Op weg naar het Oneindige



aar. Ind.
. Gen.
41.

Dr. K. A. E. Wallenquist

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

PERPUSTAKAAN NASIONAL

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

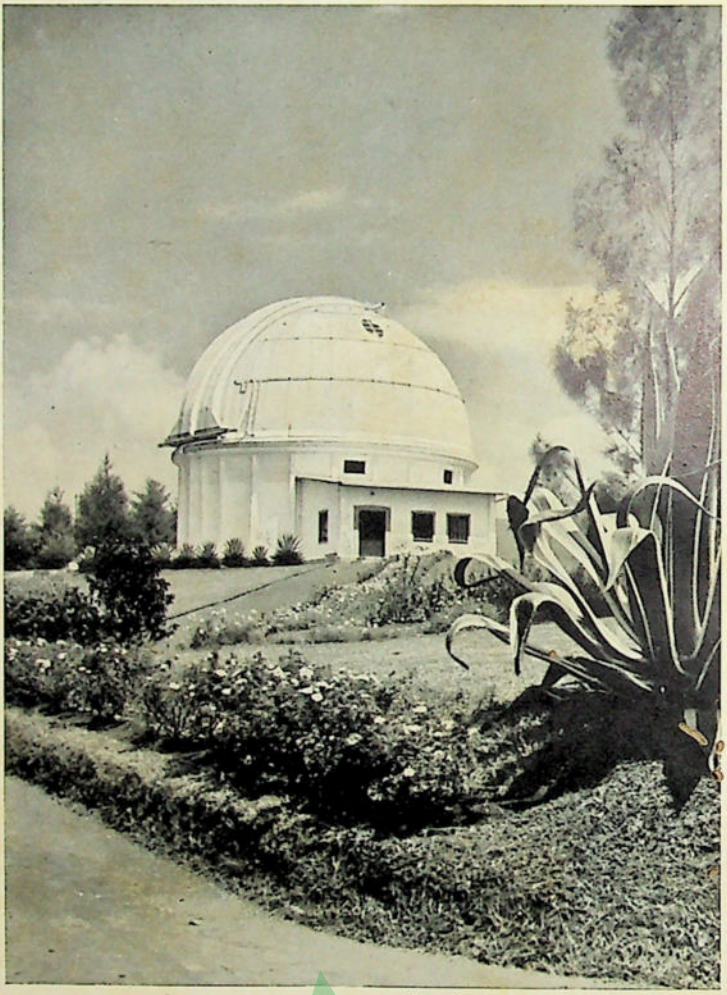
OP WEG NAAR HET ONEINDIGE.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Plaat I.



(Foto Kreuger & Austermühle, Bandoeng).

De Bosscha-Sterrenwacht te Lembang.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

V-141.-

OP WEG NAAR HET ONEINDIGE

PROEVE EENER BEKNOPTE BESCHRIJVING VAN DE NIEUWE VOORSTELLINGEN OVER DEN BOUW DER HEMELLICHAMEN - EN VAN HET HEELAL -

DOOR

Dr. Å. A. E. WALLENQUIST,

Docent in de astronomie aan de Universiteit te Uppsala (Zweden), tijdelijk astronoom aan de Bosscha-Sterrenwacht te Lembang (Java).

PERPUSTAKAAN NASIONAL ...

UITGAVE BOSSCHA STERRENWACHT
LEMBANG (JAVA)
1934.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA
K. EN W.

REPR... ...AL R.I.
Tang... : 29-6-2016
Nomor ... : 236/PN-Museum/16
BIB - ID : 7167760
TEM - ID : 21203745
Asal : ...usat

GEDRUKT BIJ GEBROEDERS KLEIJNE & Co. N.V. TE BANDOENG.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

OPGEDRAGEN AAN

DE NEDERLANDSCH-INDISCHE STERRENKUNDIGE VEREENIGING

EN

DE BOSSCHA STERRENWACHT, LEMBANG (JAVA).

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

INLEIDING.

„Het bestudeeren der eeuwige dingen is de vreugde des levens".

J. VOÛTE.

Het is niet moeilijk een uitvoerig boek over sterrenkunde te schrijven: er is stof genoeg en die stof in boekvorm om te zetten is uitsluitend een kwestie van tijd. Daar de sterrenkunde zich evenwel in een toestand van snelle ontwikkeling bevindt — nieuwe ontdekkingen, nieuwe theorieën en nieuwe vraagstukken volgen elkaar op in een vlug tempo — is het intusschen een zeer moeilijke taak dit onderwerp binnen de grenzen van een beknopt boek te behandelen.

Dit boekje is een poging om een beknopt en populair overzicht te geven van de meest belangrijke ontdekkingen en gezichtspunten der moderne astrophysica, maar het maakt in geenerlei opzicht aanspraak op volledigheid.

Het is natuurlijk bij een populaire verhandeling een gevaar, dat het materiaal eenigszins subjectief beschouwd wordt. Ofschoon getracht is geen van de meest belangrijke onderwerpen te verwaarloozen, zal misschien een objectief beoordeelaar vinden, dat eenige vraagstukken te beknopt, terwijl andere (speciaal dan op het gebied, waarop de schrijver zelf werkzaam is) weer te uitvoerig beschreven zijn.

Ook wanneer dergelijke tekortkomingen mochten voorkomen, hoop ik toch, dat het boekje dienst zal doen als een algemeene oriënteering op modern astrophysisch gebied.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Het is mij een aangename plicht om hier mijn hartelijken dank te betuigen aan den heer G. SEUBRING, Bandoeng, en tevens aan anderen mijner Hollandsche vrienden voor de hulp, die zij verleend hebben bij de verbetering van mijn Hollandsch manuscript en bij het corrigeeren der drukproeven.

Bosscha-Sterrenwacht, Lembang (Java)
Mei 1934.

Å. W.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

I. HET ZONNESTELSEL.

„Het ware beter, indien men de grootheid en macht der natuur beschouwde met ontzag en eerbied, daar zij ons telkens weer herinnert, door het te voorschijn tooveren van nieuwe scheppingsverschijnselen, aan het vele dat nog steeds verborgen ligt."

CHRISTIAAN HUYGENS.

Onze Aarde behoort tot een groep donkere hemellichamen, die alle door de geweldige aantrekkingskracht der Zon tot een eendrachtig stelsel, het *planetenstelsel*, tezamen gehouden worden. De deelen van het planetenstelsel verschillen onderling aanzienlijk in voorkomen en afmeting. Zij kunnen echter in drie groepen gerangschikt worden: de hoofdplaneten, de kleine planeten of planetoïden en de kometen.

Van de hoofdplaneten zijn er tot nog toe negen bekend. Zij zijn alle donkere bollen, die rondom de Zon als centraallichaam wentelen in min of meer cirkelvormige banen, welke nagenoeg in hetzelfde vlak liggen, dat ongeveer met den zonsaequator samenvalt.

Al naar de grootte, physische gesteldheid en afstand tot de Zon onderscheidt men bij de planeten twee afzonderlijke groepen. De vier binnenste planeten (Mercurius, Venus, Aarde en Mars) vormen één groep, de planeten der aardgroep of de dwergplaneten, die onderling vele gemeenschappelijke trekken vertoonen; het zijn betrekkelijk kleine hemellichamen van groote dichtheid, die vaste korsten hebben en waarvan alle, behalve Mercurius, door een dampkring

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

omgeven zijn. De vier buitenplaneten (Jupiter, Saturnus, Uranus en Neptunus) vormen de groep der reuzenplaneten. Zij hebben kolossale afmetingen in vergelijking met die der dwergplaneten, geringe dichtheden, snelle aswentelingen, geen vaste korsten en hebben bovendien in 't algemeen een groot aantal wachters. Een afzonderlijke plaats neemt ten slotte de in 1930 ontdekte buitenste planeet Pluto in, die waarschijnlijk meer verwant is aan de planeten der aardgroep.

* * *

1. De Aarde.

De door ons bewoonde planeet, de Aarde (of *Tellus*), is de derde in ons zonnestelsel van de Zon af gerekend. Zij is een nagenoeg bolvormig hemellichaam met een aequatormiddellijn van ruim 12.750 km en een gewicht of massa van 6×10^{21} ton. *) De aardbol heeft tot op een diepte van ongeveer 1 % van den aardstraal een vaste korst, die grootendeels uit kiezel bestaat. Vulkanische werkingen op onze planeet toonen aan, dat haar inwendige zeer heet moet zijn; met behulp van diepe boorgaten heeft men bovendien gevonden, dat de temperatuur geleidelijk aan toeneemt met 1° C. bij iedere 30 tot 40 meter die men dieper dringt. Reeds op eene diepte van ± 60 km onder de oppervlakte moet dus eene temperatuur van 2000° C. heerschen. Tegelijkertijd met de diepte neemt ook de druk toe. In 't middelpunt der Aarde is derhalve niet alleen de temperatuur maar ook de druk ontzaglijk hoog. De ware toestand der diepere lagen van den aardbol is niet met zekerheid bekend, maar uit verschijnselen, die zich bij aardbevingen voordoen, is men toch tot de conclusie gekomen,

*) 10^2 beteekent $10 \times 10 = 100$; $10^3 = 10 \times 10 \times 10 = 1000$ enz.; $10^{21} =$ 1000 . . . . . 0 (21 nullen).

Op dezelfde wijze beduidt $10^{-1} = 0{,}1$; $10^{-2} = 10^{-1} \times 10^{-1} = 0{,}01$ enz.; $10^{-21} = 0{,}0000 \ldots 01$ (21 nullen).

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

dat de kern van de Aarde onder den invloed van den ontzettenden druk, waaraan hare bestanddeelen in de diepte onderworpen zijn, zich niettegenstaande de enorme temperatuur als een vast lichaam van groote elasticiteit gedraagt.

De aardbol is verder door een dampkring omgeven, die, daar zij het vermogen bezit de zonnewarmte vast te houden en te conserveeren, een beschermend omhulsel vormt tegen de koude van het Heelal. De hoogte van den dampkring kan men niet nauwkeurig aangeven, daar hij langzamerhand in de leegte van de wereldruimte overgaat, maar sporen ervan worden nog aangetroffen op een hoogte van meer dan 1000 km.

Met een gelijkmatige hoeksnelheid draait de Aarde om haar poolas van 't Westen naar 't Oosten om de omwenteling in 24 uren te voltooien, waardoor de regelmatige wisseling van dag en nacht tot stand komt. Met een snelheid 1200 maal zoo groot als die van een expresstrein beschrijft zij bovendien in den tijd van een jaar een bijna cirkelvormige loopbaan rondom de Zon op een gemiddelden afstand van 149.500.000 km. Aangezien de aardas niet loodrecht op het baanvlak („de ecliptica") staat, doch een hoek van $66^1/_2°$ met dit vlak maakt, wordt de hoek, waaronder de zonnestralen de aardoppervlakte snijden, tijdens de jaarlijksche beweging der Aarde rondom de Zon veranderd, welke omstandigheid de opeenvolgende wisselingen van de jaargetijden in de gematigde luchtstreken tengevolge heeft.

Het ontstaan der Aarde heeft waarschijnlijk meer dan 3000 millioen jaren geleden plaats gehad. Het vormingsproces en de ontwikkeling der Aarde tot haar tegenwoordige gedaante is niet met zekerheid na te gaan. De theoretische beschouwingen over dit belangrijke vraagstuk zijn zeer uiteenloopend en de strijd gaat voornamelijk over de vraag of de aardbol bij een geweldige catastrophe vanuit de Zon is weggeslingerd,

PERPUSTAKAAN NASIONAL
PERPUSTAKAAN NASIONAL RI.

dan wel zich, tezamen met het geheele zonnestelsel, geleidelijk uit een chaotischen oernevel heeft ontwikkeld. De theoretische onderzoekingen van BERLAGE wijzen erop, dat laatstgenoemd ontwikkelingsproces der Aarde en der planeten uit een embryonalen neveltoestand wel mogelijk zou kunnen zijn voor zoover het electrische veld van de Zon ook in aanmerking genomen wordt.

Gedurende de eerste tienduizend jaren van haar bestaan was de Aarde waarschijnlijk een gloeiende gasbol met een aswenteling van 4 uur. Op dezen gasvormigen of gedeeltelijk gloeiend-vloeibaren bol zijn door den invloed van de aantrekkingskracht der Zon ontzaglijke getijden ontstaan, waardoor de oppervlakte in een toestand van periodieke schommelingen geraakte. Tengevolge van het verschijnsel der resonantie werden de trillingen steeds heftiger, totdat tenslotte een catastrophe plaats greep, waarbij de top van een reusachtigen vloedberg werd weggeslingerd. Dit brokstuk van de Aarde vormde na de splijtingscatastrophe een zelfstandig hemellichaam, dat langzamerhand een bolvormige gedaante aannam en dat door den invloed der aantrekkingskracht der Aarde gedwongen werd een loopbaan rondom haar te beschrijven: zoo ontstond de Maan, de trouwe wachter der Aarde.

Ook de Maan had oorspronkelijk een snelle aswenteling, maar door de getij-wrijvingen, die door de aantrekkingskracht der Aarde op de Maan ontstonden, werd haar aswenteling geremd: de Maan draaide steeds langzamer tot tenslotte haar omwentelingstijd evenredig werd aan haar omloopstijd rond de Aarde en zij dus onze planeet steeds hetzelfde halfrond toewendde. Tegelijkertijd groeide haar afstand tot de Aarde, totdat de tegenwoordige grootte bereikt werd. De Maan koelde tengevolge van haar geringe volume snel af en een vaste korst vormde zich op de oppervlakte.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Na de zooeven beschreven catastrophe bleken de toestanden op de aardoppervlakte wat rustiger te zijn geworden. De oppervlakte koelde af en geleidelijk werd de aardbol door een vaste korst omgeven; daarna verdichtte zich de waterdamp in den dampkring en vormden zich de oceanen. Waarschijnlijk is de vaste aardkorst reeds eenige milliarden jaren geleden gevormd. Eenige honderden millioen jaren geleden verscheen voor het eerst het organische leven op de jonge planeet, terwijl aanmerkelijk veel later (eenige honderduizend jaren geleden) het organische leven der Aarde de menschelijke intelligentie bereikte.

* * *

2. De Maan.

De Maan is onze allernaaste buur in de wereldruimte met een gemiddelden afstand van slechts 384.000 km of ruim 60 aardstralen. Zij is een donker hemellichaam, dat ons alleen teruggekaatst zonlicht toezendt. Gedurende haar beweging rondom de Aarde waarbij zij, zooals reeds gezegd is, steeds dezelfde zijde naar ons toekeert, zien wij een meer of minder groot gedeelte van haar oppervlakte verlicht, waardoor de Maan zich in een regelmatige wisseling van schijngestalten of phasen vertoont. Het tijdsverloop tusschen twee overeenkomstige schijngestalten is $29^1/_2$ dag („synodische maand"), terwijl haar omloopstijd ten opzichte van de sterren $27^1/_3$ dag bedraagt („siderische maand").

Daar het volume der Maan $^1/_{50}$ en haar gewicht slechts ongeveer $^1/_{80}$ van dat der Aarde bedraagt, is haar soortelijk gewicht minder dan dat van de Aarde en nagenoeg hetzelfde als dat van de aardkorst, welke omstandigheid voor de tevoren geschetste ontstaanswijze van de Maan pleit.

Reeds met het bloote oog kan men op de Maan donkere en lichte vlekken onderscheiden. De donkere vlekken, die over de geheele maanoppervlakte verspreid zijn, worden

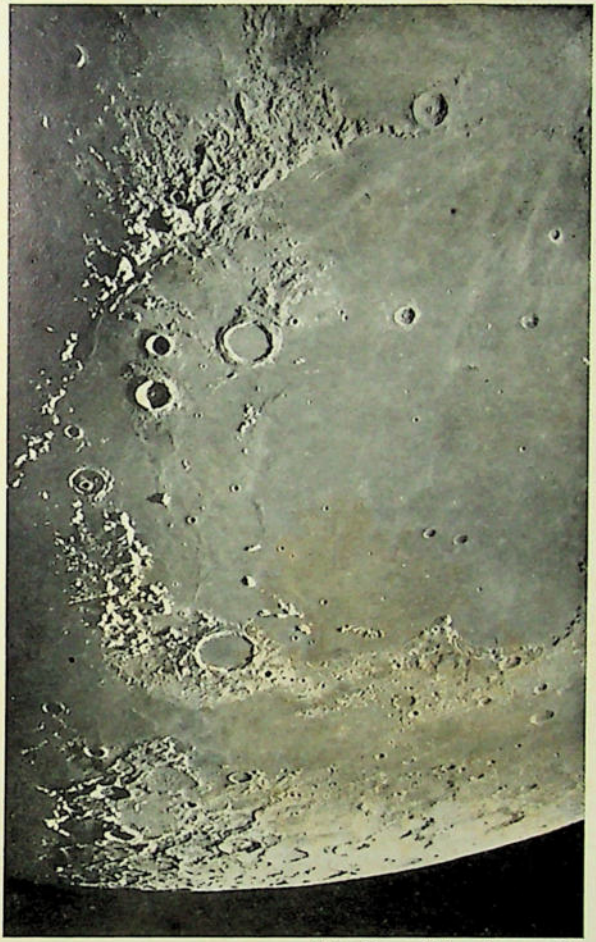
PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

van oudsher *zeeën* (of „Mare") en de lichte vlekken continenten genoemd, hoewel zij in het geheel niets te maken hebben met hetgeen wij hier op Aarde daaronder verstaan. Door een kijker gezien vertoont de maanoppervlakte een enorme hoeveelheid details en door de grootste kijkers kunnen wij onder gunstige omstandigheden voorwerpen van de afmetingen der pyramiden onderscheiden. Met behulp der fotografie hebben wij bij maanonderzoekingen een zeer uitgebreide kennis van de topographische gesteldheid van haar oppervlakte verkregen, zoodat vele streken op Aarde zelfs nog minder bekend zijn dan de maanoppervlakte.

De donkere vlekken zijn in werkelijkheid uitgestrekte laagvlakten, wier ruwe oppervlakte door lage bergruggen van aanzienlijke lengten zijn doorsneden. Zij zijn vaak door geweldige randgebergten omgeven (*Plaat II*). De hooggebergten der Maan zijn meestal geen echte plooiïngsketens, zooals die, welke op de Aarde voorkomen, doch zij vormen een buitengewoon ingewikkeld complex van afzonderlijke toppen, door een doolhof van woeste dwarsdalen en diepe ravijnen van elkander gescheiden. De toppen der maanbergen verheffen zich tot belangrijke hoogten boven de omgeving en doen niet onder voor de hoogste toppen der Aarde.

De meest opvallende maanformaties zijn de *kraters* en de *ringgebergten*, die daar in grooten getale voorkomen (*Plaat III*). Bij een oppervlakkige beschouwing doen zij ons denken aan onze vulkanen, maar een nader onderzoek leert ons, dat zij, althans wat de ringgebergten betreft, met uitzondering van den uiterlijken vorm niets gemeen hebben met de aardsche vulkanen. De middellijnen der maankraters zijn zeer verschillend en liggen tusschen eenige honderden meters en eenige kilometers; de middellijnen van de ringgebergten zijn echter van veel grootere afmetingen en kunnen soms meer dan honderd kilometer bedragen. Men moet zich de ringgebergten voorstellen als groote

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA



(Foto Mount Wilson-Sterrenwacht).

De Mare Imbrium („Regen-zee") met randgebergte, ringbergen en kraters op het Noord-Oostelijk gedeelte der Maan.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA



(Foto Bosscha-Sterrenwacht).

Kraterlandschap op het Zuid-Oostelijke gedeelte der Maan. (Bamberg-Schmidt 7 m. refractor).



(Foto Yerkes-Sterrenwacht).

De ringberg Copernicus en zijn omgeving.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

vlakten, die door een cirkelvormigen, eenige duizenden meters hoogen bergwal zijn ingesloten. De helling aan de buitenzijde van den wal is zacht glooiend, terwijl die aan den binnenkant tamelijk steil naar den bodem van het ringgebergte afdaalt. De bodem en de zijwanden zijn overigens dikwijls met kleine kraters bezaaid en binnen het ringgebergte verheffen zich vaak afzonderlijke bergtoppen of kegelbergen.

Behalve ringgebergten en kraters zijn er nog andere interessante formaties op de Maan te bestudeeren. De maanoppervlakte is o. a. ook doorgroefd door honderden diepe *spleten;* eenige dier spleten zijn breed en van zeer grilligen vorm, terwijl andere smal en regelmatig zijn. De laatste zijn waarschijnlijk gewone verschuivings-spleten. Moeilijker te verklaren is echter het stelsel van tallooze *heldere stralen*, die van eenige der grootere ringgebergten schijnen uit te gaan en verder zonder richtingsveranderingen en onafhankelijk van de oppervlakte-gesteldheden over bergen en laagvlakten heenloopen tot op duizenden kilometers afstand van hun oorsprong. Zij zijn slechts bij volle Maan waar te nemen en, aangezien zij geen schaduwen werpen, schijnen zij in hetzelfde niveau te liggen als dat der formaties, welke zij doorkruisen.

De Maan is een uitgestorven wereld, die volkomen doodsch en verstard is. Zij heeft geen dampkring, zoodat al haar formaties tot aan den rand volkomen scherp geteekend zijn en de bergtoppen en kraterranden diepzwarte schaduwen werpen. Het is waarschijnlijk, dat de Maan slechts gedurende een zeer kort tijdvak na haar ontstaan een dunnen dampkring heeft gehad. Tengevolge van haar kleine massa is n. l. de aantrekkingskracht der Maan nooit in staat geweest de luchtmoleculen te binden — de dampkring moet dus spoedig vervlogen zijn. De afwezigheid van dampkring en dus van water op de Maan is oorzaak, dat de verschillende

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

maanformaties in een tamelijk onveranderden toestand gebleven zijn vanaf het stollen der oppervlakte. Geen erosieve werking heeft dus de ruwe vormen van het woeste bergland der Maan een vriendelijker aanzicht gegeven.

Bij het ontstaan der maanformaties hebben zonder twijfel endogene krachten een belangrijke rol gespeeld en de maanoppervlakte moet in het verleden het tooneel geweest zijn van ontzaglijke vulkanische uitbarstingen. De maankraters zijn derhalve waarschijnlijk van zuiver vulkanischen oorsprong. Raadselachtiger is het vraagstuk over het ontstaan der ringgebergten. Deze behooren vermoedelijk tot de oudste formaties en zijn waarschijnlijk gevormd in den tijd toen de maankorst nog zeer dun was. Uit het gloeiend-vloeibare magma in het inwendige van den maanbol hebben zich gassen afgescheiden en door den druk dezer gassen werd de dunne maankorst blaasvormig opgetild. Toen later de gassen door spleten en barsten in de blaas uitstroomden, stortte het dak van deze blaas in en bleven de randen als een ringvormige wal achter. Het is echter ook mogelijk, dat de getijkrachten, door de Aarde op de Maan veroorzaakt toen deze nog een vlugge aswenteling had, het magma uit de ingewanden der Maan door zwakke punten der maankorst naar buiten persten. Het magma heeft een meer of minder groot gedeelte der oppervlakte overstroomd. Toen het magma zich later terugtrok, was de buitenkant van het overstroomde gebied reeds gestold en bleef er dus een wal achter. Dit proces heeft herhaaldelijk plaats gehad, totdat het stollen der maankorst zoo ver kwam, dat geen doorbreking van het magma verder mogelijk was.

Aangezien de Maan geen dampkring heeft en de vereffenende invloed daarvan op het klimaat dus geheel en al ontbreekt, is het klimaat op de Maan uiterst extreem: gedurende den 14 etmaal langen maan-dag brandt de Zon

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

met onbarmhartige intensiteit en verhit zij de maanoppervlakte tot omstreeks + 150° C.; tijdens den even langen maan-nacht legert zich de ijzige koude van het Heelal over de doodsche maanoppervlakte. Dat onder dergelijke omstandigheden geenerlei organisch leven mogelijk is in de zand- en steenwoestijnen van onze buur is wel duidelijk.

Wat tenslotte de vermoedelijke samenstelling der maanformaties betreft zijn wij uitsluitend aangewezen op een onderzoek van de optische eigenschappen der gesteenten, d.w.z. op kleurenfotografische onderzoekingen en polarisatiemetingen van het teruggekaatste zonlicht. De donkere vlekken en de kraters zijn waarschijnlijk uit obsidiaan, lava en andere vulkanische gesteenten opgebouwd, terwijl de heldere streken vermoedelijk haar kleur ontleenen aan vulkanische asch en puimsteen.

* * *

3. De Zon.

De Zon is de bestuurster van het planetenstelsel. Voor haar machtigen lichtstroom verbleekt het sterrenlicht en hare warmtestralen verwekken en onderhouden het organische leven op de Aarde en zijn de bron van nagenoeg elke beweging op onze planeet. Zonder de Zon zou de Aarde geworden zijn een rijk van koude en duisternis. Het is daarom niet te verwonderen, dat de mensch bij intuïtie sedert onheuglijke tijden haar een liefdevolle vereering heeft toegewijd.

De Zon is onze meest nabijgelegen ster. Bovendien is zij de eenige ster, waarvan de oppervlakte-gesteldheid een onderwerp kan worden van een meer uitvoerige bestudeering; want zelfs door de grootste telescopen van heden gelijken de andere sterren nog altijd priemscherpe, fonkelende lichtpunten. Zij is verder een typische ster, van tamelijk bescheiden afmeting weliswaar, zoodat zij gerangschikt moet worden tot de groep der „dwergsterren". Daar de meeste

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

sterren „dwergen" zijn, moet de Zon echter beschouwd worden als een voortreffelijke vertegenwoordigster van de sterren in 't algemeen. De verschijnselen, die wij kunnen waarnemen op de zonsoppervlakte, zijn waarschijnlijk ook te vinden op de oppervlakte der meeste sterren, althans op sterren van hetzelfde of naverwante type.

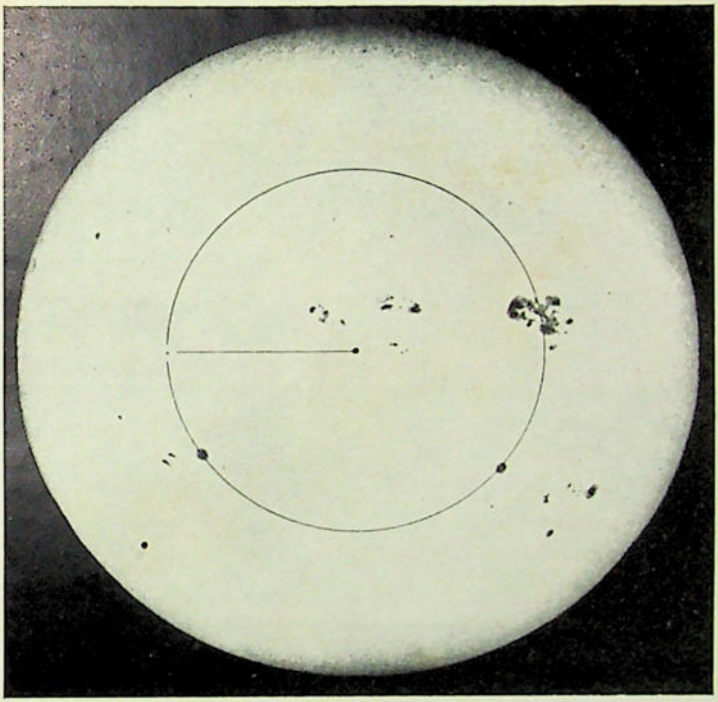
Zooals reeds gezegd, bedraagt de afstand tot de Zon gemiddeld ongeveer 150 millioen km.*) Haar volume is 1.300.000 maal en haar gewicht 330.000 maal dat der Aarde (of 750 maal het totale gewicht van alle planeten van ons planetenstelsel tezamen), waardoor haar gemiddelde dichtheid slechts 1.4 wordt.

Het zichtbare oppervlak der Zon, de „photosfeer", straalt een oogverblindend licht uit, welks intensiteit een half millioen maal grooter is dan die der volle Maan. De zonneschijf vertoont intusschen geen gelijkmatige helderheid: voor alle kleuren is echter de helderheid het grootst in het centrum der zonneschijf, maar neemt verder geleidelijk af naar den rand, waarbij de intensiteit sterker afneemt naarmate de golflengte van het onderzochte licht kleiner is. Dit verschijnsel — dat nader is bestudeerd o.a. door JULIUS, VAN DER BILT en MINNAERT te Utrecht — berust hoofdzakelijk op het feit, dat de stralen van het centrum der zonneschijf uit diepere en warmere niveau's afkomstig zijn dan de randstralen.

Door een kijker gezien vertoont de photosfeer een eenigszins korrelig uiterlijk (het verschijnsel der *zonne-granulatie*). Soms neemt men ook donkere plekken op de zonneschijf waar, de z.g. *zonnevlekken* (*Plaat IV en V*). Deze zijn geen onveranderlijke formaties der Zon: de vlekken ontstaan onver-

*) Om ons eenigszins een denkbeeld van de grootte van dezen afstand te vormen kunnen wij ons voorstellen, dat een vliegtuig met een snelheid van 200 km. per uur, dag en nacht vliegend, ruim 85 jaren noodig zou hebben om dien afstand af te leggen.

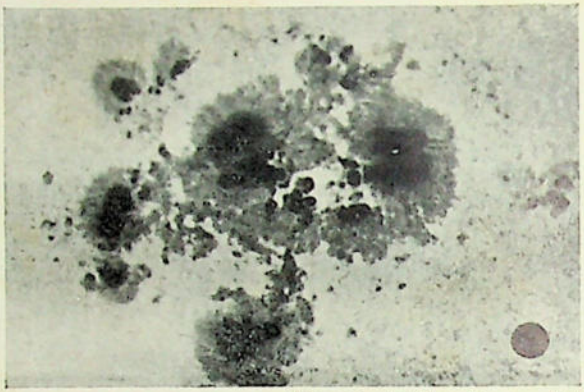
PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA



De Zon met vlekken, opgenomen den 12den Augustus 1917 door ELLERMAN, Mount Wilson-Sterrrenwacht. De zwarte cirkel geeft de grootte van de loopbaan der Maan aan. (Uit: FERDINAND ELLERMAN, „The Sun", Publ. of the Astr. Soc. of the Pacific, Vol. 34).

