels en hun afstand -> het heelal dijt uit -> het bleek veel groter te zijn dan tot dan toe gedacht!
- ▶ Fred Hoyle verzette zich daartegen
- ▶ Genadeklap voor zijn ongelijk kwam met de ontdekking van de 3K kosmische achtergrondstraling (Arno Penzias & Robert Wilson in 1964)
- ▶ De afmetingen van het waarneembare en 13,8 miljard jaar oude heelal schatten we nu op +/- 90 miljard lichtjaar

We zien meer en meer



Hercules A

Een beeld ervan door de Hubble Space Telescope + Very Large Array (VLA) radio telescope in New Mexico

In zichtbaar licht is enkel het ovaal sterrenstelsel te zien, met Radio komen ook de lobben tevoorschijn.

Sleutel 10

De gemeten rotatie van het sterrenstelsel M33 neemt niet af bij toenemende afstand tot het centrum.

Zonder donkere materie zou je verwachten dat de draaisnelheid wel zou afnemen.

Nog meer raadsels

- ▶ 1930: Fritz Zwicky stelde vast dat sterrenstelsels in de Comacluster zeer snel bewegen -> cluster zou al lang uit elkaar gevallen moeten zijn
- ▶ Er moest onzichtbaar materiaal zijn met extra zwaartekracht -> donkere materie
- ▶ Later nog meer aanwijzingen voor donkere materie -> zwaartekrachtlenzen door clusters van sterrenstelsels, hoeveelheid deuterium in het heelal en geringe temperatuurfluctuaties in de kosmische achtergrondstraling
- ▶ Aard ervan is onbekend (meeste kosmologen houden het op onbekende elementaire deeltjes (WIMPS))
- ▶ Nog meer vragen roept de ontdekking van Saul Perlmutter, Adam Riess en Brian Schmidt op in 1998: de uitdijing van het heelal versnelt in de loop van de tijd -> donkere energie

Mooie beelden



M33



Coma cluster

Sleutel 11

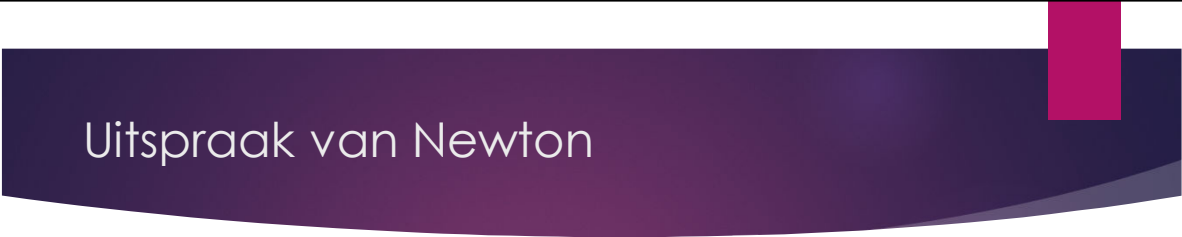
Selfie van de rover Perseverance
op Mars.

Selfie van Perseverance



Een grote revolutie

- ▶ Uitvinding van de telescoop is a big thing in geschiedenis van de sterrenkunde
- ▶ Kan ook gezegd worden van de ruimtevaart -> we zijn ver verwijderd van de lancering van Spoetnik 1
- ▶ Er zijn totaal nieuwe vensters op het heelal geopend: infrarood, ultraviolet, röntgen, gammastraling. Ruimtetuigen werden gelanceerd en hadden zo geen last van de aardse dampkring
- ▶ Ook in het zonnestelsel werden talloze hemellichamen bezocht of onderzocht door ruimtetuigen.
- ▶ 1995: Michel Mayor en Didier Queloz ontdekten voor het eerst een planeet rond een andere ster



Uitspraak van Newton

We mogen nooit vergeten dat we verder kunnen zien omdat we op de schouders van reuzen uit het verleden staan!