



Sterrenkunde

<https://hdl.handle.net/1874/289187>

STERRENKUNDE

96



WERELD
BIBLIOTHEEK
ONDER LEIDING VAN L. SIMONS



UITGEGEVEN DOOR:
DE MAATSCHAPPIJ VOOR GOEDE EN
GOEDKOOPE LECTUUR AMSTERDAM

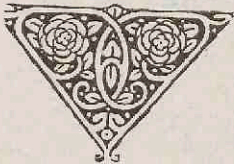




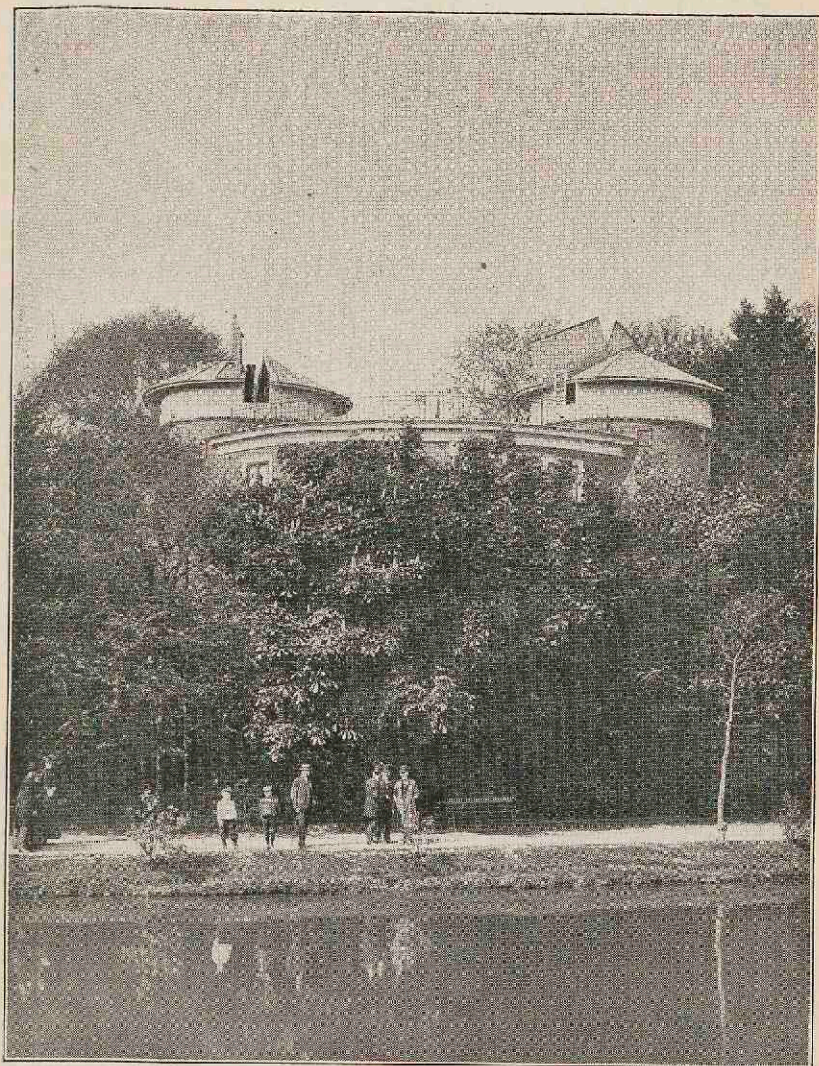
J. VAN DER BILT

STERRENKUNDE

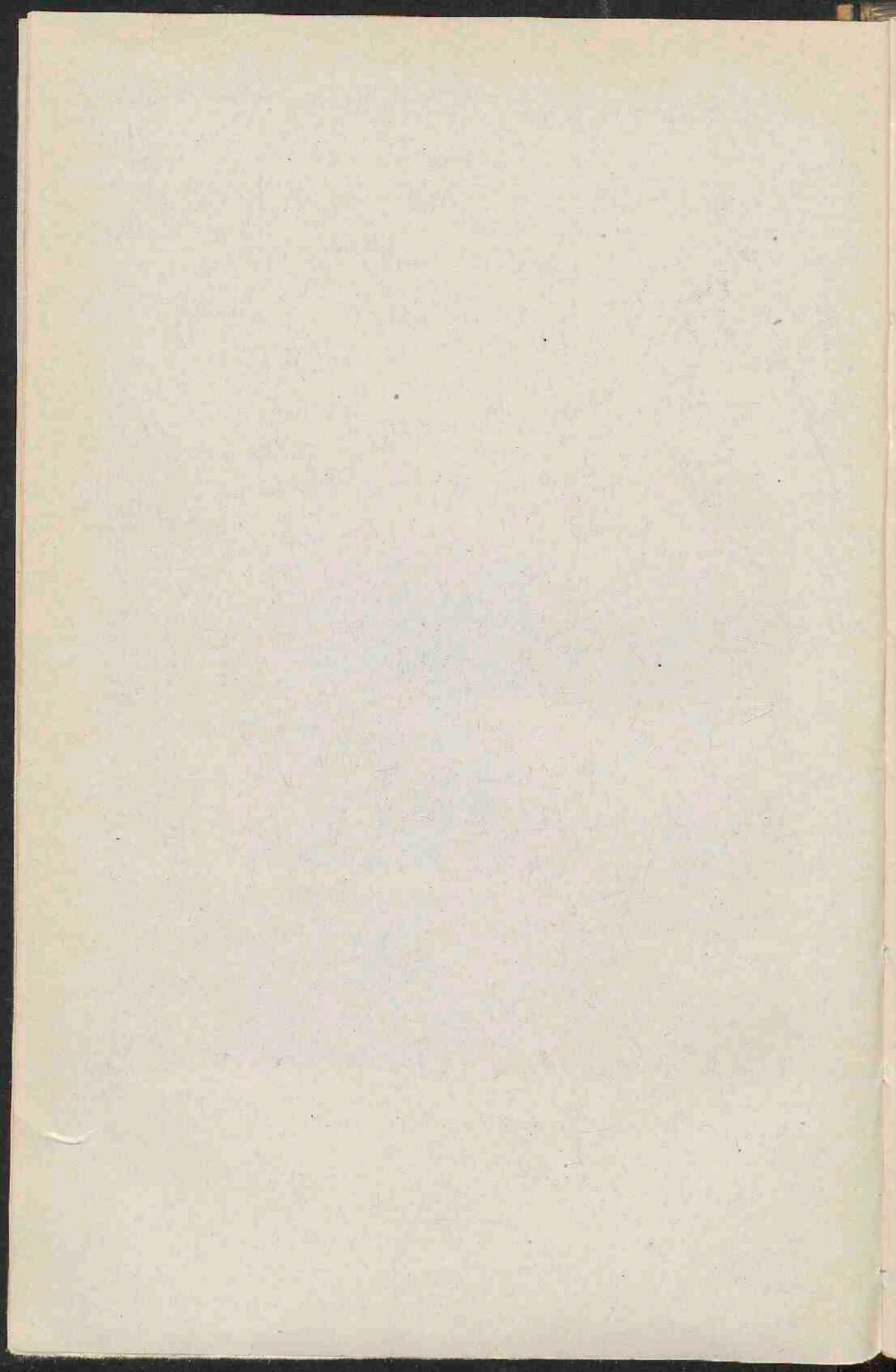
MET 133 AFBEELDINGEN



Dit werk maakt een onderdeel
uit van onze serie
ENCYCLOPAEDIE EN MONOGRAFIEËN



DE STERRENWACHT TE UTRECHT.