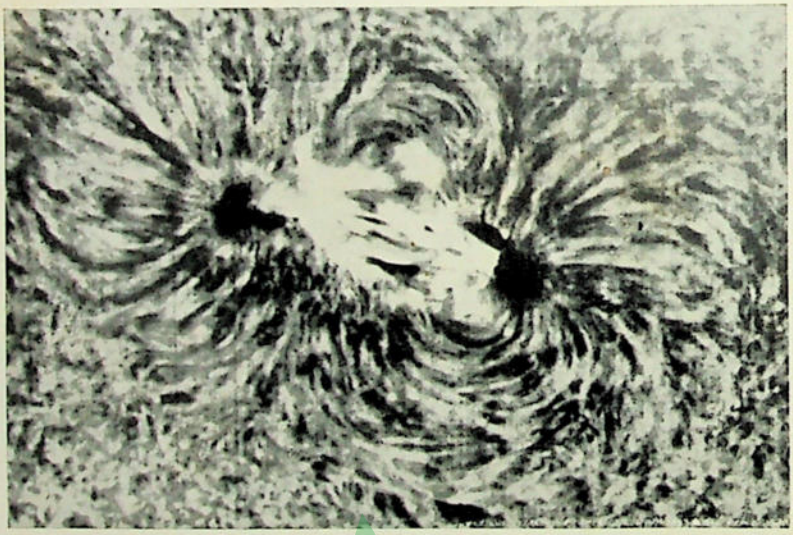
PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Plaat V.



(Foto Mount Wilson-Sterrenwacht).

Groep van zonnevlekken in vergelijking met de grootte der Aarde (het zwarte schijfje rechts beneden).



(Foto Mount Wilson-Sterrenwacht).

Waterstof spectroheliogram van een gedeelte der zonsoppervlakte met vlekken. De wervelbewegingen der zonnevlekken zijn op de foto duidelijk zichtbaar.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

wachts, groeien gedurende eenige dagen of maanden uit tot meer of minder groote complexen van onregelmatigen vorm, lossen op en verdwijnen ten slotte zonder een enkel spoor achter te laten. De afmetingen der zonnevlekken zijn zeer verschillend. Er zijn er, die nauwelijks zichtbaar zijn door de grootste kijkers, terwijl andere ontzaglijke afmetingen kunnen hebben met middellijnen, die vele malen grooter zijn dan die van den aardbol (*Plaat V*). Het getal der vlekken is aan groote schommelingen onderhevig en een duidelijke periodiciteit van omstreeks elf-jarigen duur is daaruit af te leiden. In het jaar van het maximum is de zonneschijf als bezaaid met groote en kleine zonnevlekken, terwijl in den tijd van het minimum soms maanden voorbij kunnen gaan zonder dat een enkele vlek op de Zon te bespeuren is.

Bij de zonnevlekken herkent men duidelijk een zwarte kern („umbra"), welke door een minder donker gebied („bijschaduw" of „penumbra") is omringd. De kern echter is niet donker, want zij straalt met een lichtintensiteit, die honderden malen die der volle Maan overtreft; zij lijkt slechts zwart in tegenstelling met het schelle licht der photosfeer.

Door een studie van de verplaatsingen der vlekken over de zonneschijf is men reeds vroeg tot de conclusie gekomen, dat de Zon om een as draait en een nauwkeuriger onderzoek omtrent de aswenteling der Zon heeft aangetoond, dat zij niet als een vast lichaam met gelijke hoeksnelheid omwentelt, maar dat de hoeksnelheid geleidelijk van den aequator naar de polen toe afneemt. Bij den aequator bedraagt de omwentelingstijd ongeveer 25 dagen, terwijl zij in de buurt der polen tot 33 dagen toegenomen is.

Behalve de vlekken zijn ook de *fakkels* opvallende zonneverschijnselen. Deze treden vaak in de nabijheid der vlekken op en vertoonen zich als heldere lichtuitstralende, aarvormige plekken van grillige vormen. Ook de fakkels zijn aan de elf-jarige periodiciteit onderworpen.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Teneinde een volledíger onderzoek der Zon te kunnen bewerkstelligen en een meer stellige wetenschap omtrent den toestand op dit hemellichaam te verkrijgen, moet men zich van een toestel bedienen, dat niet slechts de uitwendige kenmerken der oppervlakte-verschijnselen weergeeft, maar dat ons ook inlichtingen kan geven omtrent hun physische gesteldheden. In den *spectroscoop* heeft men nu een dergelijk toestel gevonden.

De spectroscoop is, zooals wij naderhand zullen zien, ontegenzeggelijk het belangrijkste hulpmiddel der moderne astrophysica. Hij dient om de geaardheid van de door een lichtbron uitgezonden stralen nauwkeurig te onderzoeken, teneinde de scheikundige samenstelling der stoffen van de lichtbron te kunnen bepalen. De beginselen, waarop een dergelijk spectraalanalytisch onderzoek berust, zullen wij hier beknopt weergeven:

Wanneer men een bundel parallel-loopende stralen uit wit licht vanuit een smalle, spleetvormige opening door een driehoekig prisma van glas laat gaan, dan wordt het licht na doorgang door het prisma gebroken en in een kleurenband verspreid (*Plaat VI*). Wij krijgen aldus een „continu" of doorloopend spectrum, waarin de volgende reeks van kleuren: rood, geel, groen, blauw en violet met alle overgangen in deze volgorde van afnemende golflengten naast elkaar komen te liggen. Is het licht afkomstig van een vaste of vloeibare, in gloeienden toestand verkeerende stof, dan bevat het verkregen spectrum alleen deze doorloopende reeks van kleuren. Is echter het licht afkomstig van een gloeiend gas, dat alleen licht van een zeker aantal bepaalde golflengten uitstraalt, dan krijgt men een „discontinu" of lijnenspectrum, dat slechts eenige gekleurde strepen bevat, welke nauwkeurig overeenkomen met de golflengten van het uitgestraalde licht. De ondervinding en theoretische beschouwingen hebben aangetoond, dat elke stof in gloeienden gasvorm een voor

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

deze stof karakteristiek lijnenspectrum uitstraalt en wij kunnen derhalve door bepaling van de golflengten in een spectrum van een gasvormige lichtbron nauwkeurig de scheikundige samenstelling daarvan nagaan.

Wordt de proefneming zoodanig veranderd, dat de stralen van de lichtbron, voordat zij het prisma bereiken, eerst door een gas van lager temperatuur dan die van de lichtbron heen moeten gaan, dan wordt een continu spectrum verkregen, dat van een reeks van zwarte dwarsstrepen doortrokken is. De ligging der strepen in het spectrum komt nauwkeurig overeen met de ligging der heldere lijnen, welke het gas zelf in gloeienden toestand zou uitstralen. Het gas bezit dus het vermogen dezelfde golflengten van het licht op te slorpen, die het in gloeienden toestand uitstraalt. Een spectrum met absorptie lijnen wordt *absorptie-spectrum* genoemd in tegenstelling met het zooeven beschreven spectrum uit heldere lijnen, dat *emissie-spectrum* heet.

De Zon is een geweldige licht- en warmte uitstralende bol van gloeiende gassen, wiens oppervlakte-temperatuur ongeveer 6000°C. bedraagt. Wordt het zonlicht met behulp van een spectroscoop tot een spectrum uitgespreid, dan verkrijgt men een continu spectrum, dat doortrokken is van tallooze sterke of zwakke absorptielijnen, de z.g. *Fraunhofersche lijnen* (*Plaat VI*). Het doorloopend spectrum vindt zijn oorsprong in de gloeiende photosfeer, terwijl de absorptielijnen afkomstig zijn van een gaslaag van lager temperatuur, die de photosfeer omhult. Uit de golflengte der lijnen kan men nu nagaan welke gasvormige stoffen in deze koudere laag aanwezig zijn, men kan m.a.w. de scheikundige samenstelling van den *zonnedampkring* bepalen. De dampkring der Zon (*de chromosfeer*) kan men direct waarnemen bij een totale *zonsverduistering*, dat is het moment, waarbij de Maan tusschen ons en de Zon treedt, waardoor het felle licht der

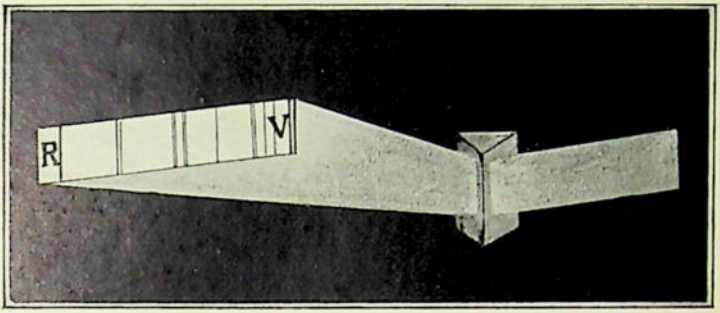
PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

photosfeer afgeschermd wordt en de chromosfeer te voorschijn komt als een ring, roodachtig getint, rondom de zwarte maanschijf. De hoogte van de chromosfeer bedraagt omstreeks 10.000 km.; haar diepste laag, de „omkeerende laag", is de oorsprong der Fraunhofersche lijnen. Het emissiespectrum van deze laag, het *„flits"-spectrum*, kan men waarnemen bij totale zonsverduisteringen, enkele seconden onmiddellijk vóór en ná de totaliteit, waarbij de *Fraunhofersche lijnen* als heldere emissielijnen optreden.

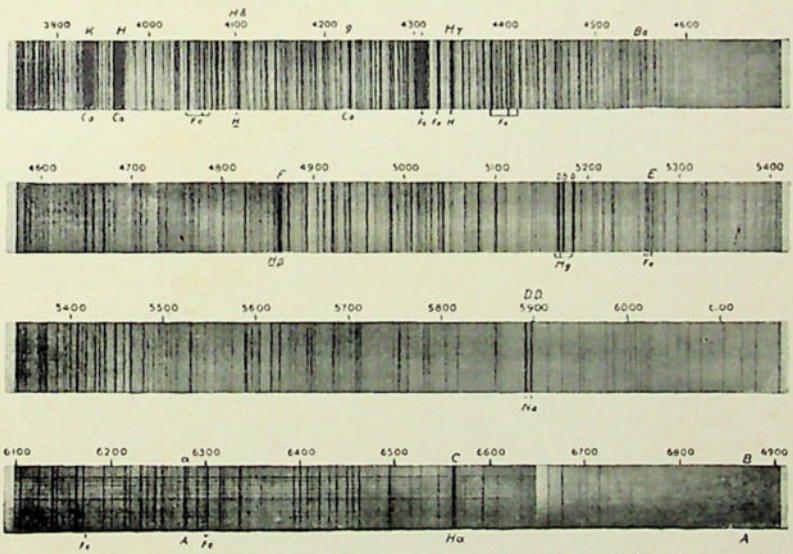
De spectraalanalyse van het zonlicht heeft uitgewezen, dat de meeste grondstoffen, die op de Aarde bekend zijn, b.v. ijzer, nikkel, magnesium, kool, calcium, waterstof enz. ook op de Zon voorkomen; enkele aardsche grondstoffen, b.v. goud, kwik, phosphor enz. zijn tot nog toe niet op de Zon teruggevonden, welk feit echter niet beteekent, dat deze stoffen geheel en al op de Zon afwezig zouden zijn; het berust slechts op de omstandigheid, dat de lagen der Zon, welke voor spectroscopische onderzoekingen bereikbaar zijn, waarschijnlijk om de een of andere reden deze stoffen niet bevatten, of dat ze in een zoodanigen physischen toestand verkeeren, dat de gewone spectraallijnen niet kunnen worden waargenomen.

Een verschijnsel op de Zon, dat eertijds slechts bij totale zonsverduisteringen waarneembaar was, zijn de *zonnevlammen* of de *protuberanzen*, die bij dergelijke gelegenheden als gekleurde vuurtongen van fantastische vormen uit de chromosfeer te voorschijn treden (*Plaat VIII*). Er zijn twee soorten van protuberanzen te onderscheiden, n.l. de z.g. „rustende protuberanzen": ontzaglijke wolken van waterstof, calcium en helium gassen, die in den dampkring der Zon zweven en verder de z.g. „eruptieve" of metallische protuberanzen, die bovendien lijnen van metalen bevatten en die aan snelle veranderingen onderhevig zijn en soms snelheden van honderden kilometers per seconde kunnen vertoonen. Zij kunnen hoogten van meer dan 100.000 km boven de

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA



De vorming van het zonnespectrum met behulp van een prisma.

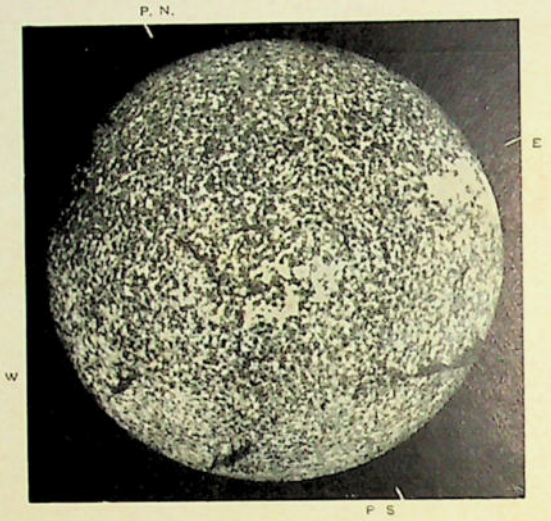


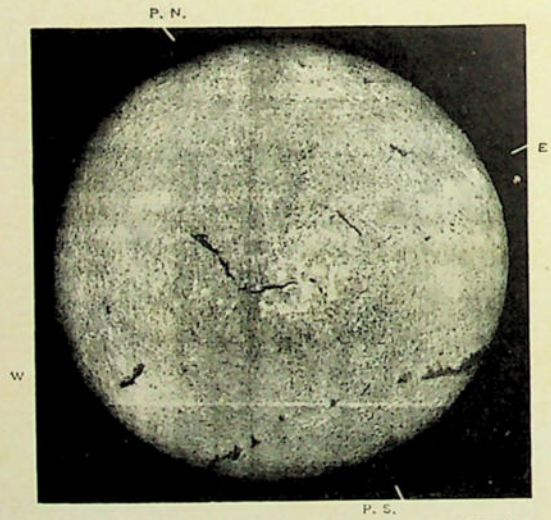
(Foto Mount Wilson-Sterrenwacht).

Het spectrum der Zon met Fraunhofersche lijnen.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Plaat VII.





(Foto Sterrenwacht te Meudon).

Spectroheliogrammen der Zon.
Boven: De Zon in calciumlicht (lijn K_3).
Beneden: De Zon in waterstoflicht (lijn H_α).

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

zonsoppervlakte bereiken en doen aan geweldige gasuitbarstingen denken *).

Een geniale vorm van den spectroscoop is de z.g. *spectroheliograaf*, welk toestel ons veroorlooft de chromosfeer en de protuberanzen ook zonder de totale zonsverduistering te bestudeeren. Met behulp van den spectroheliograaf kan men bovendien de chromosfeer fotografisch opnemen in het licht afkomstig van één spectraallijn en wij kunnen aldus monochromatische beelden van de zonsoppervlakte verkrijgen in het licht van de verschillende elementen en hierdoor de verspreiding ervan over de zonsoppervlakte onderzoeken (*Plaat VII*). Wij kunnen verder verschillende lagen van den dampkring der Zon afzonderlijk bestudeeren en de hoeveelheden stoffen op verschillende diepten nagaan. De diepste lagen der chromosfeer bevatten hoofdzakelijk een mengsel van metaaldampen afkomstig van zwaardere elementen, terwijl de hooger gelegen lagen lichte gassen bevatten zooals waterstof en helium, tevens geïoniseerd calcium.

Tijdens totale zonsverduisteringen komt het buitenste omhulsel der Zon te voorschijn, n.l. de *corona*, die als een zilveren sluier de Zon omgeeft (*Plaat VIII*). De corona heeft tijdens de minimumjaren van zonnevlekken een zeer onregelmatigen vorm met uitloopers, de *coronastralen*, die hoofdzakelijk in de aequatorstreken voorkomen en die een lengte van vele malen de zonnemiddellijn kunnen bereiken, terwijl tijdens de maximumjaren de corona een meer symmetrischen vorm aanneemt. In de allerlaatste jaren is het tevens gelukt het zwakke licht der corona ook buiten totale zonsverduisteringen gedeeltelijk te bestudeeren. Met bepaalde hulpmiddelen wordt het felle licht der zonneschijf verzwakt, waarna het binnenste gedeelte van den coronakrans rechtstreeks fotografisch opge-

*) Volgens een theorie van JULIUS zijn de protuberanzen niet als onzaglijke uitbarstingen op de Zon te beschouwen, maar als een soort optisch verschijnsel, dat ontstaat door z.g. „anomale dispersie" van het zonlicht.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

nomen kan worden. Met behulp van polarisatie-verschijnselen kan men verder den vorm van de buiten-corona en tevens de ligging van de coronastralen bepalen.

De ware natuur van dezen zilverwitten stralenkrans is niettegenstaande dergelijke onderzoekingen nog altijd in mysteriën gehuld. Spectraalanalytische onderzoekingen van het corona-licht hebben aangetoond, dat de corona niet alleen gedeeltelijk teruggekaatst zonlicht uitstraalt, doch ook dat zij lichtuitstralende gassen bevat. Zij bestaat waarschijnlijk grootendeels uit buitengewoon kleine stofdeeltjes (of moleculen), die door den stralingsdruk vanuit de Zon worden weggestooten. Het is echter ook mogelijk dat de corona uit een wolk van vrije electronen (en calcium-ionen) bestaat. Door theoretische onderzoekingen van WOLTJER te Leiden is n.l. gebleken, dat een dergelijke electronenwolk het licht verstrooit in overeenstemming met de waarnemingen van het corona-licht.

Spectroscopische en spectroheliografische onderzoekingen der zonnevlekken hebben aan het licht gebracht, dat deze inderdaad reusachtige cyclonen of draaikolkachtige formaties in de photosfeer zijn, welke zich tot hoog in de chromosfeer uitbreiden (*Plaat V*). Deze geweldige mechanische stoornissen der zonsoppervlakte gaan evenredig gepaard met magnetische wervelstormen en uitstootingen van electrisch geladen deeltjes of „corpusculs". Wanneer de corpusculs gedurende hun vaart door de wereldruimte in de nabijheid der Aarde komen, worden hun banen door den invloed van het magnetische veld der Aarde omgebogen en de corpusculs storten zich in den dampkring van de Aarde, waar zij prachtige Noorderlichten teweeg brengen.

Wij hebben in het voorafgaande gezien, dat onze Zon een gasvormig hemellichaam in gloeienden toestand is, waarvan het zichtbare oppervlak een oogverblindend licht uitstraalt en het tooneel is van ontzaglijke cyclonen.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

De Zon heeft verder een dampkring, die op de photosfeer rust en van lager temperatuur (en van geringer dichtheid) is dan de photosfeer. Ten slotte is de Zon en haar dampkring door een enorm uitgebreid omhulsel, de corona, omgeven. Hoe de zonnebol er inwendig uitziet, kunnen wij niet waarnemen. Door theoretische beschouwingen over de toestanden van gaskogels in evenwicht, door toepassing der bekende gaswetten en tevens door de uitkomsten der moderne atoomphysica omtrent den opbouw der materie kunnen wij echter een inzicht verkrijgen omtrent den waarschijnlijken toestand van het inwendige der Zon. Wij zullen in het volgende hoofdstuk op dit vraagstuk terugkomen en ook de bronnen der zonne-energie behandelen.

* * *

4. De Planeten.

De uiteraard voor ons meest belangrijke planeet, de Aarde, en haar wachter hebben wij reeds behandeld. En wij zullen thans onze aandacht wijden aan de overige leden van de planeten-familie.

Van de planeten der aardgroep wentelen er twee, Mercurius en Venus, binnen de aardbaan. Deze planeten zijn tengevolge van haar nabijheid tot de Zon zeer ongunstig gelegen voor waarnemingen, zoodat zij weinig bestudeerd zijn.

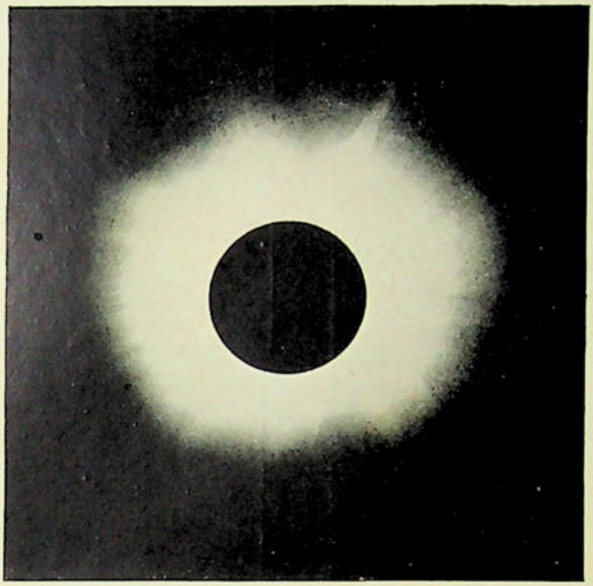
Mercurius is de planeet, die het dichtst bij de Zon haar kringloop volbrengt en tevens de kleinste der hoofdplaneten. Ze is slechts iets grooter dan de Maan (men zou de planeet in den Atlantischen Oceaan kunnen laten zinken, zonder dat zij de omgevende vastelanden zou behoeven te raken). Haar afstand tot de Zon bedraagt $^2/_5$ van onzen zonsafstand en haar omloop om de Zon duurt slechts 88 dagen. Tengevolge van haar geringen zonsafstand, waardoor de planeet, zooals reeds gezegd, slechts met moeite waar te

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

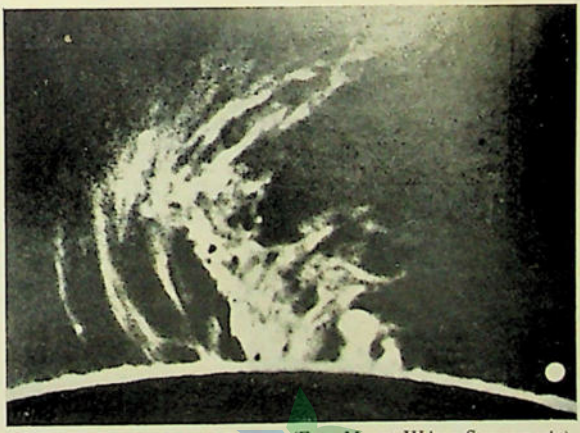
nemen is, weten wij omtrent de oppervlakte-gesteldheid van Mercurius zeer weinig af. Wel is gebleken, dat Mercurius geen dampkring heeft en dat zij waarschijnlijk steeds dezelfde zijde naar de Zon toewendt. De oppervlaktetemperatuur aan dezen kant is meer dan + 400° C., terwijl op de andere zijde een eeuwige nacht met felle koude heerscht. Onderzoekingen van het door de planeet teruggekaatste zonlicht doen vermoeden, dat de oppervlaktegesteldheid van Mercurius met die der Maan overeenkomt.

De tweede planeet van de Zon af is *Venus*, die van alle hoofdplaneten de Aarde 't dichtst naderen kan. Zij is bovendien ook de planeet, die het meest op de Aarde lijkt. Venus is bijna van dezelfde grootte als de Aarde en heeft een dikken dampkring, die de eigenlijke planeetoppervlakte voor onze oogen verbergt. De gemiddelde afstand van Venus tot de Zon is ongeveer $^3/_4$ van onzen zonsafstand en haar omloop om de Zon duurt bijna 225 dagen. Aangezien wij nooit verschijnselen op de Venus-schijf met eenige zekerheid hebben kunnen waarnemen, is haar omwentelingstijd onbekend. De dampkring van Venus bevat waarschijnlijk geen waterdamp of zuurstof, althans dat is het geval met de buitenste lagen van den dampkring, welke toegankelijk zijn voor spectroscopische onderzoekingen. Eertijds heeft men gemeend, dat de planeet-oppervlakte door sterke wolkenvorming in den dampkring voor ons verborgen was en dat het klimaat op Venus buitengewoon vochtig moest zijn. Tegenwoordig is men geneigd de oude opvatting omtrent den toestand in den Venus-dampkring te wijzigen. Het klimaat op Venus is waarschijnlijk zeer droog en haar dampkring bevat vermoedelijk een groote hoeveelheid stof, waardoor haar oppervlakte niet voor ons zichtbaar is. De temperatuur op de dagzijde bedraagt + 50° tot + 60° C.; een weinig lager is ze op de nachtzijde.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA



De corona tijdens de totale zonsverduistering op 14 Januari 1926 (opgenomen door Swarthmore College eclipsexpeditie te Benkoelen, Sumatra).

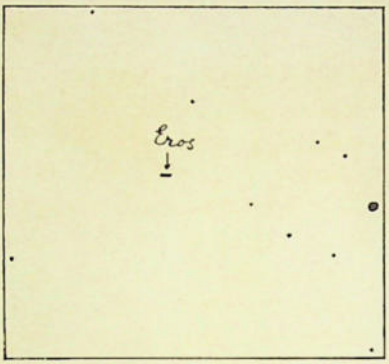


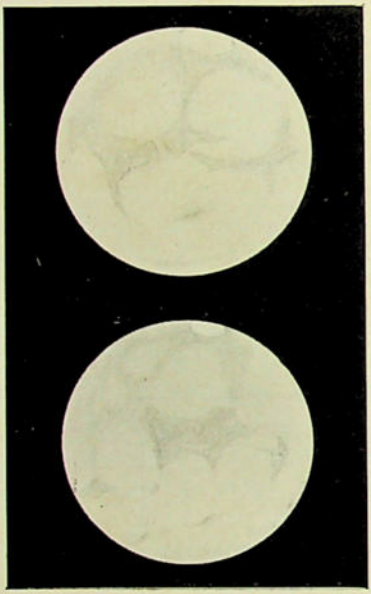
(Foto Mount Wilson-Sterrenwacht).

Een groote protuberans in vergelijking met de grootte der Aarde (het lichte schijfje rechts onder).

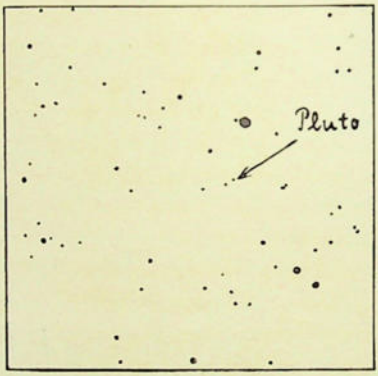
PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

De planetoïd Eros, gefotografeerd door VOÛTE met de 60 cm. dubbelrefractor tijdens haar laatste oppositie in Januari 1931. (Door de vlugge beweging der planetoïd, maakt zij tijdens de opname een streepje op de plaat, terwijl de sterren zich als stippen voordoen).

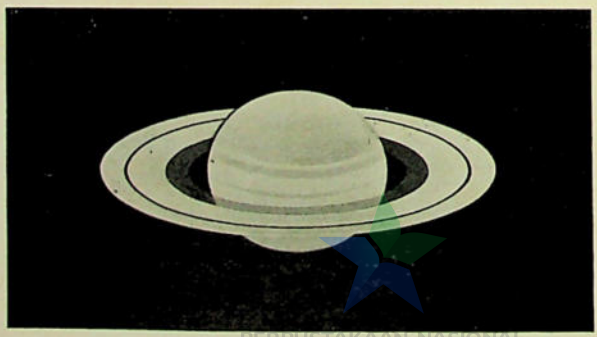




Teekeningen van Mars door TAMM in 1924 (Sterrenwacht te Kvistaberg, Zweden).



De planeet Pluto, gefotografeerd door VOÛTE met de 60 cm. dubbelrefractor den 16den November 1931. (De belichtingstijd bedroeg 40 min.).



Saturnus met haar ringstelsel naar een teekening van KEELER in 1888 (Lick-Sterrenwacht).

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Noch Venus noch Mercurius hebben wachters; men heeft althans zelfs met de grootste kijkers geen wachters kunnen ontdekken.

De derde planeet vanaf de Zon gerekend is de Aarde en de vierde is Mars.

Mars is zonder twijfel de planeet, die de grootste belangstelling der leeken heeft getrokken. Zij is ongeveer 7 maal kleiner dan de Aarde; haar gemiddelde afstand tot de Zon bedraagt $1^1/_2 \times$ die der Aarde en haar omloop om de Zon duurt 687 dagen. Sedert de zeventiende eeuw is Mars het voorwerp geweest van nauwkeurige onderzoekingen. Vooral is dit het geval bij z.g. *oppositie*s, d.w.z. bij de gelegenheden, dat de planeet tijdens haar omloop de Aarde het dichtst nadert; bij gunstige opposities bedraagt de afstand Aarde-Mars slechts 56 millioen kilometers en onze roode buurplaneet vertoont zich dan als een schijf van 25″ middellijn.

Door een kijker gezien heeft de Mars-oppervlakte geen gelijkmatige roode kleur, doch vertoont onveranderlijke donkere plekken van een grijsblauwe tint op een lichten geelroode ondergrond (*Plaat IX*). De donkere plekken op Mars noemt men zeeën en de oranjegekleurde streken vastelanden, ofschoon zij geenerlei overeenkomst hebben met de aardsche formaties van dien naam. Reeds in 1672 heeft HUYGENS witte vlekken rondom de Marspolen ontdekt, welke aan aardsche poolkappen deden denken. De poolkappen op Mars zijn aan seizoensveranderingen onderhevig, zoodat zij tijdens den Mars-zomer bijna heelemaal verdwijnen, terwijl zij gedurende den winter sterk in grootte toenemen (*Plaat X*).

Evenals de Aarde wentelt Mars om een poolas, die schuin op het baanvlak staat, zoodat ook op Mars wisselingen in dag en nacht en in jaargetijden voorkomen. De Mars-dag is ongeveer van gelijken duur als de

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

onze, *) maar de jaargetijden zijn daar bijna tweemaal zoo lang. Tengevolge van de groote excentriciteit der Marsbaan bestaat bovendien een belangrijk verschil in de lengte der jaargetijden op de beide halfronden: het noordelijk halfrond heeft een langen zomer en een korten winter, terwijl op het zuidelijk halfrond de toestanden omgekeerd zijn; het klimaat is daarom hier aanmerkelijk ruwer dan op het noordelijk halfrond.