VOORWOORD

Dit werkje is ontstaan uit den wensch van de Redactie der Wereldbibliotheek om eene reeks oorspronkelijk Nederlandsche monografieën uit te geven.

Ik heb, in overeenstemming met de bedoelingen der Uitgevers, getracht in een zoo kort mogelijk bestek, mede te deelen tot welke vraagstukken een bestudeering van den sterrenhemel leidt en door welke methoden men deze tegenwoordig tracht op te lossen; het leek mij daarbij nuttig deze hemelbeschrijving in te leiden door eene eenigszins uitvoerige, en meer dan gebruikelijk is, subjectieve beschouwing over *de sfeer*. Het kleine bestek waarin de te behandelen stof eene plaats moest vinden, maakte de samenstelling, vooral van de 2de Afdeeling tot een probleem, dat ik niet wil beweren opgelost te hebben. Vooreerst zijn daarin de geometrische beschouwingen tegenover de fysische op den achtergrond gedrongen, (de verduisteringen bijv. zijn slechts even genoemd) en in de 2de plaats zijn de verschillende onderwerpen niet alle even uitvoerig en even populair behandeld. Zoo is opzettelijk voor de planeet *Mars* naar verhouding een grootere plaats ingeruimd dan voor de kometen, en is de *Maan* meer populair behandeld dan de *Zon*; het laatste van deze onderwerpen is, in het licht der moderne onderzoekingen, eigenlijk niet meer populair te behandelen.

Voor op- en aanmerkingen, en in het algemeen voor elke

gedachtenwisseling over den opzet en den inhoud van dit werkje houd ik mij, vooral van de zijde van docenten ten zeerste aanbevolen, terwijl ik de hoop koester, dat het voor de leerlingen der hoogste klassen van Gymnasia, Hoogere Burgerscholen en Zeevaartscholen, als *leesboek* hun kosmografie-*leerboek* op nuttige wijze zal kunnen aanvullen.

De titel **STERRENKUNDE** is gekozen om het werkje met een korten, Nederlandschen naam te doen aansluiten aan de andere monografieën. Deze titel drukt echter meer uit dan gegeven wordt; hiervoor zou een titel als Kosmografie of Hemelbeschrijving zich beter geleend hebben.

Utrecht, 15 Februari 1913.

DE SCHRIJVER.

EERSTE AFDEELING

HET GRIEKSCHE ALFABET.

<i>A</i> α Alfa.	<i>I</i> ι Iota.	<i>P</i> ρ Rho.
<i>B</i> β Beta.	<i>K</i> κ Kappa.	<i>Σ</i> σ Sigma.
<i>Γ</i> γ Gamma.	<i>Λ</i> λ Lambda.	<i>T</i> τ Tau.
<i>Δ</i> δ Delta.	<i>M</i> μ Mu.	<i>Υ</i> υ Upsilon.
<i>E</i> ε Epsilon.	<i>N</i> ν Nu.	<i>Φ</i> φ Phi.
<i>Z</i> ζ Zeta.	<i>Ξ</i> ξ Xi.	<i>Χ</i> χ Chi.
<i>H</i> η Eta.	<i>O</i> ο O micron.	<i>Ψ</i> ψ Psi.
<i>Θ</i> θ Theta.	<i>Π</i> π Pi.	<i>Ω</i> ω O mega.

I EEN BLIK NAAR DEN HEMEL MET HET. ONGEWAPENDE OOG

HET is een telkens herhaalde waarheid, dat wie werkelijk genieten wil van de wonderen van den nachtelijken hemel en begrip wil krijgen van het met dat woord aangeduide mechanische stelsel met zijn vele geledingen, dat hij wel in boeken beschreven vindt, maar dat hij zich a. h. w. tastbaar voor den geest wil halen, niets anders te doen heeft dan *geregeld* den hemel gade te slaan, op te merken, wat er voor zijn oog standvastig en wat er veranderlijk is, en niet tevreden te zijn vóór hij van alles wat hij opmerkt een verklaring gevonden of gehoord heeft, die hem volkomen bevredigt. Voor ieder, die belang stelt in sterrenkunde, hij moge beroeps- of liefhebberastronoom zijn, is dit de meest leerrijke methode, eene methode die evenwel een goede dosis vasten wil vereischt om het hoofd te bieden aan de vele teleurstellingen, die vooral in ons land niet uitblijven als gevolg van de vele bewolking en het ontbreken van een vrij uitzicht. Het is echter ongetwijfeld de *eenige* methode; hoe wonderlijk het ook moge klinken, het is een feit dat velen alleen het veranderen van de maanfase waarnemen, niet echter de beweging der maan, die er de oorzaak van is, en wij hebben „ontwikkelde leeken” ontmoet, die niet wisten dat het opkomen aan de Ooster- en het ondergaan aan de Westerkim ook voor sterren, planeten en kometen geldt; zij meenden dat alleen de zon en de maan deze schijn-

bare beweging bezitten! Een kwartier van opmerkzaamheid zou hen voor deze dwaling hebben kunnen behoeden. Een leek hoort zich zoo vaak toevoegen „wat ge daar als heldere, rustige ster ziet schitteren is geen ster, maar de *planeet Jupiter*” of „*Venus* is avondster,” en hij wil deze mededeelingen gaarne aanvaarden, maar is het niet vele malen belangwekkender om *Venus* avondster te zien worden, en om uit de beweging van een hemellicht zelf tot het besluit te komen dat het geen ster is en uit zijn plaats aan den hemel met behulp van eene sterrenkaart en een almanak zelf na te gaan welke planeet het is.

Wie dit ernstig wil begrijpen, zal zijne moeite ruim beloond vinden; hij zal, de noodzakelijkheid voelende de sterrenbeelden te leeren kennen, spoedig zonder moeite de bijzondere hemelverschijningen waarvan de dagbladen melding maken, zooals kometen en nieuwe sterren, kunnen gadeslaan; hij zal voor het eerst vertrouwd geraken met de afstandsverschillen en in de aanschouwde sfeer werkelijk diepte zien, waardoor hij verduisteringen begrijpen en zich den stand eener kometenbaan in de ruimte voorstellen kan. Zodoende zal hij zichzelf tallooze vragen stellen en even talrijk zullen de moeilijkheden zijn, die hij moet overwinnen; maar er is er geene of een min of meer volledig antwoord ligt reeds gereed. Aangemoedigd tot meer, zal hij zich aangetrokken gaan gevoelen tot één of meer sterrenkundige problemen, bijv. tot het wonderlijke en nog geenszins volledig begrepen vraagstuk betreffende de helderheidswisselingen van vele sterren, en eenmaal zoover gekomen zal hij wat tot dusverre *liefhebberij*, luxe voor zijn geest was, dienstbaar kunnen maken aan de ontwikkeling eener *wetenschap*. Wie meenen moge dat dan, met de intrede van het zakelijke, het poëtische verdwenen is, vergist zich ten eenenmale.

Wij herhalen: de eerste stap tot dit alles is het *geregeld* bestudeeren van den hemel. Men doe dit kalm, make het zich gemakkelijk en verbanne elk gevoel van gejaagdheid; men bedenke dat het materiaal, dat bestudeerd wordt,

tenminste schijnbaar, haast noch vluchtigheid kent. Het geeft zich in eeuwige pracht, waardig in den ernst van zijn schijnbare rust, aan alle geslachten, en kan door de menschen op aarde vaak beter begrepen worden dan menig gewrocht van eigen geest.

Wij zullen nu in dit hoofdstuk in het kort nagaan welke de bewegingen zijn, die de beschouwer van den hemel in hoofdzaak waar kan nemen, hoe hij ze constateeren kan en waarop hij daarbij te letten heeft, en wij zullen de *verklaring* ervan tot de volgende hoofdstukken uitstellen.

OPKOMST EN ONDERGANG. Dit is de beweging waarmee wij het meest vertrouwd zijn, omdat wij ze ook bij de zon en de maan waarnemen, ja, omdat onze indeeling van dag en nacht en dus ons geheele maatschappelijke leven

ermede samenhangt. Wij zien de meeste hemellichten aan de Oostelijke helft van den horizon verschijnen, een boog aan den hemel beschrijven, en aan de Westelijke helft van den horizon daarachter verdwijnen. Deze beweging is, wij zijn er bij onze dagelijksche aanschou-

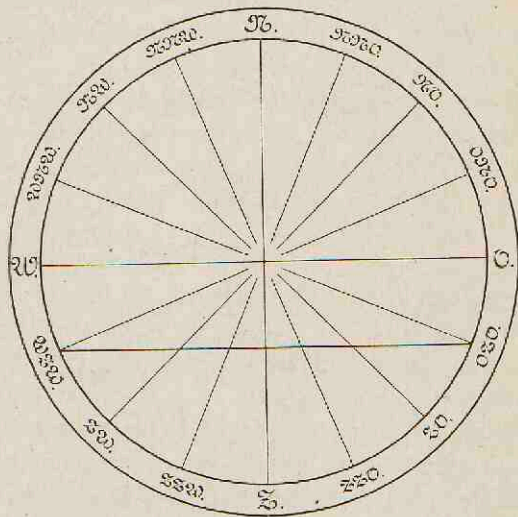


FIG. 1. DE STREKEN VAN DEN HORIZON.

wing van den loop der zon, die onzen tijd regelt, mede vertrouwd geraakt, *symmetrisch* ten opzichte van het vlak van den meridiaan, dat loodrecht op den horizon door de Noord-Zuidrichting gedacht kan worden. Teekent men (Fig. 1) eene in streken verdeelde kompasroos, dan heeft

men daarop, eenmaal wetende waar bijv. een ster is opgekomen, slechts vanuit dat punt eene lijn te trekken loodrecht op de N. Z. richting om het punt te vinden waar ze zal ondergaan. Komt eene ster op in het OZO, dan gaat ze in het WZW onder. Een kompasroos als de hier geteekende is onze horizon in 't klein, die immers, wegens den bolvorm der aarde, eene cirkelvormige begrenzing heeft. Wij staan dan zelf in het middelpunt van dien cirkel en het punt loodrecht boven ons noemen wij het zenith of toppunt.

Wij hebben in de teekening nu wel aangegeven de begin- en eindpunten van de door een ster aan den hemel beschreven boog, maar daarmee is de boog zelf niet vastgelegd,

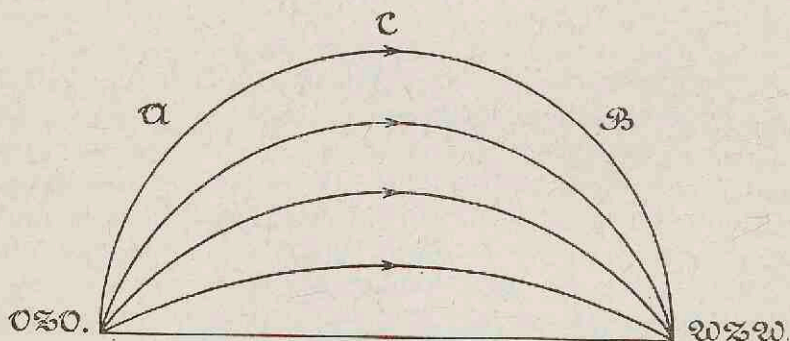


FIG. 2. VERSCHILLENDE STERREBOGEN OP DEZELFDE KOORDE VAN DEN HORIZON.

zoals uit Fig. 2 duidelijk is, waar vele sterrebogen getrokken zijn, die alle voldoen aan de voorwaarde dat de ster in het OZO opkomt en in het WZW ondergaat. Welke van deze een bepaalde ster beschrijven zal, hangt niet van de plaats aan den hemel, maar van die van den waarnemer op aarde af. De beweging n.l. die wij opkomst en ondergang noemen is eene *schijnbare* beweging, ontstaande als gevolg van de wenteling der aarde om hare as. De bogen van alle sterren hebben daardoor denzelfden stand ten opzichte van den horizon, en wanneer wij eene verandering van dien stand

willen waarnemen, dan moeten wij ons daartoe gaan verplaatsen; willen wij eene *loodrecht* op den horizon staande boog waarnemen, dan moeten wij zelfs onze reis tot aan den aequator uitstrekken.

Wij merken intusschen op dat het opkomen en ondergaan op *vaste* punten van den horizon alleen voor sterren geldt; zon, maan, planeten en kometen komen en verdwijnen *niet* steeds op dezelfde punten van den horizon, ja de kometen kunnen zelfs op alle mogelijke punten van den Oostelijken horizon opkomen. Voor de zon, de maan en de planeten is er een bepaald gebied ter weerszijden van het Oosten en Westen, waarbinnen de opkomst en de ondergang zullen plaats hebben. De *verklaring* hiervan moge tot een der volgende hoofdstukken bewaard blijven; aan haar moet echter de waarneming der feiten vooraf gaan.