Intensieve waarnemingen tijdens de gunstige Mars-oppositie aan het einde der negentiende en aan het begin der twintigste eeuw hebben geleid tot de ontdekking van een net van fijne, donkere strepen, die als rechte lijnen de vastelanden schijnen te doorkruisen en die sedert dien tijd onder den oneigenlijken naam „kanalen" bekend staan. Er zijn tijden geweest, dat de menschelijke fantasie in de „kanalen" voortbrengsels van intelligente schepsels zag (dus b.v. echte kanalen voor irrigatie-doeleinden). Bij latere onderzoekingen is echter gebleken dat geometrische „kanalen" op Mars niet aanwezig zijn, maar dat de oppervlakte met een overvloed van ingewikkelde détails bezaaid is, die nauwelijks zichtbaar zijn. Het geometrische kanalennet op Mars moet derhalve niet als reëel, doch liever als gezichtsbedrog beschouwd worden, 't welk ontstaat door de neiging van het menschelijk oog om aan vaag uitkomende détails een geometrische structuur te geven. Eenige der grootste „kanalen" hebben wellicht een reëelen grondslag (verschuivings-spleten?), daar zij ook op fotografische opnamen van de planeet voorkomen.

Het belangrijke vraagstuk betreffende de aanwezigheid van een dampkring op Mars was tot voor omstreeks tien jaren een strijdvraag. De poolkappen-verschijnselen en het nu en dan voorkomen van witte plekken op de oppervlakte, die aan aardsche wolken deden denken, benevens de om-

*) Volgens H. G. VAN DE SANDE BAKHUYZEN bedraagt de Mars-dag $24^u\ 37^m\ 22{,}66^s$.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

standigheid, dat de oppervlakte-verschijnselen op Mars er van tijd tot tijd troebel uitzagen, alsof zij door ijle mist aan onze oogen onttrokken werden, wijzen op de aanwezigheid van een dampkring. Dat deze zeer dun moet zijn was men zich reeds vroeg bewust. Gedurende de laatste jaren is men er in geslaagd met behulp van kleurenfotografische opnamen en spectraalanalytische onderzoekingen van Mars niet alleen de aanwezigheid van een atmosfeer te bewijzen, maar ook onze kennis van de physische gesteldheid van de Mars-oppervlakte belangrijk te vermeerderen. Wij zullen daarom hier een beeld van den waarschijnlijken toestand op Mars trachten te geven in het licht van de vorderingen der Mars-onderzoekingen van de laatste tien jaren.

Mars heeft een zeer ijlen dampkring, die ijler is dan de aardsche boven onze hoogste bergtoppen en die kleine hoeveelheden waterdamp en zuurstof bevat. *) De hoogte van den dampkring bedraagt waarschijnlijk iets meer dan honderd kilometers. Het klimaat op de planeet is buitengewoon droog en extreem: de temperatuur van den middag in de tropen kan iets meer dan + 20° C. bereiken, maar de dampkring koelt spoedig af, zoodat de nachten zeer koud zijn. De oppervlakte is vermoedelijk door uitgebreide zand- en steenwoestijnen bedekt en noch zeëen, noch water in vloeibaren toestand zijn op Mars aanwezig. Wanneer de temperatuur laag genoeg is, zet zich de waterdamp in de atmosfeer dadelijk af als rijp op den bodem, welke echter spoedig weer verdwijnt zoodra de temperatuur stijgt, zoodat de bodem althans in de aequatorstreken overdag vrij van ijs is. Door den wind, die met een sterkte van 10 meter per seconde of meer op Mars kan waaien, worden af en toe stofwolken uit de zandwoestijnen opwaarts

*) De luchtdruk op de Mars-oppervlakte bedraagt slechts ongeveer 40 tot 50 mm kwik.

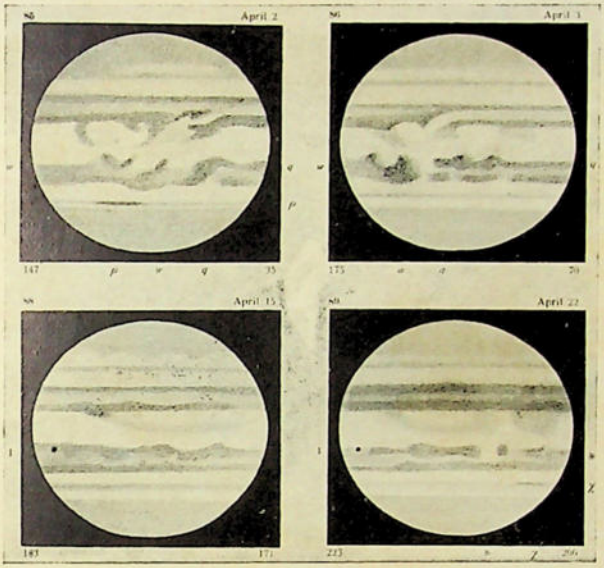
PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

gedreven, die zich dan als een ijle sluier over grootere of kleinere gedeelten van de planeetoppervlakte verspreiden. De poolkappen op Mars hebben niets gemeen met de geweldige ijs- en sneeuwmassa's, die de aardsche polen overdekken. Zij bestaan vermoedelijk slechts uit een dunne laag sneeuw of rijp, die de poolstreken bedekt en waarop een wolkenlaag rust. Haar temperaturen zijn opgemeten tot ongeveer — 70° C. De aanwezigheid van een hooger organisch leven op onze buurplaneet, van intelligente schepsels moet als zeer onwaarschijnlijk geacht worden. Toch is het mogelijk, dat lagere vormen van organisch leven (b.v. een soort toendra-flora) op enkele plaatsen op Mars bestaan, althans gedurende den zomer.

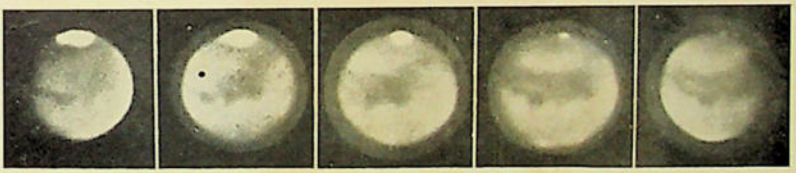
Mars heeft twee wachters, Phobos en Deimos, die echter zeer kleine lichamen zijn met middellijnen van slechts eenige kilometers en die van geenerlei astrophysisch belang zijn.

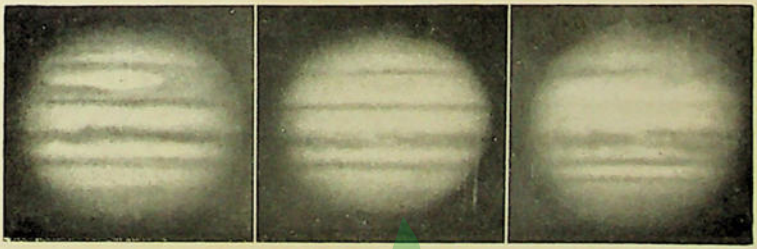
Tusschen Mars en de volgende hoofdplaneet, Jupiter, is een wijde gaping in de reeks der planeten, welke tusschenruimte echter door een zeer groot aantal kleinere hemellichamen, de *planetoïden* of *asteroïden*, is aangevuld *(Plaat IX)*. Er zijn nu ongeveer 2000 planetoïden bekend, maar jaarlijks worden tientallen nieuwe ontdekt, zoodat hun schaar steeds aangroeit. De meeste van hen hebben bijzonder kleine afmetingen. Slechts 3 % hebben middellijnen, die grooter zijn dan 100 km. De grootste middellijn heeft Ceres (780 km.), terwijl de meeste een middellijn hebben van eenige tientallen kilometers of minder. Eenige planetoïden zijn onder gunstige omstandigheden zelfs met het bloote oog te zien, maar de meeste vertoonen zich als zeer lichtzwakke sterren. Alleen de grootste planetoïden zijn bollen, terwijl de kleinere slechts rotsen zijn van onregelmatigen vorm. Het totale gewicht van de planetoïden is waarschijnlijk minder dan 1/1000 van dat der Aarde. In de theoretische sterrenkunde is de be-

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA



Teekeningen van Jupiter, gemaakt door NIJLAND in 1897 met den refractor der Utrechtsche Sterrenwacht.





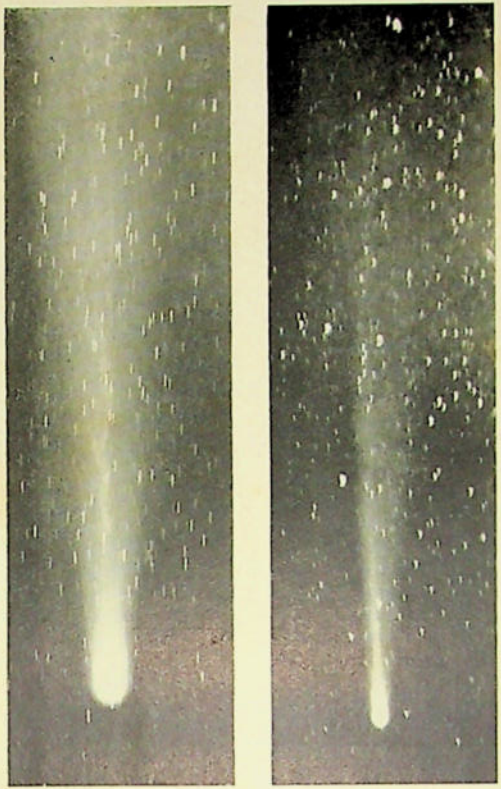
Boven: Mars-Foto's van SLIPHER (Lowell-Sterrenwacht), toonende het afnemen der zuidelijke poolkap van Mars tijdens den zomer.
Beneden: Foto's van Jupiter, genomen door SLIPHER (Lowell-Sterrenwacht). (Uit Journal of the Royal Astr. Soc. of Canada, Vol. XXII.)

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA



(Foto M. Wolf. Heidelberg).

Komeet van MOREHOUSE in 1908.



(Foto Lick-expeditie naar Honolulu).

Komeet van HALLEY in 1910.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

studeering der planetoïden van zeer groot belang, doch voor de eigenlijke astrophysica zijn zij van weinig beteekenis. Wij laten derhalve de planetoïden aan hun lot over en gaan thans over tot de bespreking der reuzenplaneten.

Van de reuzenplaneten is *Jupiter* de meest nabijgelegene. Haar gemiddelde afstand tot de Zon bedraagt 5.2 × onzen zonsafstand en zij volbrengt haar omloop in bijna 12 jaren. Jupiter is de reuzenplaneet bij uitnemendheid : haar volume is 1300 maal grooter dan dat van de Aarde terwijl zij meer weegt dan de overige planeten tezamen. Haar dichtheid echter is slechts $^1/_4$ van die der Aarde, of dezelfde als die van de Zon. Jupiter heeft een groote afplatting en een snelle aswenteling, die ongeveer 10 uren duurt. De omwentelingstijd is echter niet constant, maar neemt evenals bij de Zon naar de polen toe.

De meest opvallende verschijnselen op de planeetoppervlakte zijn helle en donkere banden, die symmetrisch ten opzichte van den aequator loopen (*Plaat X*). Deze banden zijn geen onveranderlijke formaties, doch zijn aan groote stoornissen onderhevig en wij moeten ze beschouwen als geweldige wolkenformaties in den machtigen en onrustigen dampkring van Jupiter.

Aangaande de physische gesteldheid van Jupiter zijn de opvattingen uiteenloopend. Volgens eenige sterrenkundigen zou de planeet een koude vaste kern hebben, omgeven door een zeer uitgebreiden en wolkenrijken dampkring. Tegenover deze opvatting staat de meer waarschijnlijke hypothese, dat Jupiter volstrekt geen vaste oppervlakte heeft, maar een geheel gasvormig, of gloeiend-vloeibaar lichaam is, dat door een machtigen dampkring is omgeven. De planeet zou in een overgangstoestand naar verdichting verkeeren en men zou haar dus moeten beschouwen als een stervende zon.

Jupiter heeft een heel stel wachters. Van de tot dusver

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

bekende negen manen zijn de vier grootste reeds door een binocle als kleine sterretjes te zien.

De zesde planeet vanaf de Zon is Saturnus, die op een gemiddelden afstand van $9^1/_2 \times$ die der Aarde haar omwenteling rondom de Zon in $29^1/_2$ jaar volbrengt. Saturnus is 760 maal grooter dan de Aarde, maar haar dichtheid is zoo gering, dat de planeet op het water zou kunnen drijven. Ook Saturnus heeft een groote afplatting en een vlugge aswenteling ($10^1/_4$ uur). Haar oppervlakte vertoont een stelsel van donkere en lichte banden, parallel aan den aequator, en de physische gesteldheid van Saturnus komt ook in andere opzichten waarschijnlijk sterk overeen met die van Jupiter.

Wat intusschen Saturnus een wonderlijk voorkomen geeft en wat haar een afzonderlijke plaats onder de planeten doet innemen is, dat zij door een ring — of liever door een stelsel van ringen — omgeven is, welk phenomeen eerst door HUYGENS nader is verklaard (*Plaat IX*). De ring valt samen met het aequatorvlak der planeet en maakt een helling van 28° met het baanvlak. De buitenste straal van den ring bedraagt 138.000 km., terwijl de binnenkant zich iets meer dan 10.000 km. boven de planeetoppervlakte bevindt. De Saturnusring heeft een dikte van slechts eenige tientallen kilometers, zoodat de ring bijna onzichtbaar is, wanneer wij hem op zijn kant zien. Door theoretische beschouwingen en door een nauwkeurig onderzoek van het licht van den ring is men tot de opvatting gekomen, dat hij uit een enorme zwerm van kleine stofdeeltjes bestaat, die rondom de planeet cirkelen als een zwerm kleine satellieten.

Behalve den ring heeft Saturnus niet minder dan tien wachters, waarvan de grootste ongeveer dezelfde afmeting heeft als onze Maan.

De laatste drie planeten, *Uranus, Neptunus* en *Pluto,* zijn door de groote afstanden, die haar van ons scheiden, slechts

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

weinig bekend. Alleen Uranus kan men onder gunstige omstandigheden nog juist met het bloote oog zien, terwijl Pluto door de grootste kijkers slechts als een zeer zwakke ster zichtbaar is (*Plaat IX*). De afstanden van de planeten tot de Zon zijn respectievelijk 19, 30 en 40 × onzen zonsafstand en haar omloopstijden rondom de Zon bedragen 84, 165 en 249 jaren. Uranus is 60 en Neptunus 70 maal grooter dan de Aarde, terwijl Pluto waarschijnlijk iets kleiner van omvang is dan onze planeet. Uranus en Neptunus hebben dikke dampkringen, zijn afgeplat en hebben vlugge aswentelingen. Deze beide planeten verkeeren vermoedelijk in denzelfden physischen toestand als Jupiter en Saturnus. Uranus heeft vier manen en Neptunus één. Omtrent de physische gesteldheid van Pluto weten wij nog niets.

Voor zoover bekend vormt Pluto de buitenste voorpost van het zonnestelsel. Na Pluto volgt een ontzaglijke afgrond en wij moeten niet minder dan 270.000 × onzen zonsafstand afleggen, voordat wij de dichtstbijzijnde ster bereiken kunnen.

Alvorens wij het zonnestelsel verlaten zullen wij, om onze schets te voltooien, nog enkele soorten hemellichamen beschrijven, die althans tijdelijk tot het zonnestelsel behooren, n.l. de kometen en de meteoren, die in ontelbare myriaden door het Heelal en het zonnestelsel zwerven.

* * *

5. De Kometen en de Meteoren.

Het plotselinge verschijnen der kometen en haar wonderlijk voorkomen hebben sedert onheuglijke tijden verwondering en ontzetting bij bijgeloovige menschen verwekt. Eerst tegen het einde der zeventiende eeuw is de astronomische wetenschap erin geslaagd te bewijzen, dat de kometen niets anders

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

zijn dan hemellichamen, die evenals de planeten zich rondom de Zon bewegen.

De meeste kometen bewegen zich echter in tegenstelling met de planeten in zeer langgerekte elliptische banen om de Zon heen; bovendien liggen de kometenbanen niet in hetzelfde vlak (zooals bij de planeten bij benadering het geval is), maar maken alle mogelijke hoeken met de ecliptica. Wat haar physische gesteldheid betreft verschillen de kometen in groote mate van de planeten. Om haar beter te leeren kennen, zullen wij ons in gedachten in de wereldruimte verplaatsen en een dergelijk merkwaardig hemellichaam opzoeken, hem in zijn baan om de Zon volgen en geleidelijk de veranderingen bestudeeren waaraan de komeet tijdens haar kringloop onderhevig is.

Het is mogelijk dat wij in de buitenste deelen van ons zonnestelsel overblijfselen van den oernevel, waaruit het planetenstelsel zich ontwikkeld heeft, ontmoeten, of ophoopingen van stofdeeltjes die voortdurend van de Zon worden weggestooten en die door den stralingsdruk tot aan de grenzen van ons zonnestelsel worden weggevoerd, waar zij zich tot stofwolken en tot enkele groote particels (*meteoren*) samenvoegen. Het is echter ook mogelijk, dat de Zon tijdens haar vaart door de wereldruimte een dergelijke wolk uit kosmische stof en meteoorsteenen opvangt, welke wolk dan door de aantrekkingskracht der Zon gedwongen wordt een baan om haar te beschrijven. Het ware verloop bij het ontstaan van een komeet is echter niet bekend.

Wij hebben dus voor ons een ontzaglijk groote, donkere wolk, die een enormen zwerm van wijd uiteenverspreide kleine vaste deeltjes, meteoren en kosmische stof bevat. De afmetingen van een dergelijke wolk zijn buitengewoon groot en kunnen soms die der Zon vele malen overtreffen, doch de dichtheid is zoo klein, dat haar gewicht in het niet zinkt ten opzichte van dat eener planeet. Door de aantrek-

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

kingskracht der Zon beweegt de wolk zich met groote snelheid naar het binnenste van het planetenstelsel.

De wolk is nog donker, koud en onzichtbaar voor aardsche waarnemers en eerst nadat zij binnen de Marsbaan komt, wordt zij langzamerhand zichtbaar en openbaart zij zich als een flauw lichtplekje aan den nachtelijken hemel.

Naarmate de wolk de Zon nadert, begint zij actief te worden: de lichtsterkte neemt toe en de intense zonnestralen verwarmen de kometenmaterie, waardoor gassen vrij beginnen te komen, zoodat ten slotte de wolk door een omvangrijk gasomhulsel omgeven wordt. Wij zien nu de komeet als een heldere kern, die door een nevelsluier omgeven is. De gassen beginnen licht uit te stralen; en een spectraalanalytisch onderzoek toont aan, dat verbindigen van koolstof met waterstof, stikstof en zuurstof (b.v. de koolstikstofverbinding: *cyaan*) en somtijds metaaldampen aanwezig zijn.

Door den druk van de zonnestralen worden gasmoleculen en fijne stofdeeltjes van de komeet weggestooten en de komeet begint een *staart* te ontwikkelen. De staart, die meestal van de Zon is afgekeerd, is dus geen permanent verschijnsel, maar wordt veroorzaakt door den invloed der zonnestralen en de kometenmaterie stroomt voortdurend door den staart weg als de rook van den schoorsteen eener stoomboot. De kometenstaarten kunnen een aanzienlijke lengte bereiken; er zijn zelfs staarten van eenige honderd-millioenen kilometers bekend. De staart is echter uiterst ijl, zoodat de sterren door hem heen schemeren (*Plaat XI*).

Wanneer de komeet dicht bij de Zon komt, wordt zij tengevolge van het helle licht hiervan onzichtbaar en vertoont zich eerst weer na den perihelium-doorgang, d.w.z. nadat de komeet het keerpunt van haar baan voorbijgegaan is. Enkele dagen na dit gebeuren bereikt de komeet haar grootsten glans. Zij verwijdert zich nu spoedig van de Zon, wordt kleiner en zwakker; de staart verdwijnt en na eenige weken of maanden

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

is de komeet nog slechts zichtbaar als een kleine nevelvlek, die langzamerhand geheel uit onzen gezichtskring verdwijnt.

Ieder jaar ontdekt men eenige nieuwe kometen, maar de meeste zijn slechts door kijkers waarneembaar en betrekkelijk zelden ziet men ze met het ongewapend oog.

Zooals reeds gezegd, zijn de kometenbanen meestal langgerekte ellipsen. Door de storingen die de groote planeten uitoefenen zijn de kometenbanen aan belangrijke veranderingen onderhevig: de komeet kan uitgeslingerd worden in een parabolische baan en dan verlaat zij het zonnestelsel om nooit weer terug te keeren in de nabijheid der Zon. Doch de baan kan zich ook door den invloed der planeten veranderen in een elliptische baan van kleinere excentriciteit. In dat geval keert de komeet na een korter of langer tijdperk weer terug. Vele dergelijke periodieke kometen zijn bekend. De meest bekende is de *Komeet van Halley* (*Plaat XI*), die, met een omloopstijd van omstreeks 80 jaar, reeds een tiental keeren in de buurt van de Zon gekomen is, het laatst in 1909-1910, bij welke gelegendheid de Aarde door den staart der komeet is gegaan.

Door de aantrekkingskracht der groote planeten wordt de kometenmaterie langzamerhand over de baan verspreid: de komeet lost zich op. Komt de Aarde tijdens haar kringloop rond de Zon in aanraking met dergelijke overblijfselen van een komeet (een „meteorenzwerm"), dan krijgen we prachtige sterrenregens te zien. De *„vallende sterren"* zijn eigenlijk kosmische steenen of kleine overblijfsels van kometen, die met groote snelheid den dampkring der Aarde binnendringen, waar zij door de sterke wrijving gloeiend worden en verdampen en waarbij zij helle strepen aan den hemel achter zich laten. Bij uitzondering kunnen zij zóó groot zijn, dat zij op de aardoppervlakte terechtkomen als meteoorsteenen. In dergelijke gevallen spreekt men van *vuurbollen* of *boliden*.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Hiermede is onze schets van het zonnestelsel voltooid. Wij zullen in het volgende hoofdstuk de fonkelende hemellichten, de vaste sterren, aan een bespreking onderwerpen en trachten met gebruikmaking van de recente vorderingen der astrophysica haar mysterie eenigszins te ontsluieren.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

II. DE STERREN.

„De natuur is eindeloos in verscheidenheid en diepte. En de wetenschap kan haar slechts in een eindeloos proces van vooruitgang benaderen."

A. PANNEKOEK.

Er zijn in de natuur weinig verschijnselen, die zoo machtig aangrijpend op ons inwerken als de sterrenhemel bij volkomen heldere, onbewolkte nachten met zijn duizenden flonkerende lichtpunten van verschillende grootten en nuances en zijn prachtigen Melkweg, die als een zilverlichtende gordel het firmament omspant.

Reeds in een vroeg cultuurstadium heeft de sterrenhemel de aandacht der menschen met onweerstaanbare macht getrokken. Men leerde spoedig de grootste en meest opvallende sterren samenvoegen tot meer of minder markante groepeeringen, sterrenbeelden of constellaties genaamd. Men gaf ze de namen van dieren of mythologische persoonlijkheden en de meest schitterende sterren kregen bovendien eigennamen, die thans nog in gebruik zijn. Rijk met scheppende fantasie begiftigd, zagen b.v. de oude Grieken de trekken van goden, menschen en dieren waar wij slechts een chaotisch gewemel van sterren zien. Deze namen der klassieke oudheid zijn tot heden bewaard gebleven; bovendien zijn er nog andere aan toegevoegd.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

1. Algemeene definities.

Voor het ongewapend oog zijn omstreeks 2000 sterren tegelijkertijd zichtbaar. Van oudsher heeft men de voor het bloote oog zichtbare sterren naar hare schijnbare helderheid in een stelsel van zes z.g. *grootte-klassen* of *magnituden* gerangschikt. De helderste sterren werden tot de eerste grootte-klasse gerekend, terwijl men de zwakste ternauwernood zichtbare sterren, sterren der zesde grootte noemde. Naderhand heeft deze indeeling der sterren in grootte-klassen een wetenschappelijken grondslag gekregen en is ze ook uitgebreid tot die sterren, welke zelfs voor het bloote oog onzichtbaar zijn. De helderheids-schaal is verder zoodanig vastgelegd, dat de verhouding tusschen de lichtsterkten van twee sterren, behoorend tot op elkaar volgende grootte-klassen, constant is en ongeveer gelijk staat aan $2^1/_2$. Een ster der eerste grootte straalt dus $2^1/_2$ maal zooveel licht uit als een ster der tweede grootte en een verschil van vijf magnituden komt overeen met een verhouding der lichtsterkten van één tot honderd.

Hoe grooter kijkers wij gebruiken, hoe zwakker sterren wij kunnen waarnemen. En met behulp van de fotografie kunnen wij nòg zwakkere sterren bereiken, aangezien de fotografische plaat, in tegenstelling met het menschelijk oog, het vermogen bezit lichtindrukken op te tellen. Met de grootste telescopen van den laatsten tijd kunnen zelfs sterren van de 21ste magnitude, die een millioen maal zwakker zijn dan een ster der zesde grootte, fotografisch opgenomen worden.

De helderheid der sterren wordt tegenwoordig zoo nauwkeurig bepaald (met behulp van verschillende z.g. *photometrische* methoden), dat het noodig is geworden ook decimalen te gebruiken bij de opgave van de magnitude. Om de magnitude der allerhelderste sterren te kunnen aangeven is het

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

bovendien noodzakelijk gebleken ook negatieve grootten te gebruiken om haar in de magnitude-schaal te doen aansluiten. Zoo heeft b.v. de Zon de schijnbare grootte — 26,7 en de helderste ster aan den hemel, Sirius, de magnitude — 1,6.

De schijnbare grootte der sterren zegt ons echter niets omtrent haar werkelijke lichtkracht of absolute grootte (magnitude). Om de absolute grootte eener ster te kunnen bepalen moeten wij ook den afstand der ster kennen, aangezien de lichtsterkte evenredig met het vierkant van den afstand afneemt.

Als eenheid van afstand gebruikt men vaak in de sterrenkunde *„de parsec"*; daarmee wordt bedoeld: de afstand, van waaruit men de straal der aardbaan onder een hoek van 1" te zien krijgt. (De grootte van den hoek, waaronder men de straal der aardbaan ziet heet de *„parallax"*). Eén parsec is ruim 206.000 zonneafstanden of ruwweg 30 billioen kilometers. De lichtstraal heeft, met een snelheid van 300.000 km. per seconde, $3^1/_4$ jaar noodig om den afstand van een parsec af te leggen. Behalve de parsec gebruikt men ook als eenheid voor sterre-afstanden het *lichtjaar*, dat de weg beteekent, dien het licht in één jaar aflegt, hetgeen ongeveer gelijk staat met $9^1/_2$ billioen kilometers. Door een internationale afspraak wordt nu met de „absolute grootte" eener ster aangegeven de grootte, die de ster zou toekomen wanneer zij op een afstand geplaatst werd van 10 parsecs of 32,6 lichtjaren. De absolute magnitude van de Zon is b.v. + 4,8.

De vaste sterren zijn zeer dun verspreid in het oneindige Heelal. Zouden wij de sterren in hare afmetingen mogen vergelijken met speldeknoppen, dan zouden hare onderlinge afstanden reeds in honderden kilometers geteld moeten worden.

De directe bepaling van dergelijke duizelingwekkende

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

afstanden behoort tot een der allermoeilijkste vraagstukken der metende sterrenkunde en eischt het vermogen van de grootste kijkers. Maar ook met behulp van de grootste telescopen van den tegenwoordigen tijd kunnen wij uitsluitend de afstanden tot de allerdichtstbijzijnde sterren direct opmeten. De methode bij dergelijke afstandsmetingen van sterren is in principe dezelfde als waarvan de landmeter gebruik maakt om den afstand tot een onbereikbaar punt in het terrein te bepalen: een zekere basis wordt opgemeten en vanuit de beide eindpunten worden de hoeken gemeten, die de gezichtslijn tot het voorwerp met die basis maken. Bij de bepaling van ster-afstanden moeten wij echter gebruik maken van de langst mogelijke basis die ons ten dienste staat, n.l. de middellijn der aardbaan. Niettegenstaande deze geweldige basis werden de parallaxen van verreweg de meeste sterren nietig klein. De grootste bekende parallax eener ster bedraagt inderdaad slechts 0".76, d.w.z. vanuit deze ster wordt de straal der aardbaan onder denzelfden hoek gezien, als bij den gulden 't geval is ten opzichte van een afstand van $7^1/_2$ kilometer. Tegenwoordig zijn er ongeveer 2000 ster-afstanden bepaald met behulp van de zoo juist besproken zuiver trigonometrische methode. Om de interstellaire ruimten te kunnen peilen moeten wij echter gebruik maken van andere (indirecte) methoden, die later beschreven zullen worden.

* * *

2. Korte beschouwing over de atoom-theorie.

De sterren zijn soortgelijke lichamen als onze Zon, d.w.z. gloeiende gasbollen van ontzaglijke afmetingen, die zich alleen door hun grooten afstand voordoen als nietige, dimensielooze punten.

De eenige „verbinding", die wij met deze verafgelegen zonnen hebben, zijn de flauwe lichtbundels, die ons bereiken.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Aangezien de straling dienst doet als de draagster der verschillende eigenschappen van de materie en tevens haar physische gesteldheid beschrijft, moeten wij, om ons eenigszins een denkbeeld te kunnen vormen van de werkelijke natuur der sterren, trachten het cijferschrift van het sterrenlicht te ontraadselen.

Een eigenschap van het sterrenlicht, n.l. de intensiteit hebben wij reeds leeren kennen. Om verder te kunnen komen en conclusies te kunnen trekken aangaande den physischen toestand der sterren moeten wij het sterrenlicht spectraalanalytisch onderzoeken en de wetten der atoomphysica op de ster-spectra toepassen. Zooals een beroemd Amerikaansch sterrenkundige het uitgedrukt heeft geven n.l. de kleinste deeltjes in de natuur ons den sleutel om de geheimen van de grootste te ontsluiten.

Ofschoon de tegenwoordige voorstellingen van het atoom slechts beschouwd moeten worden als schematisch en als een ruwe benadering van de werkelijkheid, geven zij ons in groote trekken toch een goed en vooral een aanschouwelijk beeld van het lichtuitstralingsproces. Overeenkomstig de „klassieke" atoomtheorie van RUTHERFORD en BOHR neemt men aan, dat het atoom bestaat uit een positief electrisch geladen kern van buitengewoon kleine afmetingen, die echter de voornaamste massa van het atoom uitmaakt. Rondom deze kern cirkelen gelijk de planeten rondom de Zon een aantal negatief electrisch geladen deeltjes, de *electronen*, die elk een electrostatische eenheidslading dragen en die ruim 1800 maal lichter zijn dan de kern. De positieve lading der kern is gelijk aan de som van de negatieve ladingen der electronen, zoodat het atoom naar buiten neutraal is, d.w.z. electrisch geheel ongeladen.