DE MAANBEWEGING. Van de beweging der maan om de aarde, een beweging die tegengesteld gericht is aan de schijnbare beweging van op- en ondergang, kan men zich gemakkelijk overtuigen, door zoodra men voor het eerst na nieuwe maan, den maansikkel in een bepaalde richting ontdekt heeft, elken volgenden dag *op hetzelfde uur, in deze zelfde richting* te kijken. Dan ziet men bijv. om 7 uur 's avonds ongeveer in het Westen, een smallen sikkel, met den verlichten rand naar het Westen gekeerd; immers dáár is, enkele uren te voren de lichtbron d. i. de zon ondergegaan. Den volgenden dag om 7 uur in dezelfde richting ziende, zal men er de maan tevergeefs zoeken; men vindt ze iets Oostelijker en „voller” d. w. z. voor een grooter deel belicht. Weer een dag later ziet men om 7 uur een weer volleren sikkel nog meer Oostelijk, na een week ziet men op dat uur een half verlichte maan ongeveer in het Zuiden en na 14 dagen een geheel verlichte maanschijf ongeveer in het Oosten. Het is dan „volle maan.” De beweging die wij hier hebben waargenomen is tamelijk snel; wij hebben toch de maan in 14 dagen een boog aan den hemel van ongeveer 180° zien doorloopen, d. i. een boog van ongeveer 13° per dag of $\frac{1}{2}$

graad per uur, en daar de middellijn der maanschijf door ons gezien wordt onder een hoek die eveneens ongeveer $\frac{1}{2}$ graad bedraagt, zoo hebben wij van deze beweging reeds geleerd: de maan doorloopt gemiddeld *per uur een boog ter grootte van haar middellijn*.

DE PLANETENBEWEGINGEN. Elke beweging, zoowel op aarde als daarbuiten, ver-raadt zich gemakkelijker naarmate het zich bewegende voorwerp dichterbij ons is; vandaar dat wij de beweging der maan, die van alle hemellichten het dichtst bij ons staat, zoo gemakkelijk hebben kunnen opmerken; even gemakke-lijk is dit echter voor de tusschen de zon en de aarde geplaatste planeten *Mercurius* en *Venus*, die wij nu eens als avond-, dan weer als morgenster aan den hemel zien prijken. Vooral de snelle beweging van *Mercurius* is zeer opvallend; deze planeet staat zóó dicht bij de zon, dat wij ze bijna nooit voor het bloote oog te zien krijgen, maar toch worden *voor enkele dagen* in het jaar de omstan-digheden voor hare zichtbaarheid gunstig genoeg om hem die een vrije kim heeft, de gelegenheid te bieden haar waar te nemen. In het feit dat die omstandigheden slechts enkele dagen gunstig blijven, ligt de beste aanduiding voor de beweging van *Mercurius*. Voor de andere planeten, die welke verder van de zon staan dan de aarde, vereischt het constateeren der beweging een langeren tijd en meer opmer-kingsgave; zij geschiedt langzamer en minder regelmatig. De waarneming ervan is er echter niet minder loonend om, integendeel, wie de bewegingen van *Mars*, *Jupiter* en *Saturnus* tusschen de sterren opmerkt, volgt en leert begrijpen, verschaft zich, ook omdat in dit eerste op-merken een schat van andere wetenswaardigheden verborgen ligt, een bijzonder genot en groote voldoening.

Naar de bewegingen van de planeten *Uranus*¹⁾ en *Nep-tunus* behoeft men, daar ze nooit voor het bloote oog zichtbaar zijn, niet te speuren.

¹⁾ Klemtoon op de eerste letter.

DE AFSTANDEN.

Wie de bewegingen der hemellichten zooals zij zich aan zijn oog voordoen, goed wil begrijpen, moet zich terdege rekenschap geven van de afstanden, en daar zijn wereldsch oog dit niet kan, moet zijn geestesoog hem hierin te hulp komen. Het lijkt wel alsof alle hemellichten geplaatst zijn aan de binnenzijde van een bol, dien wij de sfeer of den hemelbol noemen, maar dit is natuurlijk slechts schijnbaar. De maan staat, astronomisch gesproken, zéér dichtbij, dan

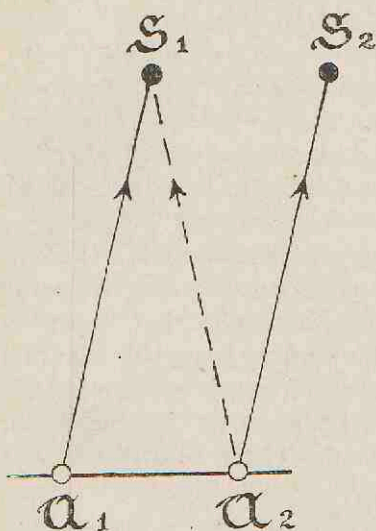


FIG. 3.

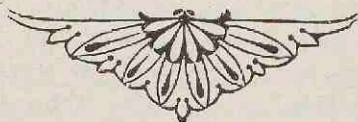
komen de planeten en de zon, en millioenen malen verder de sterren. De maan in haar zoeven beschreven loop, gaat dus vóór, d. i. aan onze zijde van de planeten en sterren langs; ziet men *Mars* en *Saturnus* vlak bijeen, dan is de eerste *veel* dichtter bij en lijkt daardoor soms *veel* helderder dan de laatste, al is haar volume ook 5000 malen kleiner.

Van kometen zijn de afstanden telkens anders; men onthoude echter dat eene voor ons zichtbare komeet *altijd* midden in ons zonnestelsel is geplaatst, meestal

zelfs niet verder van ons verwijderd is dan de zon.

De sterren staan, zooals gezegd, op zulk een grooten afstand, dat wij ze, waar zich ook de aarde in haar baan moge bevinden, steeds in dezelfde richting zien, wanneer wij althans van de schijnbare dagelijksche richtingsveranderingen afzien en ons in het middelpunt der aarde geplaatst denken. Wanneer wij dus, ten einde ons eenig sterrenkundig verschijnsel gemakkelijker voor te kunnen stellen, eene schets ontwerpen van de onderlinge posities

van hemellichten en daardoor genoodzaakt zijn een ster op naar verhouding veel te kleinen afstand te plaatsen (Fig. 3), dan mogen wij als $A_1 S_1$ de richting naar de ster voorstelt voor eene positie A_1 der aarde, niet voor een volgende positie A_2 zeggen dat die richting $A_2 S_1$ geworden is, neen, ze moet *evenwijdig* aan de eerste richting en dus als $A_2 S_2$ geteekend worden. Dit ligt zóó voor de hand, dat het haast onnoodig lijkt er de aandacht op te vestigen, maar wij hebben opzettelijk deze opmerking geplaatst, omdat wij ze zullen noodig hebben bij de beschouwing der laatste opvallende beweging aan den hemel, die wij zullen vermelden, n. l. de gestadige verschuiving der sterrenbeelden. 's Zomers prijken behalve enkele beelden die altijd zichtbaar blijven, andere sterrenbeelden aan den hemel dan 's winters. Het blijven opmerken van de gestadige verschuiving dier beelden naar vroegere uren is een telkens wederkeerend genot en de snelheid waarmede ze geschiedt telkens een nieuwe verrassing. Deze beweging ontstaat doordat wij onzen tijd regelen naar een hemellicht (de zon), dat een beweging heeft ten opzichte van de sterren; het staat dus, in tegenstelling met deze, na een volle omwenteling der aarde, niet meer in dezelfde richting en de zooeven gemaakte opmerking, zal ons later, waar wij over den tijd handelen, de bedoelde verschuiving onmiddellijk doen begrijpen.



II PLAATSBEPALING AAN DE SFEER

DAAR het ons toeschijnt dat wij in het middelpunt van een bol geplaatst zijn, tegen welks binnenzijde alle hemellichten in projectie gezien worden, zoo is het voor het begrijpen van vele astronomische verschijnselen noodig, zich eenigszins een begrip te vormen van de geometrische gevolgen van die plaatsing. Een plat vlak snijdt een bol volgens een cirkel; gaat het door het middelpunt van den bol, dan is dit punt tevens middelpunt van den cirkel, die dan genoemd wordt een „grootte cirkel.” Een middellijn loodrecht op het vlak van een grooten cirkel snijdt den bol in de „polen” van dien cirkel. In alle andere gevallen snijdt een plat vlak den bol volgens een „kleinen cirkel.” Zijner dus (Fig. 4) *twee* punten A en B binnen den bol, dan snijdt de driehoek MAB (die het middelpunt bevat) uit dien bol een stuk van een grooten cirkel DE, de driehoek CAB (die het middelpunt *niet* bevat) een stuk van een kleinen cirkel FG. Beschouwt men *drie* punten binnen den bol, b.v. A, B en H, dan wordt het geheele viervlak M A B H op den bol vertegenwoordigd door drie elkaar snijdende grootcirkelbogen. Deze sluiten een *bol-*driehoek D E K in, waarvan zij de *zijden* zijn. Deze zijden zijn blijkbaar even groot als de vlakke hoeken aan het middelpunt :

zijde DE = hoek AMB
 zijde EK = hoek BMH
 zijde KD = hoek HMA.

Hieruit volgt, dat als men zich in het middelpunt M van den bol geplaatst denkt en A en B bijv. de zon en de maan voorstellen, de grootcirkelboog, gebracht door hunne projecties aan de sfeer, even groot is als de hoek waaronder men de hemellichten ziet. Zoo vertegenwoordigt elke op

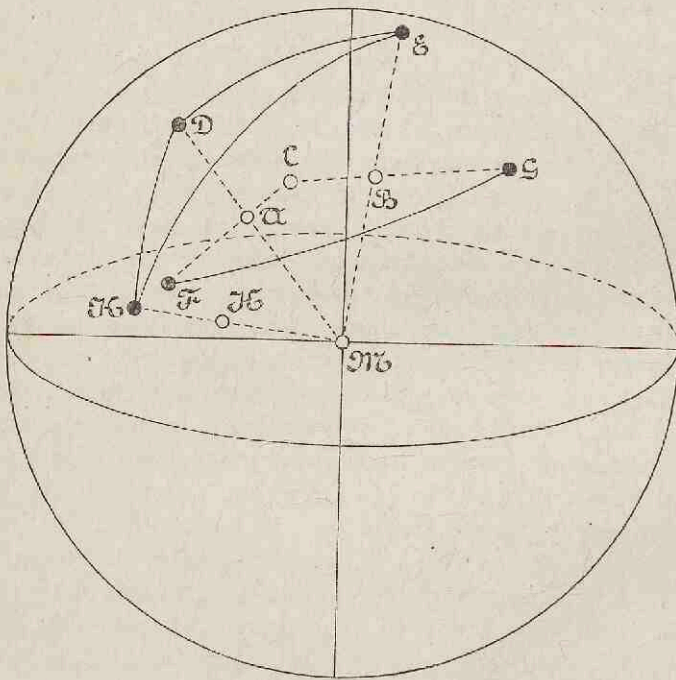


FIG. 4. BOLDRIEHOEKSMETING.

aarde gemeten *richting* aan de sfeer een *punt* en elke op aarde gemeten *hoek* aan de sfeer een *grootcirkelboog*, dien men in het geval van hemellichten hun schijnbaren afstand of kortweg hun afstand noemt, uitgedrukt in graden ($^{\circ}$), minuten ($'$) en seconden ($''$). Dit is het grondbeginsel

van alle hoekmeetinstrumenten, een beginsel dat men zelf terstond kan toepassen op de hoeken, gevormd door de lijnen uit het oog naar de uiteinden van voorwerpen op gestrekten armsafstand. Uit proefnemingen op bekende hoeken moet dan blijken welke afstand aan de sfeer overeenkomt met de middellijn van ons horloge (d. w. z. met den hoek waaronder wij dezen zien als wij het horloge loodrecht op de richting van den gestrekten arm plaatsen), welken met den afstand duim tot pink bij uitgespreide vingers, welken bij bepaalde munten enz. De kennis van deze afstanden is van groot nut in alle gevallen waarin men, zonder van instrumenten voorzien te zijn, plotseling ongeveer de grootte van een afstand aan de sfeer moet bepalen. Men komt daarbij tot verrassende uitkomsten, o. a. tot deze, dat de volle maan geheel te bedekken is door een op gestrekten armsafstand gehouden dubbeltje. De schijnbare middellijn der maan is n. l. gemiddeld $0^{\circ} 30'$, terwijl onze munten op een afstand van 70 cm. van het oog de volgende hoeken onderspannen :

een dubbeltje	$1^{\circ} 19'$
een kwartje	$1^{\circ} 38'$
een gulden	$2^{\circ} 28'$
een rijksdaalder	$3^{\circ} 21'$

Tabel I blz. 439 geeft de afstanden tusschen een groot aantal bekende sterren van den noordelijken hemel.

Fig. 4 heeft ons den opbouw van een boldriehoek geleerd; men zij daarbij indachtig dat de boog van een *kleinen* cirkel nooit de zijde van een boldriehoek kan zijn. Een boldriehoek wordt ingesloten door grootcirkelbogen; de meetkunde die zich bezig houdt met de elementen van zulk een driehoek heet: **boldriehoeks meting**. Voor ons doel moeten wij daartoe alleen nog de hoeken bepaald hebben: terwijl de zijden van den boldriehoek gelijk zijn aan de vlakke hoeken aan het middelpunt M, zijn de hoeken van den boldriehoek gelijk aan de z. g. „tweevlakshoeken” aan dat middelpunt. Dus is bijv. hoek D E K van den boldriehoek gelijk

aan den hoek tusschen de vlakken A B M en B H M. Hij is tevens gelijk aan den hoek, gevormd door de raaklijnen in E aan de bolcirkels E D en E K.