De elementen verschillen nu slechts van elkaar door het aantal der electronen, die hun atomen opbouwen en dit aantal wordt door het atoomnummer van het element aangegeven.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Het allereenvoudigst opgebouwde element is de waterstof met het atoomnummer 1. Het waterstof-atoom bestaat dan ook uit een kern, die slechts door één electron omcirkeld wordt (*Fig. 1*). Daarna volgt het helium-atoom met een kern en 2 electronen, het lithium-atoom met een kern en 3 electronen enz., tot we eindelijk het zwaarste atoom krijgen, dat van uranium, dat uit een zware kern en niet minder dan 92 electronen bestaat.

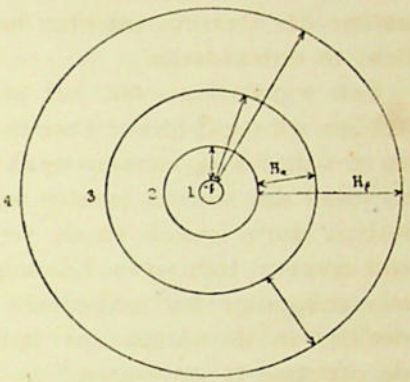


Fig. 1. Bohr-model van het Waterstofatoom met vier electronbanen. De pijlen geven electronsprongen aan.

Hoe grooter het aantal electronen is, dat het atoom van een element bezit, hoe ingewikkelder de bouw is van het atoom. In overeenstemming met de wetten der atoomtheorie loopen de electronen niet in willekeurige banen rondom de kern, maar zijn hun banen aan bepaalde voorwaarden gebonden. Bij elementen met meerdere electronen zijn verder de electronen in groepen of schillen gerangschikt, waarvan elke schil een bepaald aantal electronen bevat met ongeveer gelijke banen. De electronen in de buitenste schil geven de physische en scheikundige eigenschappen van het element aan en zijn verder de bron van het optisch spectrum van het element, terwijl de inwendige electronen het z.g. röntgenspectrum veroorzaken.

Wanneer een electron in zijn laagste baan loopt, straalt het atoom geen licht uit. De lichtuitstraling wordt alleen dan tot stand gebracht wanneer het electron sprongsgewijze overgaat van een groote, energie-rijke baan tot een kleinere, energie-armere baan. Bij een dergelijken electronsprong

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

wordt door het atoom een bepaalde hoeveelheid energie uitgestraald, waarvan de trillingstijd op een eenvoudige wijze in verband staat met het verschil in energie van de beide banen, waartusschen de overgang plaats heeft gegrepen. Het uitgestraalde licht brengt dus een emissielijn van een bepaalde golflengte tot stand in het spectrum van het element. Wordt daarentegen door het atoom energie opgenomen, dan springt het electron over van een baan van lagere energie naar een baan van hoogere energie, en een met het energieverschil tusschen de beide baan-niveau's correspondeerende hoeveelheid energie wordt door het atoom opgeslorpt, wat als een absorptielijn waargenomen kan worden.

Uitgaande van bepaalde veronderstellingen omtrent de electronbanen kan men met behulp van het geschetste atoommodel op een eenvoudige en aanschouwelijke wijze b.v. de karakteristieke reeks van lijnen in het spectrum van de waterstof verklaren. Is het aantal electronen groot, dan wordt het spectrum van het element zeer ingewikkeld en rijk aan lijnen en een gedetailleerde verklaring biedt groote moeilijkheden.

Bij lage temperaturen verkeeren de atomen in hun normalen toestand met de electronen in hun kleinste banen. Wordt echter stralende energie toegevoerd, dan gaan de electronen over in steeds grootere banen, afhankelijk van de hoeveelheid toegevoerde energie. Het kan echter ook gebeuren, dat de toegevoerde hoeveelheid energie zóó groot is, dat een of meerdere van de buitenste electronen van het atoom losraken en tot buiten het bereik der aantrekkingskracht van de kern weggeslingerd worden. Het atoom begint dan te *„ioniseeren"*. Het geïoniseerde atoom heeft één of meerdere electronen minder dan het neutrale atoom, maar gedraagt zich in alle opzichten als een gewoon atoom. Zijn spectrum echter (het z.g. „vonkspectrum") verschilt aanzienlijk van dat van het normale atoom (het z.g. „boogspectrum")

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

en heeft inderdaad zeer veel overeenkomst met het spectrum van het voorafgaande element, waarvan het atoomnummer een eenheid lager is.

Na deze inleidende beschouwing over den bouw van het atoom en de natuur van het lichtuitstralings-verschijnsel zullen wij overgaan tot de bestudeering der spectra van de sterren en zullen wij nader onderzoeken welke conclusies wij kunnen trekken uit een spectraalanalytisch onderzoek van het sterrenlicht.

* * *

3. De spectraalanalyse der sterren.

Evenals de Zon zijn ook de sterren door dampkringen omgeven, die van lager temperatuur zijn dan het inwendige. De ster-atmosfeer bevat een mengsel van stoffen in gasvorm, welker atomen uit de photosfeerstraling het licht van de voor elk element karakteristieke golflengten absorbeeren. Het spectrum van een ster vertoont derhalve een continu spectrum, dat afkomstig is van het photosfeerlicht en dat meestal door een reeks fijne absorptielijnen doortrokken is (bij uitzondering komen wel eens emissielijnen voor), welke afkomstig zijn van de ster-atmosfeer.

De spectraalanalytische onderzoekingen der sterren hebben een rijkdom aan spectrale verscheidenheden tusschen de sterren onderling ontsluierd. Door bestudeering van de intensiteit van het continu spectrum, en tevens de groepeering van enkele gemakkelijk te onderscheiden lijnen kan men de sterren volgens het karakter harer spectra in een reeks van meer of minder scherp onderscheidene typen, z.g. *spectraal-klassen*, rangschikken. Het overgroote deel der sterren kan ondergebracht worden in een der volgende 7 spectraal-klassen, die afkomstig zijn van de Harvard Sterrenwacht in Amerika, n.l.: O, B, A, F, G, K en M. (*Plaat XIII*). In deze volgorde vormen de spectraal-klassen een reeks van gelei-

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

delijk veranderende typen met allerlei tusschenvormen en overgangen ; zij vormt tevens een reeks van afnemende temperatuur en toenemende kleur der sterren.

De O-sterren vertegenwoordigen een kleine groep van sterren van hooge temperatuur en groote absolute helderheid, waarvan de spectra vaak ook emissielijnen vertoonen. De B-sterren zijn blauwachtig-witte sterren van hooge temperatuur en spectra, die door heliumlijnen gekarakteriseerd zijn. De zuiver witte A-sterren vormen een groote groep, wier spectra geheel onder den invloed staan van de reeks der waterstoflijnen. Bij de geelachtig-witte F-sterren beginnen de lijnen H en K van geïoniseerd calcium alsmede enkele metaallijnen te voorschijn te komen. De G-sterren, tot welke groep de Zon behoort, zijn gele sterren, waarvan de spectra een groote hoeveelheid metaallijnen bevatten. De K-sterren zijn roodachtig-gele sterren, waarbij de metaallijnen nog sterker optreden dan bij de G-sterren en waarbij ook absorptiebanden te voorschijn komen. De M-sterren zijn ten slotte roode sterren van lage temperatuur met absorptiebanden in de spectra, welke op de aanwezigheid van scheikundige verbindingen in haar dampkringen duiden (b.v. titaniumoxyd).

Het is een bekend verschijnsel, dat een gloeiend voorwerp witter van kleur wordt naarmate de temperatuur stijgt. Verhit men b.v. een metaaldraad, dan begint hij bij omstreeks 500° C. te gloeien en dus rood licht uit te stralen. Stijgt de temperatuur, dan komen er stralen van steeds kortere golflengten bij, zoodat de kleur geleidelijk overgaat in geel, geelachtig-wit en wit. Wordt nu het spectrum van het voorwerp onderzocht, dan vindt men, dat zijn maximale intensiteit naarmate de temperatuur stijgt geleidelijk naar kortere golflengten verschoven wordt, terwijl het intensiteits-verloop van het spectrum tegelijkertijd verandert.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Hoe de spectrale intensiteit over de golflengten bij verschillende temperaturen verdeeld is, is nauwkeurig bekend door de *stralingswet van* PLANCK in het geval, dat het lichtuitstralende voorwerp een „absoluut zwart lichaam" is, d. w. z. een lichaam dat alle straling, die er op valt onverschillig van welke golflengten, absorbeert *(Fig. 2)*. Met behulp van deze wet kunnen wij dus uit de sterkte van de straling van elke golflengte in het spectrum de temperatuur van het gloeiende lichaam berekenen.

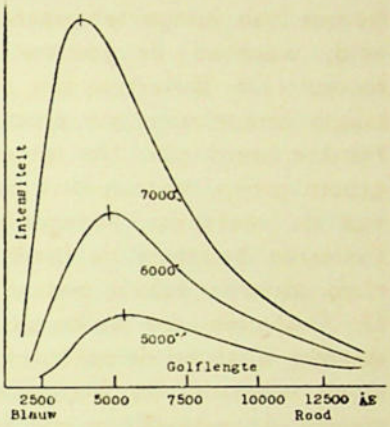


Fig. 2. Grafische voorstelling van de stralingswet van Planck bij verschillende temperaturen.

Veronderstellen wij nu echter, dat de sterren als zwarte lichamen stralen, een veronderstelling die bij benadering juist is gebleken, dan kunnen wij uit de intensiteitsverdeeling van het continu spectrum eener ster en met behulp van de wet van PLANCK haar z.g. „*effectieve temperatuur*" bepalen, welke bij benadering overeenkomt met haar ware oppervlakte-temperatuur.

Oorspronkelijk meende men, dat de verschillende spectraalklassen aan verschillen in de scheikundige samenstelling der sterren toegeschreven moesten worden, maar later is men tot het inzicht gekomen, dat het spectrale karakter der sterren in nauw verband staat met hare temperaturen. Door theoretische beschouwingen heeft men inderdaad de temperatuur, die in een ster-atmosfeer heerschen moet om de spectraallijnen der verschillende stoffen haar grootste sterkte te doen bereiken, kunnen bepalen. Door een nauwkeurige studie van de sterkte

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

der spectraallijnen kan men dus de plaats aanwijzen, die een spectraal-klasse moet innemen in de temperatuur-schaal, — men kan m.a.w. de gemiddelde temperatuur der sterren dezer spectraal-klasse berekenen. Deze methode geeft temperatuur-waarden, die geheel overeenkomen met die, welke berusten op een onderzoek van de intensiteitsverdeeling van het continu spectrum der sterren.

Als resultaat van de temperatuurbepalingen der sterren kan worden aangetoond, dat de temperatuur voor de B-sterren ongeveer 20.000°, van de witte sterren (A-sterren) ongeveer 10.000°, van de gele sterren (G-sterren) ongeveer 6000° en van de roode sterren (M-sterren) ongeveer 3000° C. bedraagt.

Temperatuurbepalingen door een nauwkeurig onderzoek der spectrale intensiteitsverdeeling is een zeer omslachtig proces, dat bovendien instrumenten van groot vermogen eischt, waardoor een dergelijk onderzoek slechts met succes volbracht kan worden bij heldere sterren. Bij het bestudeeren van lichtzwakke sterren moet men zich meestal beperken tot het bepalen van gemiddelde intensiteiten van meer of minder uitgebreide spectraalgebieden. Men krijgt dan een maatstaf van de *kleur der ster*, waaruit men bij benadering de temperatuur kan afleiden.

Bepaalt men de grootte eener ster deels door visueele, deels door fotografische waarnemingen, dan krijgt men meestal niet dezelfde helderheid omdat de maximale kleur-gevoeligheid van het menschelijk oog in het gele, terwijl die der fotografische plaat in het blauwe of violette spectraal-gebied ligt. Het verschil tusschen de fotografische en visueele magnituden eener ster is een maatstaf voor de kleur der ster, welke men de *kleur-index* noemt. De schaal van de kleur-indices is dusdanig vastgelegd, dat de kleur-index nul wordt voor de zuiver witte sterren (spectraal-klasse A_0). Bij de B-sterren is de kleur-index negatief; bij de gele sterren is zij omstreeks + 1.0 magnitude en bij de roode sterren + 2.0.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Bij statistische onderzoekingen van lichtzwakke sterren gebruikt men bij voorkeur kleur-index bepalingen. Met behulp van den kleur-index kan men later de benaderde spectraal-klassen van de onderzochte sterren afleiden. De meer of minder onzekere visueele helderheden worden tegenwoordig vervangen door „fotovisueele", die men verkrijgt door de sterren op te nemen op een plaat, die gevoelig gemaakt is voor hetzelfde spectraalgebied als voor dat van het menschelijk oog.

Een studie der *lijnen* in de sterspectra geeft in de eerste plaats een qualitatieve bepaling der gassen, die de steratmosfeeren opbouwen. Door de golflengte der lijnen in de sterspectra op te meten en te vergelijken met die van bekende stoffen op de Aarde kunnen wij dus de scheikundige samenstelling der sterren nagaan.

Tegenwoordig kunnen wij nog een stap verder gaan: Door een nauwkeurig onderzoek van den *vorm der spectraallijnen* — de „contour" — d.w.z. hoe de absorptie geleidelijk toeneemt naar het centrum der lijn kunnen wij inderdaad het aantal atomen bepalen, dat werkzaam is bij het ontstaan der spectraallijn en zoodoende de quantitatieve hoeveelheden der stoffen in de buitenste lagen eener ster nagaan. Voor de Zon, de meest nabijgelegen en best bekende ster heeft men b.v. gevonden, dat het gewicht der waterstof in de zons-atmosfeer bijna de helft van haar totale gewicht bedraagt. Ook zuurstof is rijkelijk aanwezig. Onder de metalen is magnesium het meest voorkomende met ongeveer 150 gr. per vierkante meter; daarna volgt ijzer met 100, kiezel met 60, natrium met 40 gr./m² enz.

Uit dergelijke onderzoekingen is men tot de opvatting gekomen, dat de elementen in ongeveer dezelfde relatieve hoeveelheden overal in de wereldruimte voorkomen en overeenstemmen met die op de aardoppervlakte en met die der

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

meteoren. Andere dan op de aarde reeds bekende elementen zijn niet op de sterren aanwezig; weliswaar zijn de voorwaarden, onder welke de atomen der ster-atmosfeeren tot straling of opslorping van licht gebracht worden, meestal van geheel anderen aard dan die, welke wij tot stand kunnen brengen in onze aardsche laboratoria. De verklaring der ster-spectra heeft daarom vaak moeilijkheden opgeleverd en voorheen heeft men ook gebruik moeten maken van „hypothetische" stoffen om enkele lijnen in de ster-spectra thuis te kunnen brengen. Dank zij den vooruitgang der atoomphysica in de laatste jaren is thans de oorsprong van vele eertijds onbekende lijnen in de ster-spectra definitief opgehelderd.

De toestanden, waarin de materie voorkomt, veranderen van ster tot ster, maar overigens schijnt de materie eenvormig verspreid te zijn in het Heelal.

Reeds in 1905 heeft HERTZSPRUNG te Leiden de aandacht er op gevestigd, dat onder de gekleurde sterren twee verschillende soorten optraden, n.l. eenerzijds *„reuzensterren"*, — geweldige gasbollen van enorme afmetingen, groote absolute helderheden en kleine soortelijke gewichten, en anderzijds *„dwergsterren"* van meer bescheiden afmetingen die te vergelijken zijn met die onzer Zon, van kleine absolute helderheden en tamelijk hooge dichtheden.

De ontdekking van HERTZSPRUNG is later bevestigd door den Amerikaan RUSSELL en anderen.

Deze twee groepen sterren hebben, oppervlakkig beschouwd, ongeveer hetzelfde spectrum. Een meer gedetailleerde studie van de ster-spectra heeft intusschen aangetoond, dat de intensiteit van eenige lijnen verandert met de absolute magnitude der ster. De oorzaak hiervan is dat de druk in de atmosfeer van een reuzenster belangrijk kleiner is dan die van een dwergster. Bovendien zijn in het violette gedeelte van het spectrum eener reuzenster absorptiebanden

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

aanwezig, waardoor haar kleur in 't algemeen rooder is dan die van een dwergster van dezelfde spectraal-klasse.

Uit de intensiteiten van deze spectraal-lijnen kunnen wij dus de *absolute helderheden* der sterren bepalen en verder zijn wij met behulp van haar schijnbare helderheden in staat haar afstanden te berekenen. De spectraalanalyse heeft ons dus een middel aan de hand gedaan om ster-afstanden of z.g. „*spectroscopische parallaxen*" van sterren af te leiden. Voor statistische doeleinden heeft deze methode een groote beteekenis verkregen aangezien wij met behulp van de spectroscoop honderd- of duizendmaal grootere afstanden kunnen bereiken dan met behulp van de zuivere astrometrische methoden.

Groepeert men de sterren, welker absolute helderheden en spectraal-typen bekend zijn, in een diagram, waarvan de eene coördinaat haar absolute grootte aangeeft en de andere haar spectraalklasse, dan verkrijgt men een z.g. HERTZSPRUNG-RUSSELL *diagram* (H.R.-diagram) dat in Fig. 3 en 4 is weergegeven. De bovenste horizontale band bevat de reuzensterren (de „reuzen-reeks") terwijl de normale sterren zich om een band groepeeren, die schuin van den linker bovenhoek naar rechts beneden loopt. Deze reeks wordt de „hoofd-reeks" genoemd. Haar rechter onderste gedeelte wordt door de gekleurde dwerg-sterren ingenomen (*Fig. 3*).

Bij de witte sterren kunnen absolute helderheden bepaald worden door bestudeering van de intensiteit der waterstoflijnen. De verschillen in absolute helderheden zijn toch hier niet zoo opvallend groot als bij de gekleurde sterren, waarom men dan ook niet van een directe splitsing in reuzen en dwergen onder de *normale* witte sterren kan spreken.

Behalve de normale reuzen heeft men ook onder de sterren „*opperreuzen*" of z. g. „*super-giganten*" ontdekt, welker afmetingen millioenen malen grooter zijn dan die der Zon.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Vele onder hen hebben bovendien veranderlijke helderheden. Hun plaats in het H.-R.-diagram is boven in het rechter vierkant te vinden. Ten slotte hebben wij in het

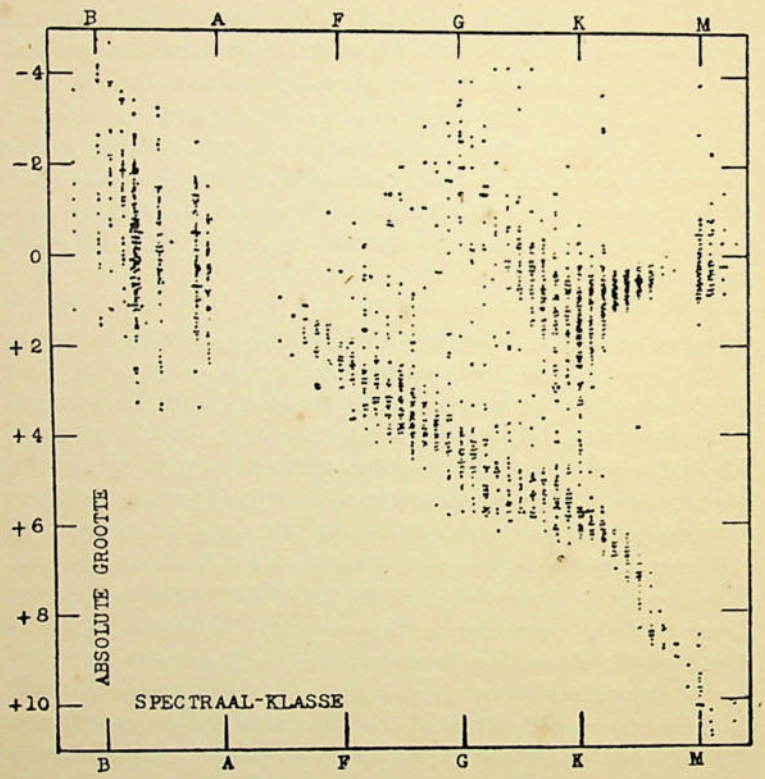


Fig. 3. Het diagram van HERTZSPRUNG- RUSSELL voor ongeveer 2000 sterren.

linker vierkant beneden eenige sterren van buitengewoon kleine absolute helderheid, de z.g. *„witte dwergen"* (*Fig. 4*).

Er zal zich later een gelegenheid voordoen om terug te

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

komen op de beteekenis van het H.-R.-diagram voor onze opvatting omtrent de ontwikkeling der sterren.

Wij hebben tot dusver gezien welk een buitengewoon groote beteekenis de spectraalanalyse heeft gehad voor het verrijken van onze kennis omtrent den physischen toestand der sterren, haar scheikundige samenstelling, haar temperaturen en afstanden. Hiermede zijn echter de toepassingsmogelijkheden van den spectroscoop nog niet uitgeput: de spectraalanalyse van de sterren heeft ons ook een middel aan de hand gedaan om hare *bewegingstoestanden* te bestudeeren.

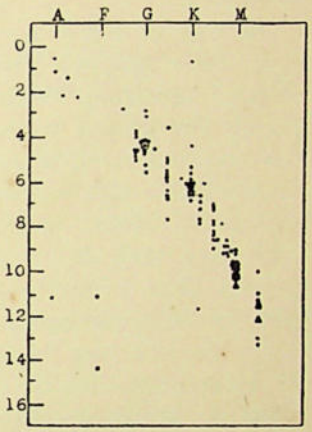


Fig. 4. Het diagram van HERTZSPRUNG- RUSSELL voor dichtbijgelegen sterren volgens onderzoekingen van LUYTEN.

Op grond van een physisch beginsel — *het principe van* DOPPLER — worden de spectraallijnen van een ons naderende lichtbron naar de violette zijde van het spectrum verschoven en omgekeerd naar de roode zijde van het spectrum, wanneer de lichtbron zich van ons verwijdert. Uit de grootte der verschuiving kan men de snelheid van de lichtbron in de gezichtslijn direct in kilometers per seconde afleiden, onafhankelijk van den afstand van de lichtbron tot ons.

Uit de verschuiving der spectraallijnen in een ster-spectrum kunnen wij dus volgens het beginsel van DOPPLER de snelheid der ster in de gezichtslijn of haar z.g. *radiale snelheid* afleiden; daarbij wordt de radiale snelheid positief gerekend, wanneer de ster zich van ons verwijdert en negatief, wanneer ze ons nadert.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Van vele duizenden sterren zijn tegenwoordig de radiale snelheden bepaald. *) Kennen wij bovendien den afstand der ster en tevens haar schijnbare *eigen-beweging*, d.w.z. de verplaatsing der ster zelve aan de sfeer, welke veroorzaakt wordt door den component van de snelheid, die loodrecht op de gezichtslijn staat, dan kunnen wij de grootte en richting van de totale schijnbare snelheid der ster in de ruimte berekenen.

De sterren zijn n.l. — zooals men oorspronkelijk veronderstelde — volstrekt geen „vaste sterren", zij verkeeren in eeuwige beweging. Weliswaar zijn de schijnbare eigen-bewegingen der sterren tengevolge van de geweldige afstanden van ons zóó nietig klein, dat 't algemeen uiterlijk van den sterrenhemel niet noemenswaard veranderd is gedurende historische tijden, maar door nauwkeurige waarnemingen heeft men toch de grootte van de eigen-beweging kunnen bepalen voor enkele tienduizenden nabijgelegen sterren. De grootste eigen-beweging van een ster bedraagt 10″ per jaar, d.w.z. in 180 jaar heeft de ster een afstand afgelegd aan de sfeer gelijk aan de schijnbare middellijn van de Maan. Voor de meeste sterren bedraagt de eigen-beweging echter slechts eenige seconden per eeuw.

Bij de direct gemeten radiale snelheden en schijnbare eigen-bewegingen der sterren weerspiegelt de beweging der Zon (en dus van het zonnestelsel) in de wereldruimte zich ook in de uitkomst. Door een statistische behandeling van alle bekende radiale snelheden of eigen-bewegingen is het mogelijk geweest de richting en de snelheid van het zonnestelsel in de ruimte te bepalen. In verhouding tot de heldere sterren beweegt zich

*) De eerste Catalogus van radiale snelheden, door VOÛTE in 1920 samengesteld, bevat die van ongeveer 2000 hemelobjecten, terwijl in de tweede van 1928 dit aantal op 4000 is gebracht. De laatste Catalogus van radiale snelheden, door de Lick-Sterrenwacht in 1932 samengesteld, bevat omstreeks 7000 objecten (sterren, nevels en sterrenhoopen).

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

het zonnestelsel met een snelheid van ongeveer 20 km./sec. naar een punt „*de apex*" in het sterrenbeeld Hercules.

Corrigeert men de waargenomen snelheden der sterren voor de zonsbeweging, dan verkrijgt men haar werkelijke ruimte-snelheden. Deze bedragen gemiddeld eenige tientallen km./sec. en zijn meestal grooter bij de dwergen dan bij de reuzen, zoodat de snelheden vermeerderen naarmate de absolute helderheid afneemt.

Tenslotte wil ik nog een ander bewegingseffect bij de sterren behandelen, 't welk ook met behulp van den spectroscoop onderzocht kan worden, n.l. de *aswenteling der sterren*.

Wij hebben in het voorgaande gezien, dat de vorm of de contour van een spectraallijn in de eerste plaats bepaald wordt door het aantal atomen, dat de spectraallijn voortbrengt. Dit aantal hangt verder af van de temperatuur en den druk van de laag der ster-atmosfeer, waar de atomen van de bewuste soort zich bevinden. De contour der spectraallijn kan theoretisch berekend worden.

Twee effecten kunnen nu de theoretisch bepaalde lijnencontour vervormen, n.l. ten eerste het „STARK-*effect*" — dat van den electrischen toestand op de ster afhangt — en ten tweede de aswenteling der ster. Beide effecten veroorzaken een verbreeding der spectraallijnen, waardoor de contour een vlak verloop verkrijgt. Het STARK-effect echter beinvloedt meest lijnen, die van elementen met weinig electronen afkomstig zijn (b.v. waterstof en helium), terwijl de rotatie een verbreeding van alle spectraallijnen gezamenlijk tot stand brengt. De laatstgenoemde verbreeding is het resultaat van een DOPPLER-effect: door de aswenteling der ster nadert ons de eene kant, terwijl de andere zich van ons verwijdert. De aswenteling heeft men tot nog toe slechts voor een klein aantal sterren kunnen afleiden en bovendien alleen voor sterren met snelle rotatie, die grooter is dan ongeveer 25

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

km./sec.; kleinere rotatie-snelheden kunnen wij namelijk met de tegenwoordige instrumenteele hulpmiddelen niet met zekerheid meten.

* * *

4. Dubbelsterren en meervoudige sterren.

De massa of het gewicht der sterren valt niet direct uit waarnemingen af te leiden; althans voor sterren, die zich alleen door het Heelal bewegen, hebben wij tot nog toe geen nauwkeurige methode om haar te wegen *). Een gelukkige omstandigheid is het nu, dat een groot aantal sterren dubbel blijken te zijn, d. w. z. dat zij uit twee dicht bij elkaar gelegen zonnen bestaan, die zich gezamenlijk door de ruimte bewegen en physisch met elkaar verbonden zijn. Meer dan 20.000 dubbelsterren zijn ontdekt; vele daarvan zijn z.g. „optische" dubbelsterren, d.w.z. sterren, die toevallig van ons standpunt uit in dezelfde richting gezien worden, maar die in werkelijkheid niets met elkaar te maken hebben.

Meer dan de helft zijn echter waarschijnlijk physische dubbelsterren. Eenige ervan hebben zulke groote schijnbare afstanden, dat men de beide componenten ook met het bloote oog onderscheiden kan, terwijl het meerendeel dier sterren zulke kleine schijnbare afstanden hebben, dat zij slechts door groote kijkers als twee sterren afzonderlijk te zien zijn. Bij meer dan 2000 dubbelsterren hebben jarenlange waarnemingen een verandering in den onderlingen afstand en in de ligging der sterren ten opzichte van elkaar aan het licht gebracht, welke veranderingen bij de meeste sterren moeten verklaard worden als een baanbeweging der beide componenten rondom het gemeenschappelijke zwaartepunt van het

*) PANNEKOEK heeft een poging gedaan om de massa uit de lijnenintensiteiten in spectra van sterren met bekende trigonometrische parallaxen af te leiden.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

systeem. Voor iets meer dan honderd dichtbij gelegen dubbelsterren is het ook gelukt de loopbaan van den component te berekenen (*Fig. 5*). De aanwezigheid van een baanbeweging is een afdoend bewijs, dat wij inderdaad te maken

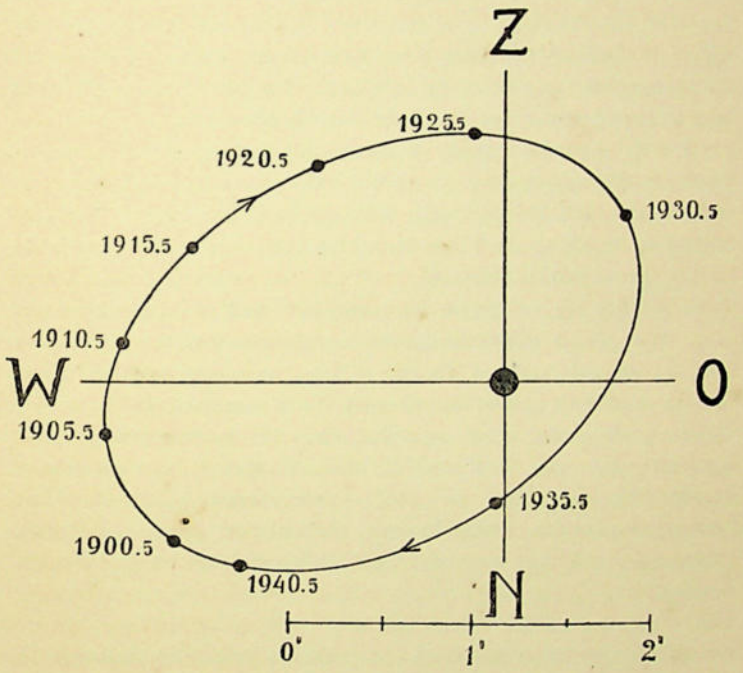


Fig. 5. Loopbaan van de dubbelster β 416, volgens berekeningen van VOÛTE.

hebben met twee zonnen, die door de onderlinge aantrekkingskracht tot een physisch stelsel bijeengehouden worden. Bij de meeste dubbelsterren hebben wij echter geen baanbeweging kunnen constateeren gedurende den relatief korten tijd, dat zij waargenomen zijn. Dat wij desniettegenstaande

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

bij vele dubbelsterren toch waarschijnlijk met physische paren te doen hebben, kan men hieruit afleiden dat de beide componenten dezelfde eigenbeweging of identische radiale snelheden hebben.