In de sterrenkunde heeft men met dergelijke boldrie-hoeken telkens te maken. De beschouwde bol heet daar de hemelsfeer; de waarnemer staat in het middelpunt, de hemellichten bevinden zich binnen in den bol. Daar de waarnemer geen afstanden langs de gezichtslijn kan zien, is hij geheel aangewezen op het projectiebeeld aan de sfeer; wij zullen daarom aan die sfeer eenige kenmerkende punten, bogen en vlakken moeten leeren kennen.

1. Voor elken waarnemer bestaat er slechts ééne richting die onveranderlijk is met den tijd, ééne z. g. *vaste* richting, aan de sfeer vertegenwoordigd door één *vast* punt. Die richting is de as der aarde; waar deze, verlengd gedacht, de sfeer snijdt, bevindt zich het vaste punt. Dit punt heet de aequatorpool, de hemelpool of zonder meer de *P o o l*. Deze as heeft weliswaar twee snijpunten met de sfeer, de Noordelijke en Zuidelijke hemelpool, maar een waarnemer op Noorderbreedte ziet altijd alleen de eerste, een waarnemer op Zuiderbreedte altijd alleen de tweede en het kan dus geen aanleiding tot verwarring zijn kortweg van „de Pool” te spreken. Daar de aarde om de poolas draait, zijn dus alle andere punten aan de sfeer niet onveranderlijk met den tijd; de Pool is het eenige punt dat niet aan de schijnbare, dagelijksche beweging van den hemel deelneemt.

2. Toch is er voor elken waarnemer nog een *schijnbaar* vaste richting, dus aan de sfeer een *schijnbaar* vast punt. Dit punt heet het toppunt of *zenith*; het ligt als men zich de aarde bolvormig denkt, op de lijn die haar middelpunt met den waarnemer verbindt en het vlak loodrecht op de richting naar het zenith noemen wij het vlak van den horizon; het is onverschillig of wij ons dit vlak door het middelpunt der aarde of als raakvlak aan de plaats van den waarnemer denken; beide vlakken snijden de sfeer volgens een cirkel, dien men aanduidt met den naam: *h o r i z o n*,

kim of gezichtseinder. Ook het vlak van den horizon is dus *schijnbaar* onveranderlijk; het schijnbare ontstaat doordat wij van de aarddraaiing zelve niets bemerken, en deze alleen, om bij een enkel hemellicht te blijven, uit het opkomen en ondergaan van de zon kunnen afleiden. In werkelijkheid is de richting naar de zon nagenoeg vast, ons horizonvlak snel bewegelijk, gedurende welke beweging het tweemaal per dag de vaste lijn waarnemer—zon bevat. Dit zijn de oogenblikken waarop de zon opkomt en ondergaat. Evenzoo snijdt de zenithlijn de sfeer telkens in andere punten, niet omdat die punten van plaats veranderen, maar omdat de zenithlijn dit doet. *Zenithlijn en horizon behooren bij den waarnemer*; verplaatst deze zich over den aardbol, dan volgen zij hem onafscheidelijk, de eerste ongeveer als de lengteas van zijn lichaam, het tweede a. h. w. als een reusachtige uitbreiding van het vlak zijner schoenzolen. Wie zich een reiziger steeds zóó over den aardbol voortschrijdende denkt, ziet het door hem medegenomen horizonvlak steeds op andere wijze de hemelsfeer snijden en begrijpt hoe de reiziger zelf, die zich hiervan niet bewust is, het telkens veranderen van den aanblik dier sfeer voor werkelijkheid zal gaan houden.

3. Het vlak, gebracht door den waarnemer, door zijn zenith en door de pool heet het *meridiaanvlak* van den waarnemer; het snijdt de sfeer volgens een grooten cirkel, den meridiaan. Het meridiaanvlak van den waarnemer, dat ook den aardschen meridiaan van den waarnemer bevat is geen *vast vlak*, maar draait om de poolas als spil in één dag rond. Aan deze beweging is, zooals gezegd, onze tijdindeeling ontleend; het oogenblik waarop het meridiaanvlak in zijn wentelende beweging het middelpunt der zon bevat is voor elke plaats op aarde het nulpunt van hare tijd-telling.

4. Het vlak, gebracht door het middelpunt der aarde loodrecht op de poolas, heet het *vlak van den hemelaequator*; het snijdt de sfeer volgens een grooten cirkel, den aequator. In tegenstelling met het meridiaanvlak is het vlak van den hemelaequator, een *vast vlak*; wel nemen natuur-

lijk ook *zijn* punten aan de hemeldraaiing deel, maar daar de stand van de poolas in de ruimte onveranderlijk is, geldt dit ook voor het aequatorvlak. Het is onafhankelijk van den waarnemer; met te spreken van *het* meridiaanvlak zegt men iets onbepaalds, *het* aequatorvlak is echter bepaald.

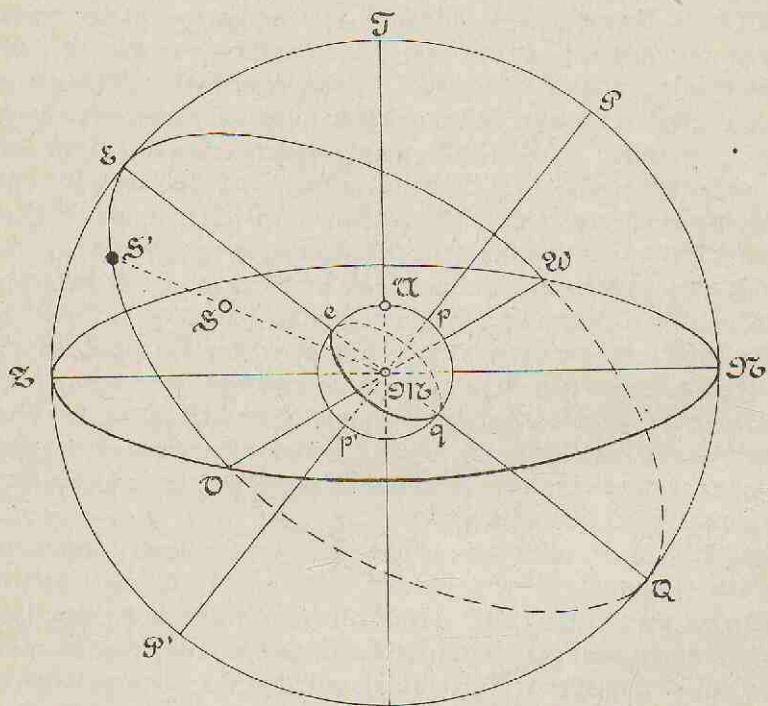


FIG. 5. TOPPUNT EN HORIZON, POOL EN AEQUATOR.
BREEDTE — POOLSHOOGTE.