De tot nog toe onderzochte dubbelsterbanen zijn alle ellipsen van betrekkelijk groote exentriciteit. De omwentelingstijden varieeren tusschen eenige jaren en eenige eeuwen en de werkelijke onderlinge afstand der beide componenten ligt meestal tusschen 5 tot 30 aardbaanstralen.

Uit de baanbeweging kunnen wij belangrijke conclusies omtrent de massa van de dubbelster trekken, aangezien dezelfde wet, die de planeten dwingt haar rustelooze omwentelingen rondom de Zon te voltooien, ook van toepassing is op de dubbelsterbanen.

Is slechts de relatieve loopbaan bekend, d.i. de beweging van den eenen component ten opzichte van den andere — en verder de afstand tot de dubbelster, dan kan men de totale massa van het stelsel berekenen. Is bovendien de baan van elken component ten opzichte van het gemeenschappelijke zwaartepunt van het stelsel bekend, dan kan men ook de verhouding tusschen de beide stermassa's afleiden. Voor eenige tientallen dubbelsterren hebben wij met behulp van deze methode het gewicht van de componenten kunnen bepalen.

Wanneer de schijnbare onderlinge afstand tusschen de beide componenten minder dan ongeveer 0".1 is, kunnen wij zelfs niet met onze grootste kijkers de dubbelster-natuur constateeren. De spectroscoop geeft ons echter een middel aan de hand om dergelijke nauwe dubbelsterren te ontdekken en te bestudeeren, niettegenstaande zij nooit door het menschelijk oog als zoodanig aanschouwd zijn geworden. De dubbelster-natuur wordt ons n.l. duidelijk doordat de spectraallijnen der ster periodieke verdubbelingen of verplaatsingen

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

naar rood of violet toonen. De oorzaak hiervan is dat de beide sterren gedurende haar beweging om het zwaartepunt van het systeem zich afwisselend van ons verwijderen en ons naderen, waardoor volgens het beginsel van DOPPLER de spectraallijnen zich respectievelijk naar den rooden en naar den violetten kant van het spectrum verschuiven. Uit de verschuiving der spectraallijnen kunnen wij de loopbanen der sterren berekenen en een minimumwaarde der massa's afleiden. De omloopstijden dezer z.g. *spectroscopische dubbelsterren* liggen tusschen eenige dagen en eenige jaren; de excentriciteiten der banen zijn belangrijk kleiner dan bij de visueele dubbelsterren. Tot nog toe zijn er reeds meer dan 1000 spectroscopische dubbelsterren ontdekt. Een van de meest bekende is de ster *Capella* of α Aurigae, de helderste ster in den Voerman, die tegelijkertijd een visueele dubbelster is met een omloopstijd van 104 dagen.

Een bijzondere groep onder de dubbelsterren vormen de nauwe paren, waarbij de baanvlakken slechts kleine hoeken maken met de gezichtslijn *(Plaat XIII)*. Door de baanbeweging der componenten worden periodiek-terugkeerende verduisteringen veroorzaakt, waardoor de ster zeer regelmatige lichtwisselingen vertoont. Door een studie van den vorm van de *lichtkromme*, welke het verband aangeeft tusschen de helderheid der ster en de periode, kan men bij een dergelijke *verduisterings-veranderlijke* met behulp van de radiale snelheden den vorm en de grootte van de loopbaan zoomede de afmetingen der componenten afleiden. Bovendien kan men de totale massa van het stelsel berekenen en in sommige gevallen ook de massa's der componenten. De meest bekende van de verduisterings-veranderlijken is *Algol* in het sterrenbeeld Perseus. De lichtkromme van Algol is in *Fig. 6* weergegeven. De lichtwisselingsperiode, d.i. het tijdperk tusschen twee op elkaar volgende minima, is bij deze ster ongeveer 69 uren.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Bij vele visueele dubbelsterren heeft men ontdekt, dat één der componenten of beide spectroscopische dubbelsterren zijn. In dat geval hebben we met een systeem te maken, dat uit drie of meer physisch verbonden sterren bestaat, z.g. *meervoudige sterren*. Onder deze sterren zijn ook systemen bekend waarbij eenige van de componenten visueel waar te nemen zijn; dat is b.v. het geval bij de bekende meervoudige sterren ε *Lyrae* en γ *Andromedae*. Een volledige baanbepaling bij dergelijke systemen is een tot dusver onopgelost vraagstuk.

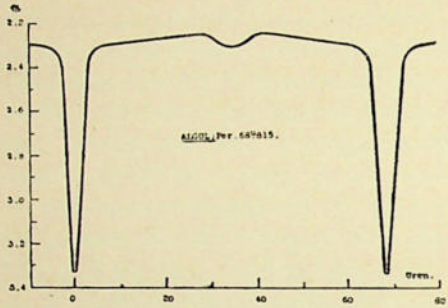


Fig. 6. De lichtkromme van Algol, die de periodieke verandering der schijnbare magnitude (m) aangeeft.

Het probleem van het ontstaan van dubbelsterren is het onderwerp geweest van theoretische onderzoekingen, o.a. door den Engelschman JEANS. Volgens de theorie van JEANS duiden vele omstandigheden erop, dat de dubbelsterren ontstaan zouden zijn doordat een enkelvoudige ster zich in tweeën heeft gesplitst. In het begin zijn daarbij de beide componenten zeer dicht bijeen gelegen en hebben zij een vlugge beweging in een loopbaan van geringe excentriciteit: het systeem vormt dus een spectroscopische dubbelster. Door de onderlinge getijkrachten wordt geleidelijk de baanbeweging der componenten geremd, waarbij onder vertraging der baanbeweging de beide sterren zich van elkaar verwijderen, totdat wij ze ten slotte als een visueele dubbelster kunnen waarnemen. Het is mogelijk dat de

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

wijde paren zich niet op deze wijze vormden, maar dat zij als condensatiekernen uit een gemeenschappelijken nevel ontstaan zijn.

* * *

5. Veranderlijke sterren en „nieuwe sterren".

Hebben de meeste sterren een standvastige helderheid, bij een groot aantal toch heeft men ontdekt, dat de helderheid aan periodieke lichtwisselingen onderhevig is; dat zijn de z.g. *veranderlijke sterren*. Een type van deze sterren, n.l. de verduisterings-veranderlijken, hebben wij reeds behandeld. Het zijn intusschen geen wezenlijk veranderlijken aangezien haar lichtwisselingen op haar dubbelsternatuur berusten. Bij de echte veranderlijke sterren daarentegen worden de lichtwisselingen toegeschreven aan periodieke schommelingen van de oppervlakten en atmosfeeren. Bij eenige sterren gebeurt de pulsatie met groote regelmatigheid, zoodat de lichtkromme een gelijken vorm toont van periode tot periode, terwijl bij andere de variaties uiterst onregelmatig zijn, zoodat niet na te gaan is aan welke wetten haar lichtwisselingen zijn onderworpen (*Fig. 7*).

De lichtwisselingsperioden der veranderlijke sterren liggen tusschen eenige uren en eenige maanden of jaren. Naar de lengte der periode kan men de veranderlijke sterren in twee klassen verdeelen, elk met eenige nevengroepen. De eerste klasse bevat de *kortperiodische veranderlijken* of de *Cepheïden* (naar de eerst ontdekte vertegenwoordiger, de ster δ Cephei) met perioden van minder dan 70 tot 80 dagen, terwijl de tweede klasse de veranderlijke sterren met langere perioden bevatten (van gemiddeld ongeveer 300 dagen); dat zijn de *langperiodische veranderlijken* of de *Mira-sterren* (naar de eerst ontdekte representante, de ster o Ceti of Mira, in den Walvisch). De langperiodische veranderlijken onderscheiden zich behalve door de langere periode ook in andere opzichten van de Cepheïden: haar *amplitude* (d.i. het ver-

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

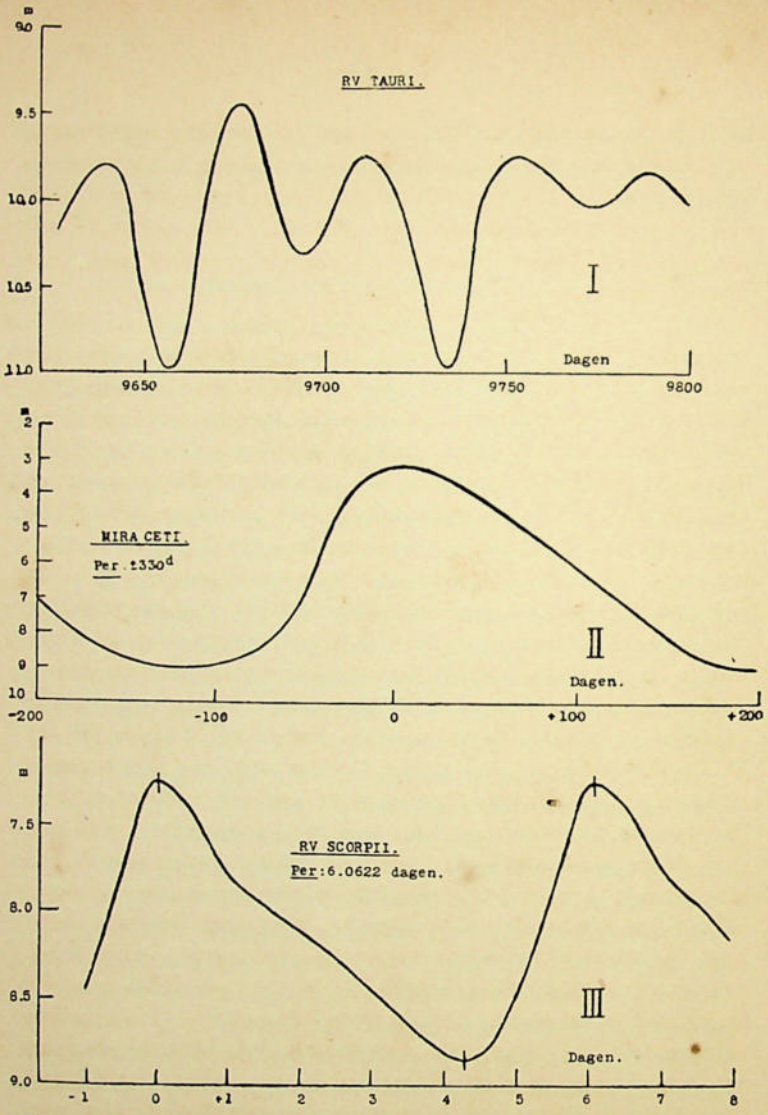


Fig. 7. Verschillende typen van lichtkrommen bij veranderlijke sterren:

I: RV Tauri, een veranderlijke ster met halfregelmatige lichtwisselingen, die nader bestudeerd is door VAN DER BILT (Utrecht). De lichtkromme is ontleend aan zijne onderzoekingen (Recherches Astron. Utrecht).

II: Mira Ceti, een langperiodische veranderlijke.

III: RV Scorpii, een typische Cepheid-veranderlijke, die nader onderzocht is door VOÛTE. De lichtkromme is ontleend aan zijne onderzoekingen (Annalen van de Bosscha-Sterrenwacht).

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

schil in helderheid bij de grootste en kleinste lichtsterkte) bevat ongeveer 4 tot 5 grootte-klassen of meer en haar kleuren zijn diep rood. De Cepheïden zijn daarentegen meestal geelwit of geel van kleur met een amplitude, die ongeveer een magnitude bedraagt. Voor beide klassen groeit de amplitude met de periode.

De Cepheïden vormen een zeer interessante groep van veranderlijke sterren; wij zullen derhalve onze aandacht uitsluitend tot deze groep beperken. Bij deze sterren kunnen wij verschillende typen onderscheiden naargelang van den vorm der lichtkromme of de lengte der periode. Cepheïden met een periode van korter dan één dag worden Cluster-veranderlijke genoemd, daar zij in bepaalde sterrenhoopen in groote menigte optreden (de Cepheid met de kortst bekende periode is de ster van VAN GENT, welker periode slechts $1^2/_3$ uur bedraagt).

Het karakteristieke bij de lichtwisselingen van de Cepheïden is de plotseling snelle toename der helderheid tot een maximum en het langzaam afnemen tot een minimum, zooals getoond wordt in de afgebeelde lichtkromme (*Fig. 7 : III*). Vaak is ook een golf in de dalende lijn der lichtkromme aanwezig. De lichtwisselingen gaan gepaard met een verandering van het spectrum, van de kleur der ster en tevens met periodieke veranderingen van de radiale snelheid. In het maximum zijn b.v. de Cepheïden witter dan in het minimum.

Een interessante omstandigheid, waardoor de Cepheïden voor de sterrenkunde een bijzondere beteekenis hebben gekregen, is, dat men een duidelijk verband heeft ontdekt tusschen de periode der lichtwisselingen en de absolute helderheid: hoe langer de perioden, hoe grooter de absolute helderheid. Uit de periode kan men de absolute helderheid der ster afleiden en met behulp van haar schijnbare helderheid kan men dus haar afstand bepalen. Aangezien alle Cepheïden zonder uitzondering reuzensterren van groote

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

absolute helderheid zijn (meestal super-giganten), vormen zij een uitstekend hulpmiddel om afstanden tot verafgelegen sterrenstelsels te bepalen, en wij kunnen inderdaad met behulp van de Cepheïden afstanden van een millioen of meer lichtjaren afleiden.

Door haar zeer groote beteekenis zijn de Cepheïden bij verschillende sterrenwachten aan systematische onderzoekingen onderworpen, o.a. op de Harvard Sterrenwacht en op die te Leiden en Lembang.

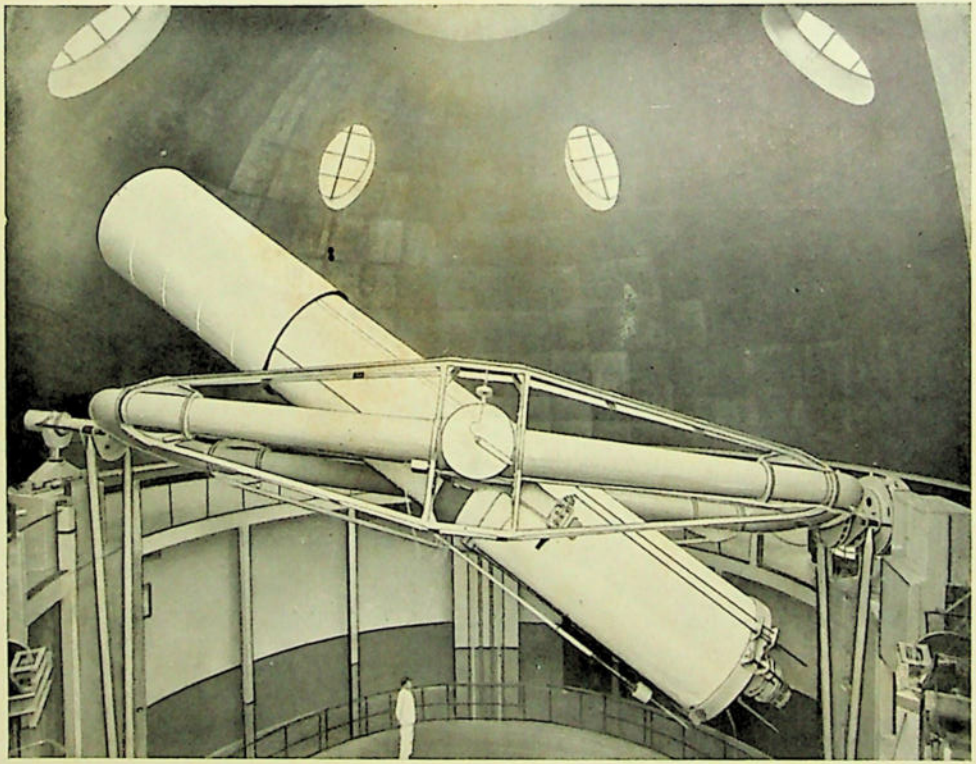
Theoretische onderzoekingen hebben geleerd, dat de lichtvariaties bij de Cepheïden naar alle waarschijnlijkheid door pulsaties van de ster tot stand gebracht worden. Evenals de trillingsduur van een snaar afhangt van hare lengte en dikte en van het materiaal, is de pulsatietijd van een Cepheïd afhankelijk van zijne massa, zijne gemiddelde dichtheid en van de natuur van het stergas.

Tot de veranderlijke sterren behooren ook de z.g. *„nieuwe sterren"* of *„novae"* (de benaming „nieuwe sterren" is niet geheel juist, aangezien de sterren meestal vóór het opvlammen reeds aanwezig waren als zeer zwakke sterren).

Wij hebben hier met sterren te maken, die tengevolge van de een of andere oorzaak plotseling in lichtkracht toenemen, waarbij haar helderheid spoedig 10 tot 100 duizend maal de oorspronkelijke lichtsterkte bereikt. Na het plotselinge opvlammen van de ster, dat eenige uren of dagen duurt, volgt een langzame afname der helderheid, dikwijls gepaard met min of meer onregelmatige lichtwisselingen, totdat de ster ten slotte na eenige maanden of jaren een stationairen toestand bereikt heeft met ongeveer dezelfde helderheid als vóór de catastrophe *(Fig. 8)*.

Het geheele nova-verschijnsel gaat gepaard met eigenaardige spectrale veranderingen van de ster. Gedurende den tijd van de grootste lichtkracht treden b.v. de lijnen

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

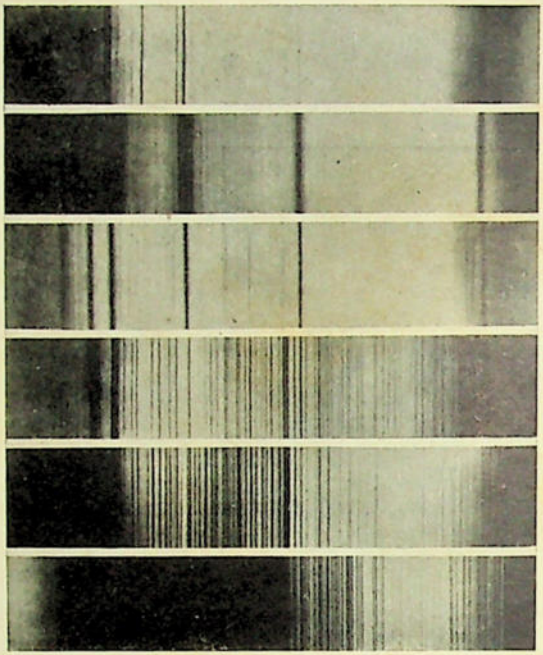


De fotografische dubbelrefractor van de Bosscha-Sterrenwacht te Lembang. Deze refractor is een van de grootste parallax-kijkers van het zuidelijk halfrond. De beide lenzen hebben een middellijn van 60 cm. en een brandpuntsafstand van bijna 11 meter.

Plaat XII.

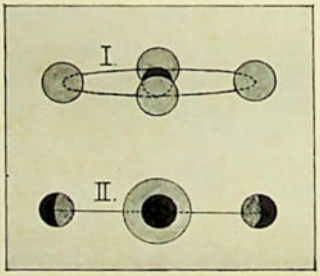
PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Plaat XIII.



(Foto Mount Wilson-Sterrenwacht).

Typen van sterspectra volgens de Harvard-klassificatie.



Verduisterings-veranderlijke (De zwakkere ster is donker geteekend).

I. Het baanvlak maakt een kleine hoek met de gezichtslijn en de verduistering is partieel. (In de figuur zijn vier verschillende standen van de heldere ster ten opzichte van de donkere geteekend).

II. Het baanvlak gaat door de gezichtslijn en de verduistering is totaal. (Hier zijn drie verschillende standen van de donkere ster ten opzichte van de heldere aangegeven).

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

van waterstof en calcium als breede emissiebanden op, terwijl de ster vóór zoowel als ná de uitbarsting van normaal spectraaltype is. In vele gevallen hebben wij verder met

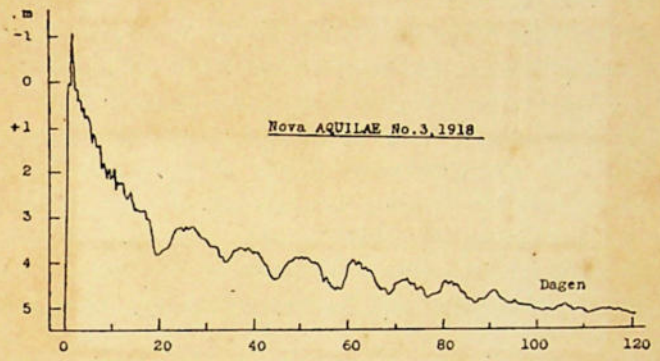


Fig. 8. De lichtkromme van Nova Aquilæ No. 3, 1918, tijdens de eerste vier maanden na haar opvlammen.

behulp van den spectroscoop kunnen waarnemen, hoe tijdens de explosie gasmassa's van de ster worden uitgeslingerd met snelheden van duizenden kilometers per seconde. Bij sommige nieuwe sterren heeft men ook eenige maanden of jaren na de uitbarsting een flauw nevelvlekje rondom de ster waargenomen (b.v. bij Nova Perseï in 1901, Nova Aquilæ 3 in 1918 en Nova Pictoris in 1925). Laatstgenoemde is bijzonder interessant. In Maart 1928 vonden namelijk FINSEN en VAN DEN BOS te Johannesburg, dat de ster dubbel was en later dat zij zich zelfs in vieren had gesplitst.

De meeste nieuwe sterren ontvlammen in of in de nabijheid van den Melkweg en vaak in streken waar zich z.g. donkere nevelvlekken bevinden. In sommige gevallen waren het reuzensterren vóór het nova-stadium, terwijl het in andere gevallen typische dwergsterren waren. De absolute helderheid in het maximum is tamelijk constant en bedraagt volgens LUNDMARK gemiddeld ongeveer —7.0 magn. De novae

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

behooren dus in haar maxima tot de allerhelderste sterren die wij kennen. Ook zij zijn, zooals wij later zullen zien, dienstbaar te maken aan de afstandsbepalingen tot verafgelegene sterrenstelsels.

Vroeger nam men slechts bij toeval het opvlammen van nieuwe sterren waar en iets meer dan 50 dergelijke sporadisch ontdekte novae zijn bekend. Doch sinds men de laatste jaren langs fotografischen weg begonnen is met het stelselmatig nazoeken van nieuwe sterren is het gebleken, dat het novaverschijnsel veelvuldig optreedt, zoodat dit verschijnsel niet als iets buitengewoons beschouwd moet worden maar eer als een normaal verloop in de evolutie der sterren, dat zijn oorzaak vindt in processen in het inwendige der ster.

* * *

6. De natuur der sterren.

Nu wij hebben gezien hoe wij de sterren kunnen onderzoeken en haar verschillende eigenschappen door spectroscopische en andere waarnemingen en met behulp van physische wetten kunnen afleiden, zullen wij thans een beknopt beeld trachten te geven van de recente bevindingen omtrent de natuur der sterren.

Zooals reeds vermeld, vertoonen de physische eigenschappen der sterren een sterk uiteenloopend karakter.

Eenerzijds hebben wij reuzensterren met afmetingen van tien tot honderd millioenen malen die der Zon, maar wier dichtheden slechts een duizendste van die van onzen dampkring bedragen. De roode sterren *Betelgeuze* in het sterrenbeeld Orion en *Antares* in den Schorpioen zijn voorbeelden van dergelijke super-giganten van enorme afmetingen en van een volume dat ongeveer honderd millioen malen grooter is dan dat der Zon. Hun schijnbare middellijnen heeft men direct kunnen meten met behulp van een methode, die op

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

het interferentie-verschijnsel van het licht berust. De grootste tot nog toe bekende ster is de langperiodische veranderlijke ster *Mira Ceti*. Haar diameter bij maximumhelderheid is waarschijnlijk 600 maal de middellijn van de Zon. Zou dus onze Zon geplaatst worden in het centrum van Mira, dan zou het geheele planetenstelsel tot ver buiten de loopbaan van Mars in de ster verdwijnen.

Anderzijds hebben wij dwergsterren met afmetingen, die te vergelijken zijn met die der planeten en die dichtheden kunnen hebben welke honderdduizend maal grooter zijn dan die van het water. Een van de zwakste sterren is b.v. de ster van VAN MAANEN. Zij straalt 6000 maal minder licht uit dan de Zon en heeft ongeveer dezelfde afmetingen als de Aarde.

De oppervlakte-temperatuur van de Zon is omstreeks 6000° C., d.w.z. ongeveer twee maal zoo hoog als die van de heetste ovens op Aarde. De warmste sterren hebben oppervlakte-temperaturen, die wij in tienduizenden graden moeten tellen, terwijl de koudste sterren temperaturen hebben van ongeveer 1700° C.

Er zijn verder sterren, die honderdduizenden malen meer licht en warmte uitstralen als de Zon, maar er zijn er ook, die slechts eenige honderdduizendste deelen van het zonnelicht uitstralen.

Het gewicht der lichtste ster bedraagt ongeveer $^1/_5$ van dat der Zon, terwijl de zwaarste sterren meer dan honderd maal haar gewicht overtreffen. Dergelijke zware sterren zijn intusschen buitengewoon zeldzaam en het gewicht van de meeste sterren is minder dan 3 maal dat van de Zon. Slechts op het punt van gewicht of massa vertoonen de sterren onderling groote overeenkomst.

Onze dichtstbijzijnde buur-ster in de wereldruimte is α *Centauri*, die tevens een van de helderste sterren aan den

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Zuidelijken sterrenhemel is. Haar afstand tot ons bedraagt slechts 4.3 lichtjaren. Zij is een visueele dubbelster met een omloopstijd van 79 jaren. De beide componenten komen in alle opzichten vrijwel overeen met onze Zon; de eene component is een G-ster met een temperatuur van 6000° en een iets grooter volume dan dat der Zon; de andere component is een K_5-ster met een temperatuur van 4400°, waarvan het volume iets grooter, maar het gewicht iets geringer is dan dat der Zon. Op een afstand van meer dan 10.000 aardbaanstralen van het hoofdstelsel verwijderd beweegt zich een buitengewoon kleine en lichtzwakke dwergster, de „*Proxima Centauri*," die, zooals een onderzoek o.a. van VOÛTE heeft uitgewezen, physisch verbonden bleek te zijn met het systeem. Haar kleur is rood (de temperatuur is 3000° C.) en zij straalt slechts het tienduizendste gedeelte van het licht van onze Zon uit.

De schijnbaar helderste ster aan den hemel is *Sirius* (zijn visueele grootte is — 1.6); zijn afstand bedraagt 9 lichtjaren, zijn kleur is wit en zijn temperatuur het dubbele van die der Zon. Sirius is een dubbelster met een omloopstijd van 50 jaren. De begeleider is een lichtzwakke ster van dezelfde kleur als de hoofdster (volgens metingen van KUIPER te Leiden is hij 10 magnituden zwakker dan de hoofdster), maar zijn volume is minder dan dat van de planeet Uranus, terwijl zijn gewicht ongeveer overeenkomt met dat van de Zon; hieruit volgt, dat zijn gemiddelde dichtheid meer dan 50.000 maal grooter is dan die van water. De begeleider van Sirius is inderdaad een z.g. „witte dwerg".

Eenige andere witte dwergsterren zijn bekend, n.l. de begeleider van Procyon (de helderste ster van den Kleinen Hond) en een van de componenten van het meervoudige systeem O_2 Eridani (de gemiddelde dichtheid van de laatstgenoemde dwergster bedraagt 100.000 maal die van water). Volgens onderzoekingen van LUYTEN is de ster

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

van VAN MAANEN vermoedelijk ook een witte dwergster van het F-type. Ten slotte heeft enkele jaren geleden OOSTERHOFF te Leiden een lichtzwakke ster van het A-type in de nabijheid van de tweeling-cluster in Perseus ontdekt, die waarschijnlijk ook een witte dwerg is. Het eigenaardige van de witte dwergsterren is haar schijnbaar ongerijmd hooge dichtheden. Deze kunnen slechts verklaard worden door aan te nemen, dat de ster-materie in de witte dwergsterren zeer sterk geïoniseerd is. De buitenste electron-schillen zijn daardoor geheel afgerukt van de atomen, tengevolge waarvan de ruimte, die door een atoom ingenomen wordt, zeer sterk vermindert is en de atomen dus veel dichter opeengepakt kunnen liggen dan anders 't geval is. Daardoor kunnen dichtheden voorkomen, die millioenen malen hooger zijn dan bij gewone gassen het geval is. *)

* * *

7. De inwendige bouw en de ontwikkeling der sterren.

De spectroscoop stelt ons niet in staat door de gloeiende oppervlakten van de Zon en de sterren heen te dringen om haar inwendige te bestudeeren. Om iets omtrent de inwendige samenstelling van een ster te weten te komen, zijn wij uit-

*) Door haar klein volume en groote dichtheid heeft de potentiaal der zwaartekracht aan de oppervlakte van een witte dwergster een zeer hooge waarde. Volgens de algemeene relativiteitstheorie van EINSTEIN moeten nu de spectraallijnen eener ster naar den rooden kant verschoven zijn en wel met een bedrag dat evenredig is aan de gravitatiepotentiaal aan de ster-oppervlakte. Voor de meeste sterren is echter dit EINSTEIN-effect nietig klein; bij de witte dwergen moeten wij daarentegen een meetbaar effect kunnen verwachten. Het is inderdaad eenige jaren geleden ADAMS op de Mount Wilson-Sterrenwacht gelukt de rood-verschuiving der spectraallijnen bij de begeleider van Sirius op te meten. Het waargenomen bedrag dier verschuiving stemde nauwkeurig overeen met het door de theorie voorziene.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

sluitend op theoretische beschouwingen aangewezen. Wij moeten m.a.w. bekende physische wetten toepassen op gasbollen van dezelfde afmetingen als die der sterren en trachten eigenschappen bij dergelijke gasbollen te ontdekken, die later vergeleken kunnen worden met de eigenschappen der sterren zooals de astronomische waarnemingen ze ons leerden kennen.