Men zij daarbij indachtig dat het aequatorvlak een vasten stand in de ruimte heeft en een vasten stand ten opzichte van den horizon van een bepaalden waarnemer, maar dat deze stand verandert zoodra de waarnemer zich over de aarde gaat verplaatsen; dit ligt, zooals wij zagen, aan de omstandigheid dat hij op die reis zijn horizonvlak medeneemt en het ligt *niet* aan het aequatorvlak.

Fig. 5 geeft een voorstelling van de nu gedefinieerde punten en vlakken. Voor het gemak is een dergelijke teekening altijd zóó te ontwerpen, dat zij in overeenstemming met onze teekeningmethoden het horizonvlak evenwijdig aan onder- en bovenkant van het papier geeft. Wij zullen deze figuur iets nader gaan beschouwen. Het middelpunt der aarde ligt in het vlak van teekening, de lijn in M loodrecht op het horizonvlak dus ook, en haar snijpunt met den binnensten bol, die de aarde voorstelt, eveneens. Dit snijpunt A is dus de plaats van den waarnemer, T zijn zenith. Gemakshalve zullen wij de Noord- en Zuidpunten (N en Z) van den horizon ook in het vlak van teekening kiezen, waardoor dit tot meridiaanvlak wordt, en derhalve ook de Pool moet bevatten. Om de plaats daarvan aan te geven moeten wij den stand van de aardas ten opzichte van de aangenomen positie A van den waarnemer kennen, d. w. z. zijn breedte. Bevindt hij zich bijv. op 50° Noorderbreedte, dan moeten wij langs den aardschen meridiaan 50° naar het Zuiden om den aequator of evenaar (e), of 40° naar het Noorden gaan om de pool (p) te bereiken. Eenmaal p bekend, wordt P, de hemelpool, gevonden door Mp te verlengen tot ze de sfeer snijdt. Wij merken hierbij echter op dat wij, wegens de gelijkheid der hoeken eMA en pMN, die beide gelijk zijn aan de breedte, het bedrag van 50° ook van N af langs den hemelmeridiaan hadden kunnen afzetten. Met deze opmerking is tevens de grondstelling voor de bepaling der breedte eener waarnemingsplaats uitgesproken.

*Elke waarnemer bevindt zich op een breedte, die bepaald wordt door de hoogte van de pool boven zijn horizon.*¹⁾

Wij teekenen nu nog den hemelaequator loodrecht op de poolas en geven zijn snijpunten met den horizon als Oost- en Westpunten aan; immers twee groote cirkels van een bol deelen elkaar middendoor; de snijpunten van aequator en horizon liggen dus 90° van den meridiaan en zijn dus de punten Oost en West.

1) Aan deze stelling ontleent de uitdrukking „ik ga eens „poolhoogte” nemen, hare beteekenis van „ik ga mij oriënteeren.”

Bevindt zich nu ergens in de ruimte een hemellicht S in het aequatorvlak, en in dit geval verkeert de zon ongeveer 21 Maart en 22 September van elk jaar, dan volgt de projectie aan de sfeer S' bij de schijnbare dagelijksche beweging van den hemel den voor ons zichtbaren boog OEW die (ook voor sterren) de *dagboog* heet, gevolgd door den voor ons onzichtbaren boog WQO , den *nachtboog*, onzichtbaar omdat hij onder ons horizonvlak ligt. Een dergelijk hemellicht komt dus precies in het Oosten op en gaat precies in het Westen onder. Nogmaals zij er echter op gewezen dat in werkelijkheid het hemellicht niet of nagenoeg niet van plaats verandert, maar dat de geheele cirkel $PTEZP'QN$ om PP' als spil draait, waarbij aanvankelijk het horizon en later het meridiaanvlak de lijn MS bevat.

De hemelbol nu bevat miljoenen hemellichten, waarvan de projecties aan de sfeer overal verspreid zijn. Om hunne plaatsen daarop aan te kunnen geven, heeft men eenige bogen of hoeken tot z. g. „*coördinatenstelsels*” samengevoegd, welke wij thans in het kort zullen bespreken.

RECHTE KLIMMING EN DECLINATIE. Zooals wij reeds op bladz. 12 zagen, zijn er ééne vaste richting en één vast vlak en het ligt

allereerst voor de hand de plaatsen der hemellichten hierop te betrekken. Wij vervangen thans (Fig. 6) de aarde door haar middelpunt M , teekenen de sfeer weder voor 50° Noorderbreedte ($NP = 50^\circ$), beschouwen een hemellicht S (in het vervolg laten wij liefst de positie in de ruimte weg en beschouwen uitsluitend de projectie aan de sfeer) en brengen een grootcirkelboog door P en S . Daar alle vlakken door PM loodrecht staan op den aequator, geldt ditzelfde voor PS' . De boog SS' , de afstand van het hemellicht tot den aequator langs dezen loodboog gemeten, heet de *declinatie* van het hemellicht; het is een volkomen bepaalde afstand, die tot complement den boog PS heeft; deze heet de *poolsafstand* van het hemellicht. Het punt S' is eerst dan bepaald wanneer wij op den aequator een willekeurig te

kiezen nulpunt hebben aangenomen. Als zoodanig dient het punt Ariës (Ram), dat door het teeken Υ wordt aangegeven en op welks beteekenis wij later uitvoerig terugkomen. De afstand van dit punt Υ tot S' heet de rechte klimming van het hemellicht; zij wordt langs den

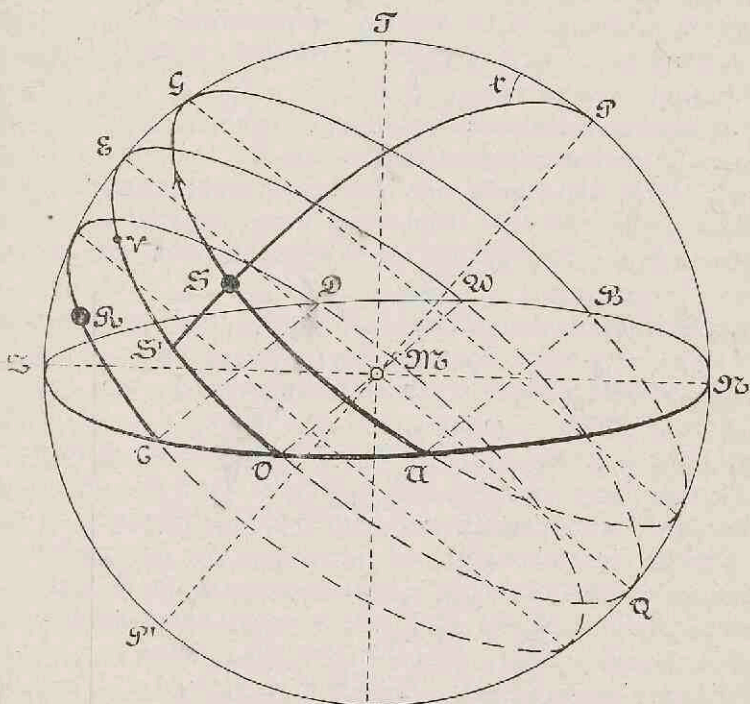


FIG. 6. RECHTE KLIMMING EN DECLINATIE.