Bevindt zich een ster in *mechanisch evenwicht*, dan wordt de naar het centrum gerichte zwaartekracht, die op elk volumedeeltje van het ster-gas werkt, door een buitenwaarts gerichte tegenkracht gecompenseerd. Deze tegenkracht bestaat ten deele uit den gewonen gasdruk, welke van de bewegingsenergie der moleculen of atomen afhangt en ten deele uit den stralingsdruk, die door de energiestraling veroorzaakt wordt. Een ster-model, dat slechts rekening houdt met het *mechanische evenwicht* van het ster-gas, vertoont echter weinig overeenkomst met de werkelijkheid. Met een andere factor dient eveneens rekening te worden gehouden n.l. het *stralingsevenwicht*. Dat beteekent, dat elk volumedeeltje van de ster per seconde evenveel energie ontvangt als het afgeeft. Aangezien binnen in de sterren — zooals ook bij de menschen op de Aarde dikwijls het geval is — de uitgaven grooter zijn dan het inkomen, moet bij stralingsevenwicht het energieverlies door nieuwe *vorming van energie* aangevuld worden. De energievorming hangt o.a. van het *absorptievermogen* van het ster-gas af. Uitgaande van plausibele veronderstellingen omtrent de energievorming binnen in de ster en tevens van het absorptievermogen van het ster-gas heeft de Engelsche astronoom EDDINGTON een ster-model op theoretischen grondslag onderzocht, dat bij benadering overeenkomt met de werkelijkheid *).

*) Het ster-model van EDDINGTON is niet het eenige mogelijke. In latere jaren zijn verschillende ster-modellen onderzocht — b.v. door v. ZEIPEL, VOGT, JEANS, MILNE e.a. — deels op de basis van EDDINGTON's

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

De meest belangrijke van EDDINGTON's wetten is die, welke het verband tusschen de massa van een ster en haar absolute helderheid aangeeft. Volgens deze z.g. *„massa-lichtkracht-wet"* hangt de absolute helderheid van een ster in de eerste plaats met haar massa samen, zoodat de helderheid vermeerdert bij toenemende massa (*Fig. 9*). Zijn de absolute helderheid en de effectieve temperatuur van een ster

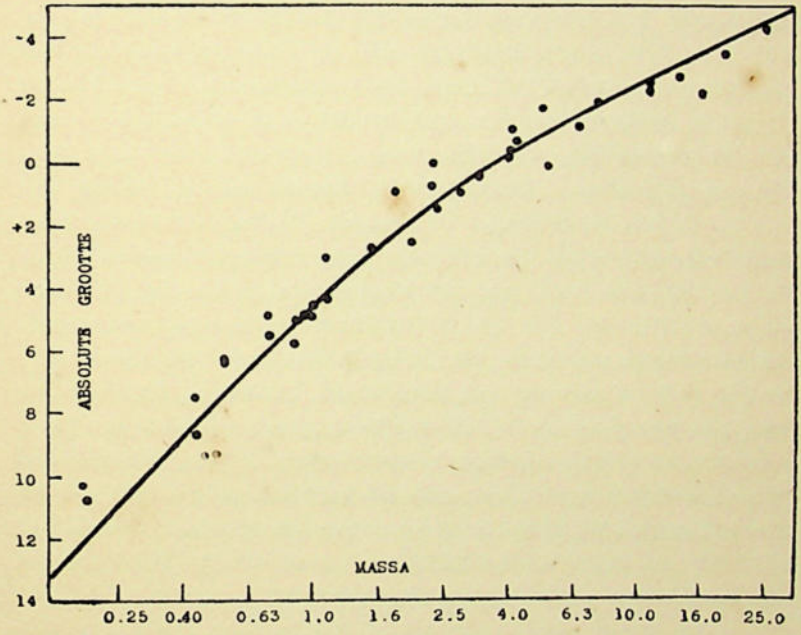


Fig. 9. De betrekking tusschen massa en absolute grootte volgens EDDINGTON (EDDINGTON'S massa-lichtkracht-wet).

---

model en deels uit eenigszins andere gezichtspunten. — Aangezien een uitvoeriger uiteenzetting van de verschillende theorieën van den inwendigen bouw der sterren uit den aard der zaak geheel buiten deze populaire schets moet vallen, heb ik hier slechts het ster-model van EDDINGTON behandeld, als zijnde het meest oorspronkelijke.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

bekend, dan kunnen wij daaruit met behulp van deze wet haar gewicht afleiden.

Er is een groote mate van overeenstemming geconstateerd tusschen de waargenomen stermassa's en de uit de theorie van EDDINGTON afgeleide massa's. In hoofdtrekken schijnt de theorie dus juist te zijn, ofschoon de details wellicht verder uitgewerkt moeten worden.

Volgens het ster-model van EDDINGTON stijgt voor een ster van dezelfde afmetingen als de Zon de temperatuur van ongeveer 6000° C. aan haar oppervlakte spoedig tot over een millioen graden, om in het centrum enorme voor ons onbevattelijke waarden van ongeveer 40 millioen graden te bereiken. Tegelijkertijd neemt de dichtheid toe tot zij in het middelpunt de waarde 75 bereikt heeft. Een ongeveer constante middelpuntstemperatuur karakteriseert de sterren, die zich om de hoofdreeks in het H.-R.-diagram groepeeren. De middelpuntstemperatuur van de roode reuzen-sterren daarentegen is ongeveer tienmaal zoo laag als die van de sterren der hoofdreeks, terwijl zij bij de witte dwergsterren ongeveer 100 millioen graden bedraagt *).

Bij de ontzettend hooge temperaturen, die in het binnenste der sterren heerschen, zijn de atomen geheel of gedeeltelijk geïoniseerd. Behalve uit atomen bestaat dus het ster-gas uit vrije electronen en atoomkernen en tevens uit energiestraling in den vorm van röntgenstralen.

Het ster-gas is buitengewoon ondoorzichtig, zoodat alle straling bijna volkomen er door opgeslorpt wordt en slechts een klein gedeelte van de straling uit het binnenste der sterren door haar oppervlak in het Heelal naar buiten dringt.

*) Volgens MILNES' opvatting zou de middelpuntstemperatuur bij de witte dwergen slechts 12-15 millioen graden bedragen en zou het ster-gas in een toestand van „degeneratie" verkeeren.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Desniettegenstaande wordt door Zon en sterren een ontzaglijke hoeveelheid energie in den vorm van licht en warmte met kwistige vrijgevigheid voortdurend in de wereldruimte uitgestraald.

Iedere vierkante cm. oppervlakte der Aarde, die loodrecht door de zonnestralen wordt getroffen, ontvangt per minuut van de Zon een hoeveelheid warmte, die voldoende is om een gram water 1.95 graad te verwarmen. De totale hoeveelheid warmte, die de Zon per seconde naar alle zijden uitstraalt, zou voldoende zijn om een milliard kubieke kilometer ijs te doen smelten. Deze kolossale hoeveelheid energie heeft de Zon met vrijwel onverminderde intensiteit waarschijnlijk reeds gedurende millioenen jaren uitgestraald. Uit den aard der zaak zou de Zon spoedig afkoelen, indien het verlies niet werd aangevuld.

De vraag doet zich dan ook dadelijk voor, waar wij de krachtbronnen moeten zoeken, waaruit de Zon en de sterren haar energie putten.

Doordat de Zon inkrimpt, worden groote hoeveelheden energie vrijgemaakt. Verder wordt energie van buiten-af door het neerstorten van meteoren aan de Zon toegevoerd. Een andere energiebron, die ook in aanmerking zou kunnen komen, zijn de radioactieve processen, daar de radioactieve stoffen bij het uiteenvallen stralende energie uitzenden. Al deze energiebronnen samen zouden echter het energieverlies der Zon slechts gedurende een gedeelte van het bestaan der Aarde kunnen compenseeren en een afdoende oplossing van het vraagstuk is, zoo wij uitsluitend deze krachtbronnen lieten gelden, hiermede niet verkregen.

Door van de veronderstelling uit te gaan, dat bij *het vormen van de elementen* in het inwendige der sterren energie ontstaat, en door verder aan te nemen, dat ook energie gevormd wordt bij *massavernietiging*, verkrijgen wij krachtbronnen die ruim voldoende zijn om voor bijna onbeperkten tijd het

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

energieverlies der sterren te dekken zij het dan ook dat in het tweede geval de aanvulling geschiedt ten koste van de stermaterie.

De hoeveelheid energie, die in de totale zon-massa opgehoopt ligt, zou met het momenteele energieverbruik het verlies gedurende 15 billioen jaren dekken. Daar de Zon jaarlijks een hoeveelheid energie van 130 billioen tonnen uitstraalt, moet haar massa echter mettertijd afnemen, ook wanneer het verlies aan massa gedeeltelijk door toevoer van meteoren gecompenseerd wordt.

Wij zullen nu het vraagstuk omtrent de evolutie der sterren in het kort behandelen.

Op dit gebied tasten wij nog in het duister en de theoretische ontwikkelingsgang der sterren wordt eenigszins anders voor de verschillende ster-modellen. Een theorie, die in details en op bevredigende wijze al onze bevindingen betreffende de sterren verklaart, bestaat momenteel niet. Van een dergelijke theorie moet men in de eerste plaats eischen, dat zij zonder in conflict te komen met de moderne atoomphysica een verklaring geeft van de eigenaardige groepeering der sterren in het H.-R.-diagram.

Waarschijnlijk zijn de sterren als condensatie-kernen uit geweldige nevelmassa's ontstaan. Wij kunnen daarbij echter niet verwachten, dat alle sterren van den beginne af dezelfde afmetingen en gewichten zullen gehad hebben of in denzelfden physischen toestand zullen verkeerd hebben; zelfs is het hoogst waarschijnlijk dat de sterren haar levensloop op verschillende punten in het H.-R.-diagram zijn begonnen. In den aanvang trekt zich de pas gevormde ster tamelijk spoedig samen, waardoor haar temperatuur hooger en haar kleur witter wordt, zoodat de ster zich naar links in het H.-R.-diagram verschuift. Deze samentrekking zet zich voort totdat de middelpuntstemperatuur een bedrag van ongeveer

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

40 millioenen graden bereikt heeft. Daarna begint onder den invloed der hooge temperatuur de omzetting van materie in energie en onder een aanhoudend massa-verlies wordt de ster zwakker en kleiner: haar gewicht en temperatuur nemen af, haar gemiddelde dichtheid wordt steeds grooter en de ster verschuift zich langs de hoofdreeks langzaam naar rechts beneden in het H.-R.-diagram, totdat zij eindelijk na billioenen jaren het kwijnend bestaan van roode dwergster bereikt heeft. Naargelang van de grootte van de beginmassa der ster bereikt zij de hoofdreeks op verschillende punten, doch de verdere ontwikkelingsgang wordt daarna eenzelfde voor alle sterren.

Deze door RUSSELL en EDDINGTON in aansluiting met het ster-model van EDDINGTON opgestelde theorie kan intusschen in dezen vorm — zonder in min of meer hypothetische veronderstellingen betreffende de natuur van het ster-gas te treden — het voorkomen der witte dwergsterren niet verklaren.

Om deze moeielijkheid te ontgaan heeft JEANS de veronderstelling opgeworpen, dat de ster-materie in twee verschillende toestanden zou verkeeren: een gasvormige, maar instabiele toestand, en een vloeibare, maar stabiele toestand. Komt de ster tijdens haar ontwikkeling in den gasvormigen toestand, dan tracht zij zoo spoedig mogelijk terug te keeren tot den vloeibaren, waardoor de ster in voortdurende schommeling verkeert tusschen de grootste en kleinste afwijkingen van den idealen gastoestand der stermaterie. In het begin van haar ontwikkeling is de ster gasvormig. Doordat deze toestand niet stabiel is trekt de ster zich spoedig samen totdat de ster-materie niet meer de ideale gaswetten volgt, doch als vloeibaar beschouwd kan worden. In dezen stabielen toestand zou de ster stollen, wanneer de door de samentrekking veroorzaakte temperatuursverhooging niet tengevolge had, dat de atomen begonnen te ioniseeren.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Wanneer de atomen door het ionisatieproces hun buitenste schil van electronen verloren hebben, zijn de onderlinge afstanden tusschen de atomen zoo groot geworden, dat de ster zich weer in een instabielen, gasvormigen toestand bevindt. Een snelle contractie brengt de ster in een nieuwen stabielen toestand terug enz. De ontwikkeling eindigt eerst wanneer de atomen geheel geïoniseerd zijn en de ster dus het stadium van de witte dwergsterren bereikt heeft.

Ten slotte zullen wij, voor wij dit hoofdstuk beëindigen, een nieuw gezichtspunt aanroeren, dat gedurende de laatste jaren op den voorgrond getreden is bij de theoretische beschouwingen over den inwendigen bouw der sterren en dat het ster-model van EDDINGTON (dus tevens het vraagstuk betreffende de ontwikkeling der sterren) eenigszins gewijzigd heeft.

Bij den inwendigen bouw der sterren speelt volgens EDDINGTON het gemiddelde atoomgewicht van het stergas een belangrijke rol. Bij volkomen ionisatie wordt dit gewicht voor alle stoffen, behalve waterstof en helium, ongeveer 2. Aangezien helium niet in groote hoeveelheden in de sterren aanwezig is, is de bijdrage van dit element aan het gemiddelde atoomgewicht van het ster-gas van minder beteekenis. Dit bedrag wordt echter bijna uitsluitend bepaald door de hoeveelheid in de ster aanwezige waterstof, welks gemiddeld atoomgewicht bij ionisatie 0.5 bedraagt. Houdt men nu rekening met den *waterstof-inhoud* der sterren dan toont de theorie aan, dat de bouw en het uiterlijk eener ster (dus haar radius, lichtkracht, oppervlakte-temperatuur, spectraalklas enz.) hoofdzakelijk afhangt van de massa en den waterstofinhoud der ster, m.a.w., de karakteristieke verdeeling der sterren in het H.-R.-diagram (*Fig. 10*) berust op deze beide factoren (is b.v. de massa eener ster = 1 en haar waterstofinhoud 36%, dan vertoont zich de ster als een G-dwerg met

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

een absolute grootte van + 5, d.w.z. gelijk aan onze Zon).

Van dit gezichtspunt uit zullen wij nu het evolutie-vraagstuk der sterren onderzoeken. Een ster kan zich in het H.-R.-diagram verplaatsen, doordat haar massa of haar waterstof-inhoud (of beide tegelijkertijd) veranderen, m.a.w. de mogelijkheid van ontwikkeling eener ster berust op de mogelijkheid van verandering van haar massa of van haar waterstof-inhoud. Bij massa-verlies door straling verschuift, zooals wij reeds gezien hebben, de ster langzaam naar rechts beneden in het H.-R.-diagram. Een ontwikkeling, die uitsluitend op massa-verlies berust, vordert een ontzaglijk lang tijdsverloop, dat in billioenen jaren geteld moet worden. Wordt de verplaatsing der ster in het H.-R.-diagram uitsluitend veroorzaakt door een verandering van haar waterstof-inhoud, dan wordt haar evolutietijd bekort tot slechts eenige tientallen milliarden jaren.

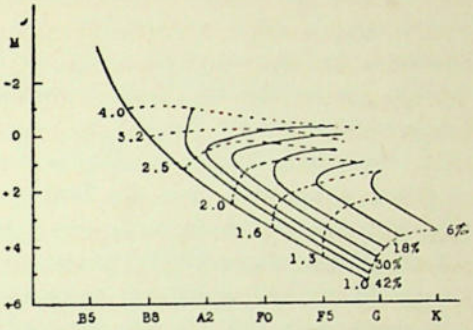


Fig. 10. Het diagram van HERTZSPRUNG-RUSSELL met lijnen van constante massa (gestippelde lijnen voor verschillende waarden der massa: 4.0, 3.2, 2.5, enz.) en constante waterstof-inhoud (voluitgetrokken lijnen, voor verschillende waarden van het waterstof-percentage: 42 %, 30 %, enz.) volgens onderzoekingen van B. STRÖMGREN (Kopenhagen).

Het waterstof-percentage eener ster verandert tijdens haar ontwikkeling doordat de waterstof langzamerhand verteerd wordt bij de vorming van zwaardere elementen. In het binnenste der ster kunnen namelijk zwaardere atoomkernen door samenvoeging van waterstofkernen (protonen) gevormd worden. Bij dit proces komen groote hoeveelheden energie vrij. En veronderstellen wij nu, dat het energieverlies der

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

fotografie is bovendien een ongeloofelijke hoeveelheid details aan het licht gekomen: geweldige sterrenwolken, waardoor donkere lanen loopen, uitgebreide streken, waar donkere materie zonder twijfel het sterrenlicht aan onze oogen onttrekt en verder heldere lichtstrooken of plekken van fantastische vormen, waaruit een nevelachtig licht ons tegenstraalt; kortom het geheel geeft volkomen het beeld van een chaos (*Plaat XIX*).

Een dieper gaand onderzoek echter toont aan, dat in dezen schijnbaar chaotischen toestand toch een zekere orde heerscht. De Melkweg blijkt in wezen een geweldig symmetrie-vlak te zijn, waaromheen zich de ons omgevende sterren groepeeren; hij vormt dus de romp van het gedeelte van het Heelal waar wij ons bevinden. Door de ontzaglijke afmetingen van het Melkwegstelsel (ook wel het „*Galactische stelsel*" genoemd), door zijn ingewikkelden bouw en door onze plaats midden in het stelsel, gaat het uitvorschen met groote moeilijkheden gepaard.

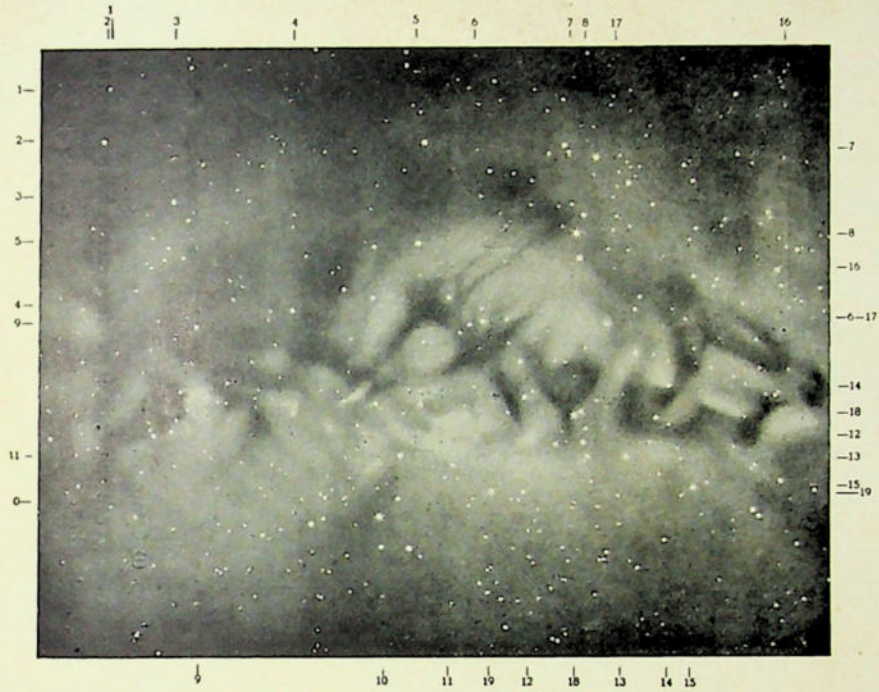
* * *

1. De Sterrenhoopen.

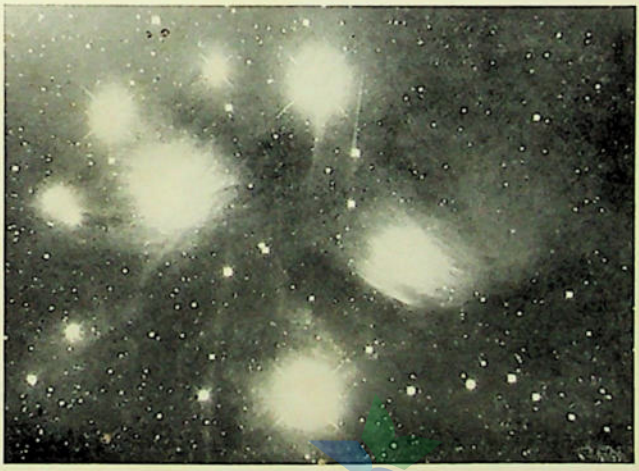
In den Melkweg liggen niet alleen groote wolken van sterren verspreid doch ook stelsels van kleinere afmetingen, die in nauw verband staan met het groote stelsel en waarvan de bouw betrekkelijk eenvoudig is. Dat zijn de *sterrenhoopen*, groepen van physisch met elkaar verbonden sterren. Alvorens wij het Melkwegstelsel uitvoeriger bespreken, zullen wij eerst onze aandacht tot de sterrenhoopen bepalen.

Zooals reeds eerder opgemerkt bevinden zich onder de sterren vaak meervoudige sterren, d.w.z. eenige sterren, die door onderlinge aantrekkingskracht tot een afzonderlijk stelsel verbonden zijn. De stap van een dergelijk stelsel tot een sterrenhoop is niet groot.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA



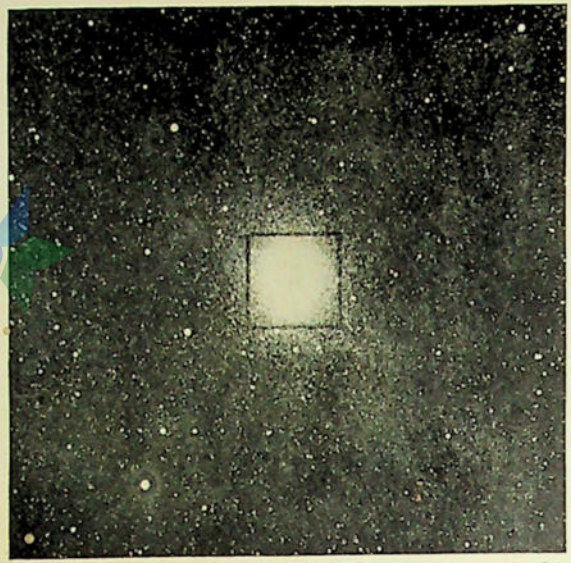
Een gedeelte van den Zuidelijken Melkweg, volgens PANNEKOEK.
(Uit: Annalen van de Bosscha-Sterrenwacht).



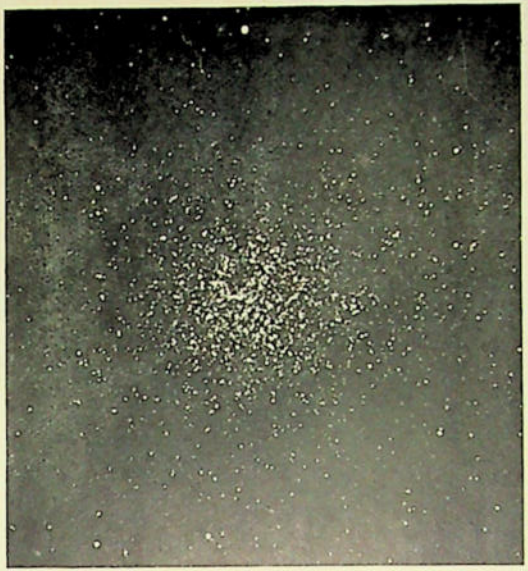
(Foto Yerkes-Sterrenwacht).

De Pleiaden met omhullende nevelsluiers.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA



(Foto Harvard-Sterrenwacht).



(Foto Bosscha-Sterrenwacht).

De bolvormige sterrenhoop ω Centauri.

Het vierkant geeft het centrale gedeelte van den sterrenhoop aan.

Het centrale gedeelte van den sterrenhoop in sterren opgelost.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

De sterrenhoopen vertoonen groote verschillen onderling wat betreft hun sterrenaantal, de concentratie naar het centrum toe en hun physische gesteldheid. Eenerzijds hebben wij lossere *bewegende sterrenhoopen* („moving clusters") die uit eenige tientallen sterren met gemeenschappelijke beweging zijn samengesteld en anderzijds reusachtige opeenhoopingen van honderdduizenden sterren in bijna ronde gestalten, de z.g. *bolvormige sterrenhoopen* („globular clusters"). Een tusschen-klasse vormen de *open sterrenhoopen* („open clusters"). De bewegende en de open sterrenhoopen zijn typische Melkwegobjecten.

De bewegende sterrenhoopen bestaan uit een aantal sterren, die gelijk een vlucht vogels zich in gemeenschappelijke banen door het Heelal bewegen. De banen, waarin de sterren zich bewegen, zijn in waarheid parallel, maar schijnen door het perspectief in één punt aan den hemel tezamen te komen, het z.g. *vlucht-* of *convergentie-punt*. Uit de eigen-beweging der sterren kan men de ligging van het convergentiepunt berekenen. Zijn verder de radiale snelheden van een aantal sterren binnen de groep bekend, dan kan men haar afstand bepalen.

De best bekende van de „moving clusters" zijn de *Hyaden* in het sterrenbeeld de Stier, die uit iets meer dan 40 sterren bestaan. Waarnemingen dier sterren in den loop van meer dan een eeuw verricht hebben aangetoond, dat zij zich schijnbaar aan de sfeer naar een punt OZO van de groep bewegen. Uit de schijnbare inkrimping van de groep, alsmede uit de radiale snelheden harer sterren, heeft HERTZSPRUNG een afstand van 120 lichtjaren afgeleid. Het was trouwens ook door de studie van de Hyadesterren, dat HERTZSPRUNG het eerst de aanwezigheid van reuzen en dwergen onder de sterren aantoonde.

Een andere welbekende sterrenhoop zijn de *Pleiaden* of

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

„Het Zevengesternte", eveneens in het sterrenbeeld de Stier gelegen (*Plaat XIV*). De sterren der Pleiaden verplaatsen zich 5".4 per 100 jaren naar een punt ZZO van de groep. Deze sterrenhoop bevat tusschen 200 tot 300 sterren, waarvan de 20 helderste sterren van het latere B-type zijn. De helderste van deze is Alcyone, die ongeveer 600 maal lichtsterker is dan onze Zon. De middellijn der groep is 50 lichtjaren en haar afstand van ons bedraagt ongeveer 500 lichtjaren. De groep is verder geheel in nevelsluiers gehuld, d.z. geweldige stofmassa's die het sterrenlicht weerkaatsen.

De Pleiaden vormen de overgang naar de open sterrenhoopen. Onder deze laatste bevinden zich de tweeling-cluster in het sterrenbeeld Perseus en Messier 7 in den Schorpioen, die beide voor het bloote oog als lichte, vlokkige massa's zichtbaar zijn.

Vele honderden sterrenhoopen zijn bekend; de meeste liggen langs den Melkweg verspreid. Hun afstanden zijn zóó groot dat wij de eigen-bewegingen van hun sterren niet met zekerheid kunnen afleiden. Dat wij desniettegenstaande toch te doen hebben met groepen van physisch verbonden sterren hebben wij uit statistische beschouwingen over de kleuren en helderheden der sterren kunnen concludeeren.

De open sterrenhoopen vertoonen groote verschillen in hun afmetingen, in het aantal en in den physischen toestand hunner sterren en tevens in de concentratie naar het centrum. De meeste der open sterrenhoopen liggen op afstanden tusschen 1000 tot 6000 lichtjaren van ons verwijderd en hun middellijnen bedragen eenige tientallen lichtjaren.

Uit een onderzoek naar de helderheden en de kleuren (spectra) der sterren binnen een sterrenhoop kunnen wij het H.-R.-diagram voor de cluster vormen en met behulp hiervan zijn afstand bepalen. Wij kunnen toch niet alleen door dergelijke photometrische waarnemingen direct onderscheiden welke sterren wel tot de cluster behooren en welke slechts

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

in dezelfde richting gezien worden, hetzij zij vóór dan wel áchter de cluster liggen. Het direct waargenomen H.-R.-diagram bevat daarom ook sterren die niet tot de cluster behooren, maar door een statistische behandeling der onderzochte sterren kunnen wij evenwel een juist beeld krijgen van den waren vorm van het H.-R.-diagram der clustersterren. Dat diagram komt niet geheel overeen met het ons bekende en verschilt trouwens bij de sterrenhoopen onderling; bij sterrenhoopen zijn namelijk zelden de H.-R.-diagrammen volledig daar slechts een gedeelte aanwezig is. Bij sommige ontbreekt b.v. de reuzentak, bij andere zijn van den dwergtak slechts sterren die koeler zijn dan de A-sterren aanwezig enz. (Deze verschijnselen houden, zooals P. TEN BRUGGENCATE te Greifswald heeft aangetoond, waarschijnlijk verband met den ouderdom van den sterrenhoop).

Uit het aanwezige gedeelte van het H.-R.-diagram kunnen wij nu, door na te gaan hoeveel dit verschoven moet worden langs de helderheidsas om overeenstemming met het correspondeerend gedeelte van het ons bekende H.-R.-diagram te verkrijgen, den afstand tot den sterrenhoop afleiden. De individueele sterren binnen een sterrenhoop kunnen namelijk beschouwd worden als waren zij alle op denzelfden afstand van ons verwijderd, zoodat haar schijnbare helderheden slechts met een constant bedrag, dat van den afstand afhangt, van haar absolute helderheden verschillen.

Bij vele sterrenhoopen zijn de sterren te zwak voor een photometrisch onderzoek. Om hun afstanden te bepalen zijn wij aangewezen op meer approximatieve methoden. Een dergelijke methode is op de schijnbare middellijnen der sterrenhoopen gegrond. TRUMPLER op de Lick-Sterrenwacht heeft namelijk gevonden dat de ware diameters der sterrenhoopen binnen zekere concentratie-klassen constant zijn. Uit den schijnbaren diameter en de concentratie-klasse kunnen dus de afstanden bepaald worden.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Met behulp van de afstanden kunnen wij de verdeeling der sterrenhoopen in de ruimte onderzoeken. Volgens TRUMPLER heeft het door de open sterrenhoopen gemarkeerde stelsel een middellijn in de Melkwegvlakte van meer dan 30.000 lichtjaren, terwijl de dikte van het stelsel slechts 3000 lichtjaren bedraagt.

Bij de bestudeering der clusters heeft TRUMPLER ook de aanwezigheid van een *selectieve lichtabsorptie* in de wereldruimte aangetoond, die hoofdzakelijk beperkt is tot een smalle band rond het Melkwegvlak. Dit verschijnsel is later door VAN DE KAMP nader onderzocht en wij zullen nog terugkomen op de interessante conclusies van VAN DE KAMP. Wij meten als gevolg van een dergelijke opslorping van het sterrenlicht ver afgelegen sterren zwakker en rooder dan zonder die absorptie het geval zou zijn. Haar photometrisch bepaalde afstanden worden dus te groot en moeten gecorrigeerd worden om de werkelijke afstanden te verkrijgen.

De bolvormige sterrenhoopen zijn stelsels van geheel andere orde van grootte dan de open clusters en ook hun verdeeling in de ruimte is een geheel andere. Terwijl de laatstgenoemde sterrenhoopen typische melkweg-verschijnselen zijn, moeten de bolvormige clusters beschouwd worden als een soort van satellieten van het Melkwegstelsel.

Tegenwoordig zijn omstreeks 100 bolvormige sterrenhoopen bekend. Onze nadere kennis er van berust op de uitgebreide onderzoekingen van den Amerikaanschen sterrenkundige SHAPLEY. Eenige van de allerdichtstbijgelegen bolvormige sterrenhoopen zijn door SHAPLEY photometrisch onderzocht; slechts de helderste sterren waren hier te bereiken en zij bleken meestal roode opper-reuzen te zijn. De concentratie der sterren naar het centrum is vaak zoo groot, dat uitsluitend met behulp van onze grootste telescopen en dan nog bij slechts een klein aantal van de bolvormige

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

sterrenhoopen deze geheel in sterren kunnen worden ontleed.

In vele dezer sterrenhoopen zijn Cepheïden ontdekt en uit hun lichtwisselingen zijn de afstanden der clusters afgeleid. Om afstanden tot clusters zonder Cepheïden te kunnen bepalen vergelijkt SHAPLEY de schijnbare diameters der clusters en neemt hij aan, dat de werkelijke diameters ongeveer gelijk zijn (omstreeks 100 lichtjaren).

De dichtst bijgelegene bolvormige sterrenhoop is ω Centauri op het Zuidelijk halfrond, die 11.000 lichtjaren van ons verwijderd is (*Plaat XV*). De prachtvolle sterrenhoop Messier 13 in het sterrenbeeld Hercules heeft een afstand van 25.000 lichtjaren. De verst van ons verwijderde bolvormige sterrenhoopen liggen op afstanden van meer dan 100.000 lichtjaren. *)

Door de onderzoekingen van SHAPLEY betreffende de ruimteverdeeling der bolvormige sterrenhoopen is aangetoond, dat zij een reuzenstelsel vormen met een middellijn in het Melkwegvlak van 300.000 lichtjaren en een dikte van 30.000 lichtjaren. Het centrum van dit stelsel ligt op een afstand van meer dan 50.000 lichtjaren in de richting van het sterrenbeeld de Schutter, dat het helderste deel van den Melkweg bevat (*Plaat XIX*). Deze afstanden zijn afgeleid zonder dat met de lichtabsorptie in de ruimte rekening is gehouden. Wordt echter de absorptie wel in aanmerking genomen dan zijn de afmetingen en de vorm van het stelsel volgens de onderzoekingen van VAN DE KAMP anders. Veronderstellen wij, dat de absorptie beperkt is tot een dunne laag rondom het Melkwegvlak en van de grootte 0.7 magnituden per duizend parsecs, dan wordt de afstand tot het centrum van het stelsel der bolvormige sterrenhoopen gere-

*) Deze afstanden zijn afgeleid door VAN DE KAMP onder aanname van lichtabsorptie in de ruimte. Neemt men deze niet in aanmerking dan worden de afstanden tot ω Centauri en Messier 13 gesteld op 21.000 en 36.000 lichtjaren, resp.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

duceerd tot iets meer dan 20.000 lichtjaren, terwijl het stelsel een meer symmetrischen vorm ten opzichte van den Melkweg aanneemt en kleiner afmetingen krijgt (*Fig. 14*). De afmeting wordt desniettegenstaande meer dan honderdduizend lichtjaren.

Bij benadering kunnen de sterrenhoopen (de open en de bolvormige) beschouwd worden als spherische stelsels. Door de rotatie is in sommige gevallen een afplatting veroorzaakt waardoor zij, strikt genomen, z.g. omwentelings-ellipsoiden zijn (verg. *Fig. 11*). De sterren binnen de bolvormige en de meeste der open sterrenhoopen vertoonen een verdichting naar het centrum toe, waar dus de sterren aanzienlijk meer opeengedrongen liggen dan in de buitenste gedeelten van den cluster. De verdichting naar het centrum toe is in het algemeen grooter bij de bolvormige dan bij de open sterrenhoopen. In het centrum der bolvormige sterrenhoopen is de ruimtedichtheid der sterren meer dan tienduizend malen terwijl deze dichtheid bij de open sterrenhoopen slechts honderd tot eenige duizenden malen grooter is dan die in onze omgeving van de wereldruimte.

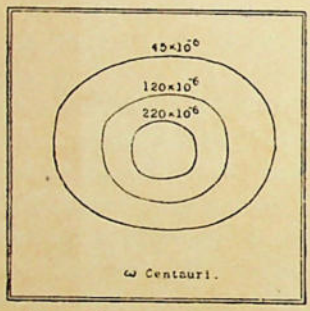
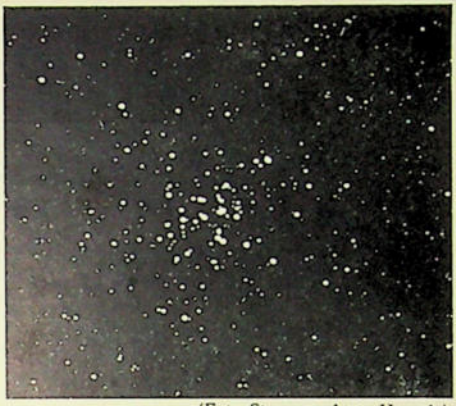


Fig. 11. Vereffende lijnen voor gelijke intensiteit, die duidelijk den elliptischen vorm van den bolvormigen sterrenhoop ω Centauri toonen (naar onderzoekingen van SCHILT).

Door den invloed der totale aantrekkingskracht der sterrenhoop worden de sterren gedwongen een soort van slingerende beweging rondom het centrum in verschillende vlakke loopbanen te beschrijven. De omloopstijden moeten in de millioenen jaren bedragen. Komen twee sterren dicht bij elkaar, dan worden haar loopbanen gestoord: deze veranderen en

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA



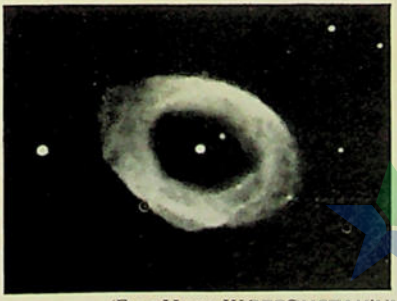
(Foto Sterrenwacht te Uppsala).

De open sterrenhoop Messier 36 in den Wagenman.



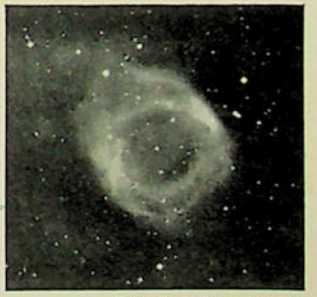
(Foto Yerkes-Sterrenwacht).

De Orion-nevel.



(Foto Mount Wilson-Sterrenwacht).

De Ring-nevel in de Lier.



(Foto Lick-Sterrenwacht).

De grootste bekende van de planeetvormige nevels, N.G.C. 7293.

PERPUSTAKAAN NASIONAL REPUBLIK INDONESIA

Plaat XVII.



(Foto Lick-Sterrenwacht).

Nevelsluiers in het sterrenbeeld de Zwaan.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

worden verbroken, alsof er inderdaad een botsing plaats gegrepen had. Daarbij krijgt de lichtere ster in het algemeen een grootere snelheid dan de zwaardere. In een tijdsbestek van milliarden jaren wordt door dit toevallig naderen tusschen de sterren een zekere evenwichtstoestand bereikt, waarbij de cluster een fraaien bolvorm aanneemt. In dezen evenwichtstoestand is een gelijkmatige verdeeling van energie tot stand gekomen die tot een soort van „isotherm evenwicht" leidt. In een dergelijken toestand vertoonen de zwaarste sterren een grootere concentratie naar het centrum dan de lichtere. Door de concentratie voor sterren van verschillende soorten binnen een sterrenhoop na te gaan kunnen wij met behulp van de bekende gaswetten voor „thermodynamisch evenwicht" de verhouding tusschen de gemiddelde massa's van de onderzochte sterren berekenen. Deze methode, door V. ZEIPEL te Uppsala ontdekt, is met succes op enkele sterrenhoopen toegepast.

Waarschijnlijk neemt de concentratie en het aantal sterren binnen een sterrenhoop langzamerhand af en deze beide factoren kunnen als een maatstaf voor den ouderdom van den sterrenhoop beschouwd worden. De bolvormige sterrenhoopen zijn waarschijnlijk de jongste en behoorden vermoedelijk oorspronkelijk niet tot het Melkwegstelsel, doch zijn van buiten de „meta-galactische" ruimte afkomstig. Door de aantrekkingskracht van den Melkweg worden zij gedwongen heen en weer te slingeren door het melkwegvlak, gepaard gaande met sterk verlies aan sterren, waardoor zij steeds meer verspreid en ster-armer worden; geleidelijk veranderen zij in open sterrenhoopen om ten slotte geheel door het sterrengewemel van den Melkweg verslonden te worden.

* * *

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

2. De galactische nevels.

In den Melkweg treffen wij, zooals reeds gezegd, hier en daar donkere lanen of vlekken van onregelmatigen vorm aan, die uit geweldige opeenhoopingen van kosmische stof bestaan, welke het licht van de achterliggende sterren onderscheppen. Dat zijn de z.g. *donkere nevels*. Voorts nemen wij tusschen de sterrenwolken ook lichtuitstralende nevels waar, die, zooals de spectroscoop uitwijst, verzamelingen van stof en lichtgevende gassen blijken te zijn. Laatstgenoemde objecten bestaan uit twee verschillende soorten: ten eerste de meer symmetrische, ronde of ellipsvormige stof- en gasmassa's, de z.g. *planeetvormige nevels* en ten tweede de onregelmatig gevormde, *diffuse* of *galactische nevels*.*) (*Plaat XVI en XVII*).

De donkere nevels zijn uit den aard der zaak het gemakkelijkst waar te nemen in de sterrenrijke streken van den Melkweg (*Plaat XVIII*). Op fotografische opnamen zijn vele van dergelijke nevels te vinden, zoowel van kleine als van groote afmetingen. Sommige donkere nevels zijn duidelijk voor het bloote oog zichtbaar, zooals b.v. de donkere nevels in den Zwaan en de bekende „Kolenzak" naast het Zuider Kruis. De splitsing van den Melkweg in twee armen, welke splitsing zich van den Zwaan tot aan het sterrenbeeld

*) Er zijn in de interstellaire ruimte ook enorm uitgebreide, ijle gasmassa's uit calcium-ionen aanwezig. Door haar uiterst geringe dichtheid kunnen wij deze gasmassa's niet als donkere nevels waarnemen, maar zij verraden haar tegenwoordigheid door de z.g. „rustende calcium-lijnen." In de spectra van verafgelegene helium-sterren zijn vaak zeer smalle en scherpe absorptielijnen van geïoniseerd calcium te vinden, die niet beïnvloed worden door den bewegingstoestand der ster. (Is b.v. de ster een spectroscopische dubbelster met periodiek verschuivende lijnen, dan verschuiven de lijnen van geïoniseerd calcium niet mee). Deze „rustende lijnen" kunnen dus haar oorsprong niet in de ster-atmosferen hebben, maar zij moeten toegeschreven worden aan het interstellaire calcium-gas, dat zich tusschen ons en de ster bevindt.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Centaurus uitstrekt, wordt waarschijnlijk veroorzaakt door enorm uitgestrekte nevelmassa's.

De best bekende van de onregelmatige heldere galactische nevels is de voor het bloote oog zichtbare *Orion-nevel* (*Plaat XVI*). Fotografische opnamen hebben een overvloed van details en een zeer ingewikkelde structuur van den Orion-nevel geopenbaard. Het sterrenbeeld Orion is eigenlijk geheel door donkere en lichte nevelsluiers van grillige vormen overdekt (*Plaat XVIII*). In het centrum van den Orion-nevel is een groep van O-sterren te zien, die physisch verbonden is met den nevel. Ook de Pleiaden zijn, zooals reeds opgemerkt, door uitgestrekte nevelmassa's omgeven. (*Plaat XIV*). (Het ontstaan van dergelijke uitgebreide nevelsluiers — vergl. ook *Plaat XVII* — zou volgens H. GROOT wellicht zijn verklaring kunnen vinden in de sterke werking van den stralingsdruk binnen den nevel, waardoor een langzaam a.h.w. uitrafelen van den nevel veroorzaakt wordt).

Een spectraalanalytisch onderzoek der heldere galactische nevels heeft aangetoond, dat sommige absorptie-spectra andere emissie-spectra hebben. De meest op den voorgrond tredende spectraallijnen zijn, behalve de emissielijnen van waterstof en helium, twee heldere lijnen in het groene spectraalgebied, die vroeger aan een hypothetisch element „nebulium" werden toegeschreven. Latere vorderingen in de atoomphysica hebben tot het inzicht geleid, dat deze, alsook eenige andere lijnen in het spectrum der nevels, afkomstig zijn van dubbel geïoniseerde zuurstof, die in die buitengewone toestanden, die de nevels karakteriseeren, lichtuitstalend worden. *)

De onderzoekingen van HUBBLE en BOWEN in Amerika en ZANSTRA te Amsterdam op het gebied der lichtuitstraling van de galactische nevels hebben nieuwe gezichtspunten ten aanzien van het nevel-probleem geopend.

*) Deze lijnen zijn z.g. „verboden lijnen" en ontstaan door electronensprongen van z.g. „meta-stabiele niveau's".

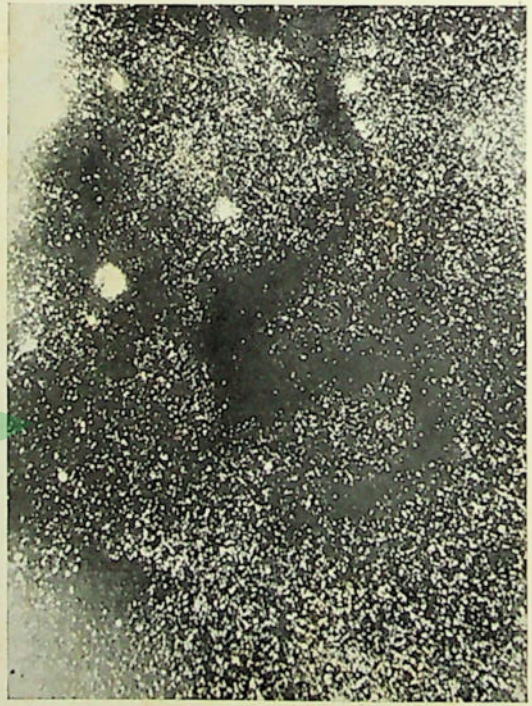
PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

De donkere en de heldere nevels zijn in wezen soortgelijke verschijnselen en bestaan zij dus beide uit enorme opeenhoopingen van fijne stofdeeltjes en gassen van uiterst geringe dichtheid (veel kleiner dan wij kunnen produceeren in onze aardsche laboratoria *). Deze gassen en stof-massa's zijn, practisch gesproken, koud en zijn uit zich zelf geen lichtuitstralende massa's, zoodat haar licht uitsluitend aan den invloed van dichtbij gelegen sterren moet toegeschreven worden. Wanneer de in de nevels gehulde sterren van normale temperatuur zijn, dan stralen de nevels slechts met teruggekaatst sterrenlicht en hun spectra worden continu. Zijn de met den nevel verbonden sterren daarentegen zeer heet, dan wordt een gas-spectrum met emissie-lijnen uitgestraald. Wanneer de kortgolvige en de korpusculaire stralingen, die van dergelijke sterren uitgaan, op de atomen van den nevel vallen, worden zij gedwongen licht uit te stralen — een soort fluorescentie-straling — dat het emissie-spectrum der nevels veroorzaakt. (De kortgolvige straling veroorzaakt n.l. een „foto-electrische ionisatie" der nevelatomen en door hereeniging van de vrije electronen wordt licht uitgestraald).

De afstanden tot de diffuse nevels kunnen bepaald worden door den afstand tot de met de nevels verbonden sterren af te leiden, de afstanden tot de donkere nevels door de schijnbare grensgrootte der sterren vast te stellen, waarbij de nevelabsorptie merkbaar begint te worden; waarna met behulp van den gemiddelden afstand tot de sterren van genoemde grootte de afstand tot den nevel valt af te leiden. Voor den Orionnevel is b.v. de afstand met behulp van de met haar verbonden sterren bepaald op 1800 lichtjaren, terwijl de afstand tot „De Kolenzak" middels de tweede methode op 500 lichtjaren is vastgesteld.

*) Volgens een onderzoek van BOK over den diffusen nevel bij de ster η Carinae zou de dichtheid der waterstof in dien nevel slechts ongeveer 2×10^{-22} gr. per cm^3 bedragen.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA



(Foto Yerkes-Sterrenwacht).

Donkere nevels in den Melkweg.



(Foto Mount Wilson-Sterrenwacht).

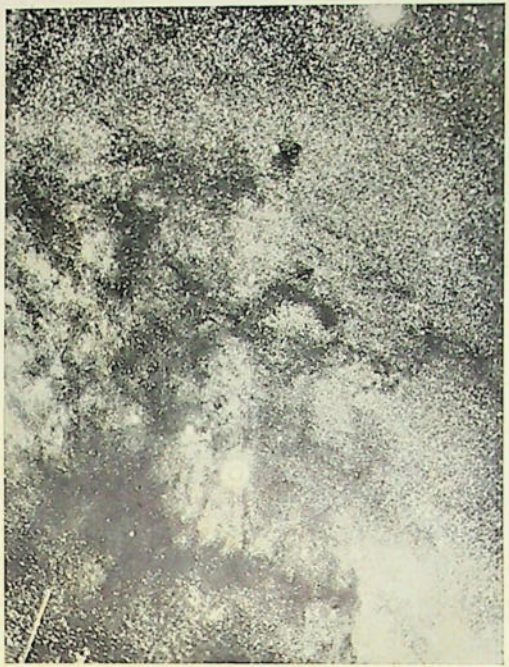
Lichte en donkere nevels in het sterrenbeeld Orion. (De donkere nevel in het midden der figuur is de z.g. „Paardenkop-nevel".)

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA



(Foto Lick-Sterrenwacht).

De Melkweg in den Schutter (Sagittarius).



(Foto Lick Sterrenwacht).

De Melkweg in Ophiuchus.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

De derde soort van nevels zijn de *planeetvormige nevels*. Zij vormen een kleine groep met nog geen 150 vertegenwoordigers. De bekendste onder de planeetvormige nevels is de z.g. „Ring-nevel" in de Lier en de schijnbaar grootste, de nevel N.G.C. 7293 *(Plaat XVI)*.

Hun naam hebben de planeetvormige nevels ontleend aan hun gelijkenis met planeten, wanneer zij door een kleineren kijker waargenomen worden. Fotografische onderzoekingen hebben echter een zeer ingewikkelde en fantastische structuur ontsluierd. De meeste planeetvormige nevels hebben in het centrum een zeer lichtzwakke, maar buitengewoon heete ster, welker temperatuur 50.000 tot 100.000° C. bedraagt. Onder den invloed van deze ster stralen de haar omgevende nevelschillen, bestaande uit gassen en stofdeeltjes, een soort fluoresceerend licht uit, geheel zooals dat het geval is met de heldere galactische nevels. VAN MAANEN heeft getracht de afstanden tot een aantal planeetvormige nevels trigonometrisch af te leiden. De parallaxen zijn echter zeer klein en hun afstanden moeten derhalve zeer groot zijn. Hun ware afmetingen zijn inderdaad kolossaal groot, met middellijnen die tienduizenden malen de middellijn der aardbaan overtreffen.

Welke rol tenslotte de nevels bij de ontwikkeling der sterren spelen, is niet met zekerheid bekend. Het is echter aan te nemen, dat wij in de nevels de wieg der sterren moeten zoeken en dat de sterren dus op de een of andere wijze in deze donkere wazigheden haar oorsprong vinden.

* * *

3. De bouw van het Melkwegstelsel.

Nu wij eenige met den Melkweg nauw verbonden objecten, de sterrenhoopen en de nevelvlekken, hebben leeren kennen, zullen wij trachten ons een beeld te vormen van het geheele Galactische stelsel.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Zooals reeds gezegd, is het zeer moeilijk van uit onze plaats binnen in het stelsel een voorstelling van zijn bouw en ware afmetingen te verkrijgen.

De ons omgevende sterren vormen een schijnbaar chaotische opeenhooping. Een telling van het aantal sterren binnen verschillende grootte-klassen en op verschillende afstanden van het Melkwegvlak heeft uitgewezen, dat de verspreiding der sterren aan het hemelgewelf geenszins een willekeurige is, maar dat zij aan bepaalde wetten is onderworpen, waarbij de vermeerdering van het sterrenaantal naar het Melkwegvlak toe een domineerend verschijnsel is.

Om den bouw van het ons omgevend sterrenstelsel nader te leeren kennen, moeten wij trachten de verdeeling der sterren in de ruimte te doorgronden; wij moeten m.a.w. het verloop van de *ruimtedichtheid der sterren* (d.w.z. het aantal sterren per volume-eenheid) met den afstand en de richting van ons punt van waarneming uit trachten te bepalen. De schijnbaar meest voor de hand liggende methode zou zijn: den afstand en de richting van iedere ster van het stelsel te bepalen, waardoor wij natuurlijk een juist beeld van het stelsel zouden krijgen. Deze methode is intusschen in de practijk volkomen onuitvoerbaar gebleken, niet alleen door het ontzaglijke groote aantal sterren, maar ook wegens onze beperkte instrumenteele hulpmiddelen, waardoor wij door rechtstreeksche parallax-bepalingen slechts de verdeeling der meest nabijzijnde sterren kunnen onderzoeken. Wij moeten daarom onze toevlucht nemen tot ster-tellingen en statistische beschouwingen over het waargenomen aantal sterren van verschillende helderheden.

Indien alle sterren dezelfde absolute helderheid hadden, was het probleem zeer eenvoudig, aangezien wij dan slechts het aantal sterren binnen de verschillende schijnbare grootteklassen in verschillende richtingen zouden hebben te tellen, waarbij de sterren met bekende afstanden ons onmiddellijk

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

de ware afmetingen van het stelsel zouden aangeven. Nu verschillen echter de absolute helderheden der sterren aanzienlijk en verdeelen zij zich over een interval van omstreeks 20 magnituden, waardoor het probleem veel ingewikkelder wordt. Om deze moeilijkheid te kunnen overwinnen moet men eenige veronderstellingen omtrent de verdeeling der sterren over de absolute grootte-klassen maken en daarna uit de ster-tellingen trachten de hoofdtrekken van den bouw van het sterrenstelsel af te leiden.

Door de epoche-makende onderzoekingen van KAPTEYN en VAN RHIJN te Groningen, e.a. hebben wij met behulp van statistische beschouwingen, op ster-tellingen berustend, een schematisch beeld van het sterrenstelsel verkregen. Volgens KAPTEYN heeft ons sterrenstelsel den vorm van een sterk afgeplat, eenigszins schijfvormig lichaam, waarin de ruimtedichtheid der sterren van uit het midden naar buiten afneemt, sneller in de richting loodrecht op het Melkwegvlak, dan in het vlak zelf. (*Fig. 12*). De Zon bevindt zich niet precies in het middelpunt van het stelsel maar in de nabijheid daarvan. De middellijn van het stelsel in het Melkwegvlak is ongeveer 5 maal zijn dikte. Op een afstand van ongeveer 30.000 lichtjaren is in het Melkwegvlak de dichtheid honderdmaal minder dan in onze naaste omgeving, terwijl dezelfde dichtheid reeds op een afstand van 4000 lichtjaren in eene richting loodrecht op het centrale vlak heerscht.

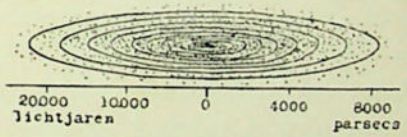


Fig. 12. Het stelsel van KAPTEYN.

In het schematische stelsel van KAPTEYN wordt geen rekening gehouden met plaatselijke onregelmatigheden van het Melkweg-stelsel (b.v. sterrenwolken). Latere onderzoekingen van SEARES en VAN RHIJN gebaseerd op een veel grooter aantal sterren toonen ons, dat, wanneer wij ook

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

lichtzwakke sterren in aanmerking nemen, de Zon niet meer in de buurt van het centrum ligt, maar een zeer excentrische plaats in een veel grooter stelsel inneemt. Wij hebben dus een kleiner *locaal stelsel* om de Zon heen, dat als identiek met het stelsel van KAPTEYN beschouwd moet worden en dat relatief heldere sterren bevat. Dit locale stelsel ligt zeer excentrisch ten opzichte van het grootere galactische stelsel, welks middelpunt in de richting van het sterrenbeeld de Schutter ligt.

Een uitgebreid onderzoek naar den bouw van het locale stelsel, o.a. door PANNEKOEK en KREIKEN, heeft tot resultaat gehad dat het schematische stelsel van KAPTEYN slechts als een eerste benadering moet opgevat worden. In werkelijkheid heeft het locale stelsel geen symmetrischen vorm en toont het een zeer gecompliceerde structuur met verdichtingen in den vorm van sterrenwolken. Door absorbeerende nevelgordijnen worden ook onregelmatigheden in den vorm van het stelsel verklaard. (*Fig. 13.*)

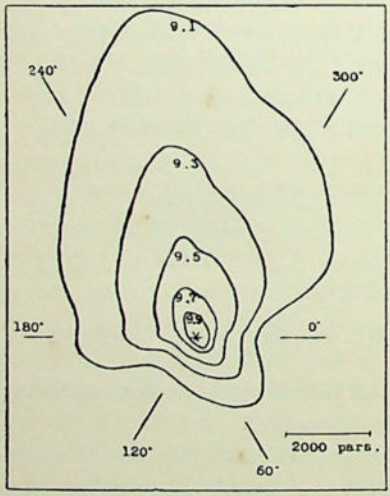


Fig. 13. Lijnen van constante sterredichtheid in het Melkwegvlak volgens KREIKEN.

Het groote Melkwegstelsel bevat een verzameling van uitgebreide sterrenwolken (zooals b.v. het locale stelsel), sterrenhoopen en donkere en heldere nevels met, volgens VAN RHIJN, in totaal ongeveer 30.000.000.000 sterren, welke alle tezamen een groote platte schijf vormen met een sterke verdichting in het centrum. Onze Zon behoort tot een sterrenwolk aan

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

den buitenkant van het groote stelsel op een afstand van 30.000 tot 40.000 lichtjaren van het centrum. De middellijn van het groote stelsel bedraagt in het symmetrievlak ongeveer 100.000 lichtjaren, terwijl de dikte tienmaal kleiner is.

Rondom het Melkwegstelsel groepeeren zich de bolvormige sterrenhoopen, zooals Fig. 14 aangeeft.

De Melkweg is te vergelijken met de z.g. „extra-galactische nevels," welke wij in het volgende hoofdstuk nader zullen behandelen; deze zijn meestal afgeplatte stelsels van een enorm groot aantal sterren, die geheel buiten het Melkwegstelsel liggen, waarmee zij in geenerlei verband staan. Een groote groep van de extra-galactische nevels vertoont een duidelijke spiraalstructuur, waarom zij ook wel spiraalnevels genoemd worden. Reeds in 1900 probeerde EASTON te Amsterdam te bewijzen, dat het Melkwegstelsel precies gebouwd is als een spiraalnevel. Latere onderzoekingen bevestigen deze opvatting, hoewel de spiraalstructuur van den Melkweg als zoodanig bijna uitgewischt is.

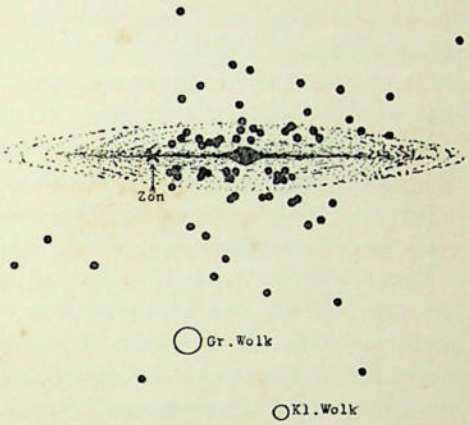


Fig. 14. Het Melkweg-stelsel en het stelsel van de bolvormige sterrenhoopen volgens OORT en VAN DE KAMP.

De groote afplatting van het Melkwegstelsel wijst er op, dat de geheele Melkweg een snelle wenteling maakt rondom een as, die door het centrum loodrecht op het Melkwegvlak

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

gaat. Theoretische beschouwingen van LINDBLAD te Stockholm hebben aangetoond, dat eigenaardigheden, in de beweging der sterren waargenomen, verklaard zouden kunnen worden door te veronderstellen, dat het sterrenstelsel roteert. Aangezien het galactische stelsel een sterke centrale verdichting heeft, moeten theoretisch de sterren in de nabijheid van het centrum een grootere snelheid hebben dan de sterren op grooteren afstand van dit centrum. Er moet dus een *relatieve beweging* plaatsvinden tusschen sterren op verschillende afstanden van het centrum. Een van de meest belangrijke ontdekkingen in de laatste jaren is nu door OORT te Leiden gedaan, die aangetoond heeft, hoe men uit de waargenomen relatieve bewegingen der sterren inderdaad de rotatie-eigenschappen van het Melkwegstelsel afleiden kan. *)

De onderzoekingen van OORT — en later van anderen — hebben definitief bevestigd, dat het geheele Melkwegstelsel zich wentelt om een centraal punt, dat in de richting van het sterrenbeeld de Schutter ligt op een afstand van 30.000 tot 40.000 lichtjaren en dat met het centrum van het stelsel der bolvormige sterrenhoopen samenvalt. Op onze plaats in het stelsel is de wentelingssnelheid ongeveer 300 km per seconde en de periode van een volledige omwenteling bedraagt 200 tot 250 millioen jaren. Verder bedraagt de totale massa van het stelsel ongeveer 250 milliard zonnemassa's.

Buiten het Melkwegstelsel strekt zich de meta-galactische ruimte uit.

---

*) De aanwezigheid van een locaal stelsel is eenigszins in conflict met de voorstellingen over de rotatie van het Melkwegstelsel, aangezien de rotatie een ontleding van dergelijke locale sterrenwolken moet teweegbrengen.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

IV. HET META-GALACTISCHE STELSEL.

„De theorie van vandaag is niet die van morgen .... Theorieën worden voortdurend verbeterd en aangepast aan nieuwe waarnemingsfeiten. Wij hebben stellig geen recht om te onderstellen, dat wij iets dat op een eindpunt lijkt zouden bereikt hebben, maar het is wel zeker, dat wij op den goeden weg zijn."

W. DE SITTER.

In de voorafgaande hoofdstukken hebben wij uitsluitend de hemellichamen behandeld, die meer of minder nauw verbonden zijn met het Melkweg- of Galactische Stelsel. Wij hebben gezien, dat dit stelsel een enorm uitgebreide, maar toch begrensde physische eenheid vormt. De vraag rijst of er in de oneindige wereldruimte ver buiten het galactische stelsel geen andere sterrenstelsels voorkomen, die met ons Melkwegstelsel te vergelijken zijn. Dit vraagstuk zullen wij in dit laatste hoofdstuk nader onderzoeken.

* * *

1. De extra-galactische nevels.

Er is een klasse hemellichamen, die wij tot nu toe buiten beschouwing hebben gelaten, maar die in de laatste jaren speciaal de aandacht heeft getrokken. Dit zijn de z.g. *spiraalnevels* en hun naverwante objecten, welke onder den naam van *extra-* of *ana-galactische nevels* bekend staan.

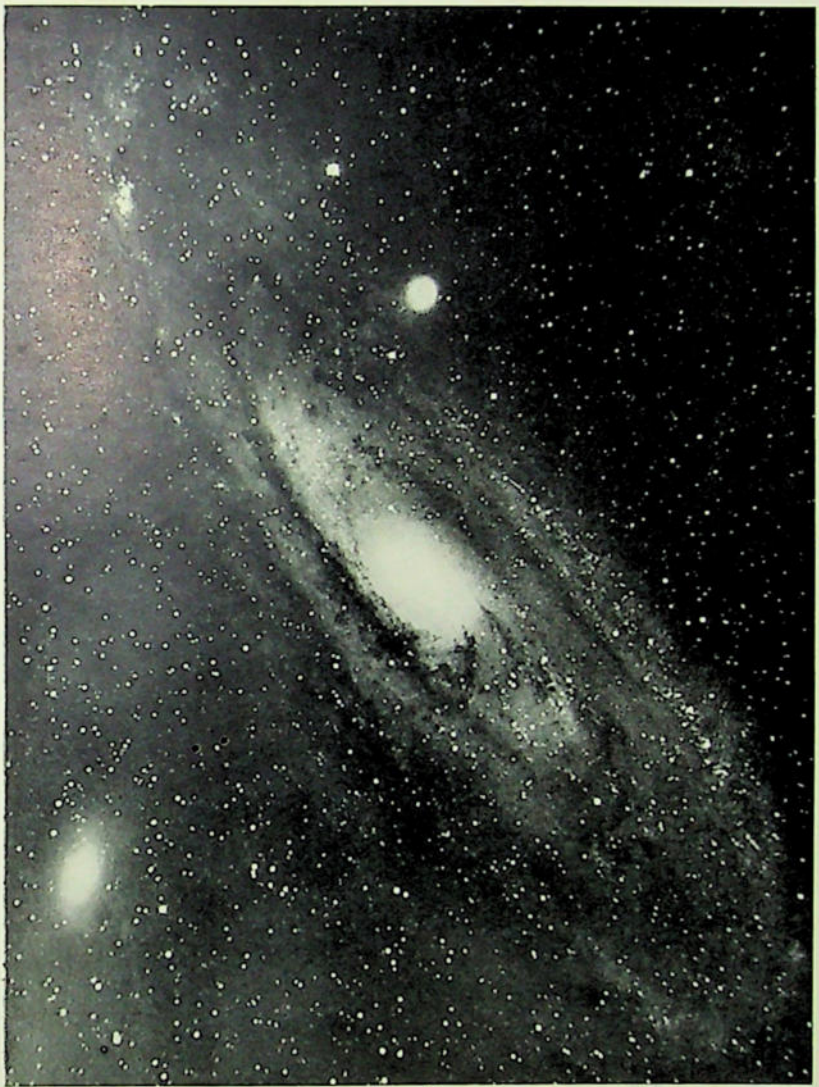
PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Tienduizenden van dergelijke hemellichamen zijn reeds bekend en het totale aantal, dat wij met onze grootste kijkers kunnen waarnemen, moet in de millioenen beloopen.

De extra-galactische nevels vertoonen een zeer eigenaardige verdeeling aan den hemel, daar zij, in tegenstelling met de sterren en de galactische nevels, den geheelen Melkweggordel vermijden en in plaats daarvan zich naar de polen van den Melkweg concentreeren. Deze eigenaardige verdeeling is intusschen slechts schijnbaar en ontstaat door het absorptieverschijnsel in het Melkwegvlak, dat als een gordijn het licht van de achterliggende nevels aan onze oogen onttrekt.

Door kleine kijkers waargenomen vertoonen zich de extra-galactische nevels als diffuse objecten, die aan de heldere galactische nevels doen denken. De spiraalvorm is een zeer gewone structuur onder dergelijke nevels, doch moet in geenerlei opzicht als een overheerschend kenmerk van hen beschouwd worden. Een nadere bestudeering van het uiterlijk der extra-galactische nevels heeft tot de ontdekking geleid van een groote verscheidenheid van typen, welke waarschijnlijk in verband staan met hun evolutie. Wij hebben ten eerste bolvormige of elliptische objecten, die geen spiraalstructuur vertoonen (*Plaat XXI*). Verder hebben wij de echte spiraalnevels, welke een grooten rijkdom aan uiterlijke vormen demonstreeren beginnend met die, uit welker nevelachtige kern twee diametraal tegenover elkaar gelegen smalle spiraalarmen ontspringen (*Plaat XXI*), en eindigend met die, welke breede, gescheurde spiraalarmen zonder een eigenlijke kern hebben (*Plaat XXII*). Vele spiraalnevels hebben hun vlak juist in onze gezichtslijn, waardoor wij hen als spoelvormige plekken zien, die vaak in hun lengterichting met donkere banden, vermoedelijk door absorbeerende donkere nevelmassa's veroorzaakt, doortrokken

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA



(Foto Yerkes-Sterrenwacht).

De Andromeda-nevel (Messier 31).

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA



(Foto Lundmark, Mount Wilson-Sterrenwacht).

De elliptische nevel Messier 87.



(Foto Mount Wilson-Sterrenwacht).

De spiraalnevel Messier 81.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

zijn (*Plaat XXIII*). Ten slotte hebben wij een tamelijk kleine groep van onregelmatig gevormde extra-galactische nevels, waarbij de spiraalstructuur bijna geheel uitgewischt is. (*Plaat XXIII*).

Lang heeft men omtrent de ware natuur van de extra-galactische nevels in het onzekere verkeerd en een groote strijd is gestreden tusschen hen, die de meening verdedigden dat deze nevels relatief dichtbijgelegen gas- of stofmassa's zijn (mogelijkerwijze sterrenstelsels van bescheiden afmetingen) die met het Melkwegstelsel verbonden zouden zijn en tusschen diegenen, die van meening waren, dat de extra-galactische nevels sterrenstelsels zijn, die in afmeting en massa te vergelijken zouden zijn met die van den Melkweg en die op huiveringwekkende afstanden ver buiten het galactische stelsel zouden liggen.

De onderzoekingen van de laatste jaren hebben duidelijk uitgewezen, dat laatstgenoemde opinie de meest waarschijnlijke is. Met behulp van de reuzentelescopen van onzen tijd is men er namelijk in geslaagd randgedeelten van de helderste en meest nabij gelegen extragalactische nevels in sterren te ontleden, waarbij bleek dat deze nevels geweldige sterrenstelsels zijn, die niet alleen milliarden sterren van verschillende helderheden bevatten, maar bovendien objecten herbergen, die ons uit ons Melkwegstelsel bekend zijn, zooals verschillende soorten veranderlijke sterren, heldere en donkere nevels, open en bolvormige sterrenhoopen enz..

Het vraagstuk van de afstanden tot de extra-galactische nevels is van fundamenteele beteekenis voor onze opvatting over hun bouw en physische gesteldheid, en zoo dat probleem eenmaal afdoende is opgelost, dan is men tevens met het vraagstuk aangaande de cosmogonische beteekenis van deze hemellichamen een heel eind verder gevorderd.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Meetkundige methoden zijn bij dergelijke afstandsmetingen absoluut onvoldoende gebleken en voor geen enkelen extra-galactischen nevel kon de parallax of de eigen-beweging afgeleid worden. Wij hebben echter verschillende indirecte methoden, met behulp waarvan wij hun afstanden hebben kunnen bepalen.

Zooals reeds gezegd, kunnen wij eenige van de extra-galactische nevels in afzonderlijke sterren ontleden, waarbij uit den aard der zaak slechts de allerhelderste te voorschijn komen. Veronderstellen wij nu, dat deze gemiddeld dezelfde absolute magnitude hebben als de helderste sterren binnen ons Melkwegstelsel (d.w.z. ongeveer — 8.0) dan kunnen wij uit haar schijnbare grootte den afstand tot den nevel bepalen. Binnen enkele extra-galactische nevels zijn Cepheïden ontdekt en op grond van hun lichtwisselingen kunnen wij eveneens hun afstanden calculeeren. Voorts werd bij een tiental objecten ontdekt, dat er nieuwe sterren ontvlamden. Aangezien LUNDMARK te Lund o.a. heeft aangetoond, dat de gemiddelde absolute helderheden van galactische novae in hare maxima tamelijk constant zijn (ongeveer — 7.0), kunnen wij uit haar schijnbare helderheden de afstanden vaststellen. De open en de bolvormige sterrenhoopen binnen enkele extra-galactische nevels kunnen eveneens als goede afstands-indicatoren gebruikt worden.

Met behulp van dergelijke indirecte methoden hebben wij de individueele afstanden tot verschillende extra-galactische nevels berekend, afstanden die in millioenen lichtjaren uitgedrukt moeten worden en die er duidelijk op wijzen, dat deze nevels verafgelegene Melkwegstelsels zijn.

De spiraalvormige nevels hebben waarschijnlijk de grootste afmetingen onder de extra-galactische nevels, die te vergelijken zijn met die van het Melkwegstelsel, terwijl de

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

afmetingen der onregelmatige extra-galactische nevels doorgaans kleiner zijn en die der elliptische het allerkleinst.

Een spectrografisch onderzoek van spiraalnevels heeft aan het licht gebracht dat zij meestal een continu spectrum met absorptielijnen uitstralen; verder heeft de spectroscoop in enkele gevallen bij nevels, welke wij op hun rand zien, een rotatiebeweging geopenbaard, waardoor de overeenkomst met het Melkwegstelsel nog opvallender is geworden.

Wij zullen ons een oogenblik met onze naaste buren in de meta-galactische ruimte bezig houden en een beknopt overzicht geven van het resultaat van de onderzoekingen der laatste jaren.

Misschien zijn de meest interessante hemelobjecten aan den Zuidelijken sterrenhemel wel de beide *Wolken van Magelhaens*. Deze zijn de meest dichtbij gelegen extra-galactische nevels en bovendien typische vertegenwoordigers van de klasse der onregelmatige extra-galactische nevels *(Plaat XXIII)*.

Op fotografische opnamen lossen de Wolken van Magelhaens zich in een gewemel van sterren, sterrenhoopen en nevels op. Onder de sterren zijn verder zoowel Cepheïden als andere soorten van veranderlijken ontdekt en onder de nevelvlekken zoowel onregelmatige als planeetvormige nevels. Slechts één nova is tot dusver waargenomen, namelijk door LUYTEN en wel in de Groote Wolk.

Dank zij den grooten rijkdom aan verschillende objecten in deze Wolken kunnen wij vele indirecte methoden toepassen om haar afstanden uit te vinden. De beide Wolken liggen op ongeveer denzelfden afstand van ons, t.w. 100.000 lichtjaren. De middellijn van de Groote Wolk is 10.000 lichtjaren en die van de Kleine Wolk iets minder.

Beide Wolken zijn bijzonder rijk aan Cepheïden en andere

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

soorten van veranderlijke sterren — er zijn er ongeveer 2000 van ontdekt. Door een studie van de Cepheïden binnen de Kleine Wolk heeft Miss LEAVITT (Harvard-Sterrenwacht) het reeds vermelde verband tusschen de lengte der periode en de absolute helderheid van den Cepheïd ontdekt. HERTZSPRUNG was de eerste, die met behulp van dit verband getracht heeft den afstand tot de Kleine Wolk te bepalen.

Het totaal aantal sterren in de Groote Wolk bedraagt omstreeks 10 milliard en de gemiddelde dichtheid binnen de Wolk is iets minder dan in de naaste omgeving van de Zon.

De prachtige *Andromeda-nevel* (*Plaat XX*) behoort eveneens tot de best bekende der extra-galactische nevels; men kan hem reeds met het bloote oog als een flauw lichtvlekje onderscheiden. Met behulp van groote kijkers wordt hij gedeeltelijk in sterren opgelost. De Andromeda-nevel bevat meer dan honderd novae, eenige tientallen Cepheïden, eenige honderden super-giganten en iets meer dan honderd bolvormige sterrenhoopen. Zijn afstand bedraagt meer dan een millioen lichtjaren — volgens de allerlaatste onderzoekingen van LUNDMARK waarschijnlijk 1.600.000 lichtjaren — en zijn afmetingen zijn van dezelfde grootte als die van ons Melkwegstelsel.

Om de afstanden tot extra-galactische nevels, die nog niet in afzonderlijke sterren ontleed konden worden, te bepalen, moet men van minder juiste methoden gebruik maken dan die, welke zooeven beschreven zijn, n.l. methoden die op de totale helderheid van den nevel en op zijn schijnbaren diameter berusten. Ten slotte hebben wij nog een methode om den afstand te bepalen. Deze berust op de radiale snelheden van de nevels, omdat er, zooals wij naderhand zullen zien, een verband bestaat tusschen de radiale snelheid en den afstand der nevels.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA



(Foto Mount Wilson-Sterrenwacht).

De spiraalnevel Messier 101.



(Foto Mount Wilson-Sterrenwacht).

De spiraalnevel Messier 33.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA



(Foto Mount Wilson-Sterrenwacht).

De spiraalnevel N. G. C. 891 gezien van ter zijde.



(Foto Harvard-Sterrenwacht).

De „Groote Magelhaen'sche Wolk."

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Ook bij de extra-galactische nevels zijn vaak twee of meerdere dicht bij elkander gelegen; zij vormen waarschijnlijk *dubbele-* of *meervoudige* stelsels. Bij de dubbele nevels zouden wij ook baanbewegingen kunnen verwachten, die overeenkomst zouden toonen met de beweging der dubbelsterren. Daar de omloopstijden echter in honderden millioenen jaren geteld moeten worden, kunnen wij met geen mogelijkheid dergelijke baanbewegingen constateeren.

Verder zijn er vele opeenhoopingen van extra-galactische nevels bekend, z.g. „*nevel-clusters*" of „*super-galaxies*". Een der grootste van hen, door WOLF te Heidelberg ontdekt, bevindt zich bij de Noordpool van den Melkweg en bevat omstreeks 1000 nevels. De afstand tot dezen nevelhoop bedraagt eenige honderd millioenen lichtjaren.

Al de millioenen extra-galactische nevels, die wij met behulp van onze grootste kijkers kunnen waarnemen, vormen naar alle waarschijnlijkheid een enorm stelsel van een hoogere orde: het *Meta-galactische stelsel.* Zijn totale massa bedraagt ongeveer 2.2×10^{18} zonnemassa's. Niettegenstaande deze ontzaglijk groote hoeveelheid materie wordt de wereldruimte gekenmerkt door een troostelooze leegte; de gemiddelde materie-dichtheid in onze omgeving is inderdaad meer dan een billioen maal kleiner dan de dichtheid van het meest volmaakte op aarde te bewerkstelligen luchtledige.

Het vraagstuk of er andere Meta-galactische stelsels buiten het onze bestaan wacht nog op een oplossing. Theoretisch kan men aantoonen, dat het Heelal onder zekere voorwaarden opgebouwd kan zijn door materie, die in afzonderlijke opeenhoopingen verdeeld is over een oneindige ruimte. Voor zoover wij den bouw van het Universum thans kennen komt hij overeen met dit denkbeeld: de sterren vormen Melkwegstelsels en de Melkwegstelsels vormen een stelsel van hoogere orde, het Meta-galactische stelsel. — Zijn er

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

andere Meta-galactische stelsels? En, zoo ja, worden door deze dan stelsels van nòg hoogere orde gevormd, en zoo *ad infinitum*?

* * *

2. De uitdijïng van het Heelal.

Een onderzoek naar de radiale snelheden van de extra-galactische nevels heeft uitgewezen, dat zij zich door de ruimte met snelheden voortbewegen, die honderden malen grooter zijn dan die der sterren.

Bovendien verwijderen zich van ons, op enkele uitzonderingen na, alle onderzochte nevels. Hun spectraallijnen zijn dus naar den rooden kant van het spectrum verschoven.

Onderzoekingen van de Amerikaansche sterrenkundigen HUBBLE en HUMASON hebben verder aan het licht gebracht, dat er een duidelijk verband bestaat tusschen de radiale snelheden van de extra-galactische nevels en hun afstanden van ons, met dien verstande, dat de snelheden met den afstand toenemen. Het geheele Meta-galactische stelsel zet zich schijnbaar uit met een snelheid, die met den afstand toeneemt, in een verhouding van 170 km per seconde per één millioen lichtjaren.

De grootste astronomen en scherpzinnigste mathematici van onzen tijd hebben meer of minder geslaagde pogingen gedaan om dit eigenaardig verschijnsel op te helderen en getracht zal worden hier ten slotte een kort overzicht te geven van eenige dier cosmologische speculaties, berustend op de relativiteits-theorie van EINSTEIN.

Indien wij aannemen, dat de waargenomen roodverschuiving als een DOPPLER-effect geduid moet worden, beteekent het verschijnsel: dat het Heelal zich met een groote snelheid uitzet. Nemen wij thans aan, dat het Heelal in *evenwicht* verkeert, dan zijn er slechts twee oplossingen

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

mogelijk van de grondvergelijkingen der relativiteits-theorie van EINSTEIN: de eene is door EINSTEIN en de andere door DE SITTER te Leiden gevonden.

Volgens de oplossing van EINSTEIN is het Heelal onbegrensd, maar eindig, en de afmetingen, door den „wereldstraal" aangegeven, worden door de hoeveelheid materie, die het bevat, bepaald. Is dus de dichtheid der materie in het Heelal bekend, dan kunnen wij volgens EINSTEIN den wereldstraal afleiden. Hoe meer materie het Heelal bevat, des te kleiner afmetingen heeft het, en omgekeerd. De wereld van EINSTEIN (het „statische Heelal" genoemd) is in evenwicht en bevat materie, maar heeft geen beweging; de waargenomen uitzetting van het Heelal kan dus niet verklaard worden.

Volgens de oplossing van DE SITTER is het Heelal eveneens eindig, maar het is ledig — d.w.z. zijn dichtheid is nul. Bovendien zet het Heelal zich uit en wel met een snelheid, die evenredig is aan den afstand; de grootte van het Heelal hangt verder af van de snelheid der uitzetting. Deze theorie verklaart dus op elegante wijze het verschijnsel der roodverschuiving. Zooals reeds gezegd is de dichtheid in de wereld van DE SITTER nul: er bestaat wel een stelselmatige beweging, maar geen materie, die zich beweegt! Weliswaar is ons Heelal zeer materie-arm, maar het is niet heelemaal leeg. Ook de wereld van DE SITTER (het „ledige Heelal" genoemd) is derhalve niet overeenkomstig de werkelijkheid.

Dit schijnbare dilemma betreffende de werelden van EINSTEIN en van DE SITTER, die theoretisch beide mogelijk zouden kunnen zijn maar die beide in conflict zijn met onze kennis van het Heelal, is door Abbé LEMAÎTRE te Leuven opgehelderd.

De oplossingen van EINSTEIN en DE SITTER berusten beide op de veronderstelling, dat het Heelal in evenwicht zou zijn. Laten wij deze veronderstelling weg, dan heeft LEMAÎTRE één, of liever gezegd een oneindig aantal op-

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

lossingen gevonden, die een middenweg vormen tusschen de beide oplossingen van EINSTEIN en DE SITTER. Volgens LEMAÎTRE bevindt zich het Heelal in een evolutionnairen overgang van den eenen toestand naar den andere. Eens is het Heelal begonnen als de wereld van EINSTEIN, die materie, doch geen beweging bevatte en die een radius van 900 millioen lichtjaren had. Momenteel zet het Heelal zich uit, zijn radius neemt toe, zijn materie verspreidt zich en wij nemen zijn toestand waar als eene roodverschuiving der spectraallijnen in de spectra van verafgelegene extra-galactische nevels. Na oneindige tijden is een eindtoestand bereikt: de wereld van DE SITTER, gekarakteriseerd door leegte, maar met beweging.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA



(Foto Mount Wilson-Sterrenwacht).

De spiraalnevel Messier 51 in de Jachthonden.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

REGISTER.

A

Aarde 9, 10.
Aardegroep, planeten der 9.
Absolute grootte (helderheid, magnitude) 40, 51, 63, 93.
Absorptie van het licht in de wereldruimte 84, 85.
Absorptie-spectrum 21, 44, 45.
Adams, W. S. 69.
Algol 59, 60.
Ana-galactische nevels 97.
Andromeda-nevel 102; Plaat XX.
Antares 66.
Asteroïden 30.
A-sterren 46.
Aswenteling der sterren 55.
Atoom-theorie 41.

B

Bakhuyzen, H. G. van de Sande 28.
Begeleider van Sirius 68, 69.
Berlage Jr., H. P. 12.
Betelgeuze 66.
Bewegende sterrenhoopen 81.
Bewegingstoestanden der sterren 53.
Bilt, J. van der 18, 62.
Bohr, N. 42.
Bok, B. J. 90.
Bolvormige sterrenhoopen 81, 84.
Bos, W. H. van den 65.
Bowen, I. S. 89.
Bron der stellaire energie 73.
Bruggencate, P. ten 83.
B-sterren 46.

C

Calcium-lijn, rustende 88.
Centauri, α 67.
Centauri, ω 85, 86; Plaat XV.
Cepheïden 61, 62, 63, 85, 100, 102.
Ceti, Mira 61, 62, 67.
Chromosfeer 21.
Clusters 81.
Cluster-veranderlijken 63.
Contour der spectraallijnen 49, 55.
Corona 23; Plaat VIII.

D

Diffuse nevels 88.
Donkere nevels 65, 88.
Doppler, C. 53, 55, 59, 104.
Doppler, principe van 53.
Dubbelsterren 56.
Dwergplaneten 9.
Dwergsterren 17, 50, 67.

E

Easton, C. 95.
Eddington, A. S. 70, 71, 72, 75, 76.
Effectieve temperatuur 47.
Eigen-beweging der sterren 54.
Einstein, A. 69, 104, 105, 106.
Einstein, relativiteitstheorie van 69, 104.
Electronen 24, 42.
Emissie-spectrum 21, 44, 90.
Energie der sterren 73, 77.
Evolutie der sterren 74, 78.
Extra-galactische nevels 95, 97.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

F

Fakkels 19.
Finsen, W. S. 65.
Fraunhofersche lijnen 21, 22; Plaat VI.
F-sterren 46.

G

Galactische nevels 88.
Galactische stelsel 80.
Gent, H. van 63.
Gewicht der sterren 56, 71, 87.
Groot, H. 89.
Grootte, absolute 40, 51.
Grootte, schijnbare 39.
Grootte-klassen der sterren 39.
G-sterren 46.

H

Halley, Komeet van 36; Plaat XI.
Heelal 103, 105, 106,
Helderheid der sterren 39, 40, 51.
Hertzsprung, E. 50, 81, 102.
Hertzsprung-Russell-diagram (H.-R.-diagram) 51, 52, 53, 72, 77, 82, 83.
Hoofdplaneten 9.
Hoofdreeks 51, 72.
Hubble, E. P. 89, 104.
Humason, M. W. 104.
Huygens, Chr. 27, 32.
Hyaden 81.

I

Inwendige bouw der sterren 69.
Ionisatie 44.

J

Jeans, J. H. 60, 70, 75.
Julius, W. H. 18, 23.
Jupiter 10, 31; Plaat X.

K

Kamp, P. van de 84, 85, 95.
Kanalen van Mars 28.
Kapteyn, J. C. 93, 94.
Keeler, J. E. Plaat IX.
Kleine planeten 9.
Kleur der sterren 48, 82.
Kleur-index 48.
Kometen 9, 33.
Kortperiodische veranderlijken 61.
Kosmische stof 34, 88.
Krachtbronnen der stellaire energie 73.
Kraters op de Maan 14.
Kreiken, E. A. 94.
Kuiper, G. P. 68.
K-sterren 46.

L

Langperiodische veranderlijken 61.
Leavitt, Henrietta S. 102.
Lemaitre, G. 105, 106.
Lichtabsorptie in de wereldruimte 84.
Lichtjaar 40.
Lichtkromme 59, 60, 61, 62.
Lijnen, contour van, in ster-spectra 49, 55.
Lindblad, B. 96.
Locale stelsel 94.
Loopbaan van dubbelsterren 57.
Lundmark, K. 65, 100, 102.
Luyten, W. J. 53, 68, 101.

M

Maan 12, 13.
Maanen, A. van 67, 69 91.
Magelhaens, Wolken van 101; Plaat XXIII.
Magnitude, 39, 40.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Mars 9, 27; Plaat IX, X.
Massa der sterren 56, 67, 71, 87.
Massa-lichtkracht-wet 71.
Massa-vernietiging 73.
Mechanisch evenwicht 70.
Meervoudige sterren 60, 80.
Melkweg 79, 91; Plaat XIV.
Melkwegstelsel 79, 91, 95.
Mercurius 9, 25.
Meta-galactische stelsel 97, 103.
Meteoren 34.
Middelpuntstemperatuur der sterren 72, 74.
Milne, E. A. 70, 72.
Minnaert, M. 18.
Mira Ceti 61, 62, 67.
Mira-veranderlijken 61.
M-sterren 46.

N

Natuur der sterren 66.
Nebulium 89.
Neptunus 10, 32.
Nevel-clusters 103.
Nevels, nevelvlekken 65, 65, 82, 88, 89, 91, 95, 97.
Nieuwe sterren (novae) 64, 100.
Nijland, A.A.; Plaat X.

O

Oort, J. H. 95, 96.
Oosterhoff, P. Th. 69.
Open sterrenhoopen 81, 82, 100.
Opper-reuzen 51.
Orion-nevel 89, 90; Plaat XVI.
O-sterren 46, 89.

P

Pannekoek, A. 56, 79, 94; Plaat XIV.
Parallax 40.
Parsec 40.
Photosfeer 18.
Planck, M. 47.
Planeten 9, 25.
Planetenstelsel 9.
Planeetvormige nevels 88, 91.
Planetoïden 9, 30.
Pleiaden 81, 89; Plaat XIV.
Pluto 10, 32; Plaat IX.
Protuberanzen 22; Plaat VIII.
Proxima Centauri 68,

R

Radiale snelheid 53, 54, 104.
Relativiteitstheorie van Einstein 69, 104.
Reuzenplaneten 10,
Reuzensterren 50, 66, 72.
Rhijn, P. J. van 93, 94.
Ringgebergte op de Maan 14.
Roodverschuiving van spectraallijnen 69, 104, 105.
Rotatie van den Melkweg 96.
Ruimtedichtheid der sterren 92.
Russell, H.N. 50, 75.
Rustende calcium-lijn 88,
Rutherford, E. 42.

S

Saturnus 10, 32; Plaat IX.
Schematische stelsel van Kapteyn 93.
Schilt, J. 86.
Seares, F.H. 93.
Shapley, H. 84, 85.
Sirius 40, 68.
Sirius, begeleider van 68, 69.
Sitter, W. de 105, 106.
Slipher, E. C.; Plaat X.
Spectrum 20, 43, 44; Plaat VI.
Spectraalanalyse 20, 45.
Spectraal-klassen 45; Plaat XIII.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Spectraallijnen 20, 49, 55.
Spectroheliograaf 23.
Spectroscoop 20.
Spectroscopische dubbelsterren 59.
Spectroscopische parallaxen 51.
Spiraalnevels 95, 97.
Stark, J. 55.
Stark-effect 55.
Sterren 38.
Ster-model 70.
Sterrenhoopen 80.
Stralingsdruk 24, 70, 89.
Stralingsevenwicht 70.
Stralingswet van Planck 47.
Strömgren, B. 77.
Super-galaxies 103.
Super-giganten 51, 64, 66, 102.

T

Tamm, N. Plaat IX.
Tellus 10.
Temperatuur der sterren 48, 67.
Thermodynamisch evenwicht 87.
Trumpler, R. J. 83, 84.

U

Uitdijïng van het Heelal 104.
Uranus 10, 32.

V

Vallende sterren 36.
Venus 9, 26.
Veranderlijke sterren 61, 101.
Verduisterings-veranderlijken 59; Plaat XIII.
Vernietiging van materie 73.
Vloeibare sterren 75.
Vogt, H. 70.
Vorm der spectraallijnen 49, 55.
Voûte, J. 54, 57, 62, 68; Plaat IX.

W

Waterstof-atoom, Bohr-model van 43.
Waterstof-inhoud der sterren 76.
Witte dwergen 52, 68, 69, 72.
Wolf, M. 103.
Wolken van Magelhaens 101; Plaat XXIII.
Woltjer Jr., J. 24.

Z

Zanstra, H. 89.
Zeipel, H. von 70, 87.
Zon 17, 40, 49, 54, 67, 72, 73; Plaat IV.
Zonnestelsel 9, 54.
Zonnevlammen 22; Plaat VIII.
Zonnevlekken 18, 24; Plaat V.
Zonnewarmte 73.
Zwart lichaam 47.

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

INHOUD.

Blz.

INLEIDING 7

I. HET ZONNESTELSEL. 9
1. De Aarde. 10
2. De Maan 13
3. De Zon 17
4. De Planeten 25
5. De Kometen en de Meteoren. 33

II. DE STERREN 38
1. Algemeene definities 39
2. Korte beschouwing over de atoomtheorie. . . 41
3. De spectraalanalyse der sterren 45
4. Dubbelsterren en meervoudige sterren. . . . 56
5. Veranderlijke sterren en „nieuwe sterren" . . 61
6. De natuur der sterren 66
7. De inwendige bouw en de ontwikkeling der sterren 69

III. HET MELKWEGSTELSEL 79
1. De sterrenhoopen 80
2. De galactische nevels. 88
3. De bouw van het Melkwegstelsel 91

IV. HET META-GALACTISCHE STELSEL . . . 97
1. De extra-galactische nevels. 97
2. De uitdijing van het Heelal 104

REGISTER. 107

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

Biog!
31.7.34

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

PERPUSTAKAAN NASIONAL
REPUBLIK INDONESIA