aequator geteld tegen den zin der schijnbare hemeldraaiing in. Wanneer wij dus 's avonds naar de sterren zien, weten wij dat de Oostelijke grootere rechte klimming hebben dan de Westelijke en als wij (zie bladz. 5) de maan (en hetzelfde geldt voor de zon) van West naar Oost tusschen de sterren zien loopen, beteekent dit dat zij voortdurend hare rechte klimming vergroot.

De rechte klimming wordt gemeten hetzij in boogmaat van

0° tot 360° hetzij in tijdmaat van 0^u tot 24^u . Daar het begrip *tijd* onafscheidelijk verbonden is aan de draaiing der aarde en dus alleen op den aequator (een vlak *loodrecht op de draaiingsas*) gemeten kan worden, kunnen ook alleen op den aequator gemeten coördinaten, waarvan wij er thans één hebben leeren kennen, in boog- en tijdmaat beide gegeven worden. Alle andere hemelcoördinaten worden uitsluitend in boogmaat gegeven; zoo ook de declinatie.

Uit het bovenstaande volgt:

1. Alle hemellichten in den aequator hebben eene declinatie $= 0^\circ$. Wil men, omgekeerd, weten hoe de aequator aan den hemel loopt, dan heeft men slechts in een almanak op te zoeken welke sterren (nagenoeg) eene declinatie van 0° hebben. Bij de behandeling der sterrenbeelden zullen wij hierop terugkomen.

2. De Noordpool heeft eene declinatie $= + 90^\circ$, de Zuidpool eene $= - 90^\circ$. Voor het toppunt is de declinatie gelijk aan de breedte van de waarnemingsplaats ($\delta = \varphi$) Immers $bg ET = bg PN = \varphi$

3. Voor een hemellicht in den aequator is de dagboog gelijk aan den nachtboog. Hij is grooter dan de nachtboog indien de declinatie van het hemellicht gelijknamig is met de breedte (poolshoogte), en kleiner dan de nachtboog indien deze ongelijknamig is met de breedte. Is de declinatie van de zon dus Noord (+) dan is voor een waarnemer op Noorderbreedte haar dagboog grooter-, voor een waarnemer op Zuiderbreedte kleiner dan haar nachtboog, en omgekeerd. In Fig. 6 is de declinatie van S gelijknamig, die van het hemellicht R ongelijknamig met de breedte. Een 2^{de} gevolg hiervan is dat zij nu niet meer *precies* in het Oosten opkomen en in het Westen ondergaan; voor een hemellicht met Zuiderdeclinatie liggen (voor een waarnemer op Noorderbreedte) die punten meer naar het Zuiden, voor een hemellicht met Noorderdeclinatie meer naar het Noorden. Hoe grooter in dit geval de Zuiderdeclinatie, hoe kleiner de dagboog, hoe dichter de opkomst bij het Zuidpunt; hoe grooter de Noorderdeclinatie, hoe grooter

de dagboog, hoe dichter de opkomst bij het Noordpunt.

4. Is de declinatie zoo groot Zuidelijk dat het hemellicht precies in het Zuidpunt, of zoo groot Noordelijk dat het precies in het Noordpunt opkomt, dan is er van een eigenlijk opkomen geen sprake meer, daar de ondergang in hetzelfde punt plaats vindt. Het eigenlijke opkomen en ondergaan geldt alleen voor die hemellichten, welke een declinatie hebben gelegen tusschen $-bg\ E\ Z$ en $+bg\ Q\ N$, welke bogen hetzelfde bedrag hebben nl. $90 - \varphi$ d. i. de poolsafstand van den waarnemer. Is voor den waarnemer, zooals de Fig. aangeeft $\varphi = 50^\circ$ dan is zijn poolsafstand $= 40^\circ$ en kan er alleen voor hemellichten die een declinatie hebben gelegen tusschen -40° en $+40^\circ$ van opkomst en ondergang sprake zijn. Heeft een hemellicht een declinatie kleiner dan ($<$) -40° , dan ziet hij het nooit opkomen, heeft het een declinatie grooter dan $+40^\circ$ dan ziet hij het nooit ondergaan. In het laatste geval heet het *circumpolair*; de waarnemer ziet het een vollen cirkel rond de pool beschrijven met kleiner straal naarmate de declinatie grooter is. Van het sterrenbeeld de Kleine Beer vormt de z. g. „poolster” het uiteinde van den staart; daar deze ster slechts op $1\frac{1}{4}$ graad van de pool verwijderd is, wordt dus bij de schijnbare hemeldraaiing de Kleine Beer om de punt van zijn staart rondgewenteld, eene beweging die ieder vooral 's winters als de avonden lang zijn, gemakkelijk kan waarnemen. Voor de breedte van Nederland zijn ook de heldere sterren van den Grooten Beer *circumpolair* en verder o. a. de heldere sterren *Algol*, *Capella*, *Wega* en *Deneb* resp. in de sterrenbeelden *Perseus*, *Auriga*, *Lyra* en *Cygnus*.

5. Daar derhalve het al of niet zichtbaar worden van een bepaald hemellicht en het al of niet *circumpolair* zijn *uitsluitend van de breedte van den waarnemer* afhangen, zoo spreekt het vanzelf dat deze een anderen aanblik van de sfeer zal krijgen zoodra hij zich verplaatsen gaat. Dit volgt ook uit het op bldz. 13 genoemde feit dat hij op die reis zijn horizonvlak en zenithlijn moet medenemen, die de grondslagen vormen waarop wij onze sferen (Fig. 5 en 6) hebben

opgebouwd, want, waar hij zich ook heen moge begeven, het Noordpunt van zijn horizon blijft evenveel graden onder de (vaste) hemelpool als de breedte bedraagt van de plaats waar hij zich bevindt.

Circumpolair zijn alle hemellichten met eene gelijknamige declinatie grooter dan de poolsafstand van den waarnemer; voor een waarnemer aan den aequator (poolsafstand = 90°) is dus geen enkel hemellicht ooit circumpolair; voor een waarnemer aan de Noordpool (poolsafstand = 0°)

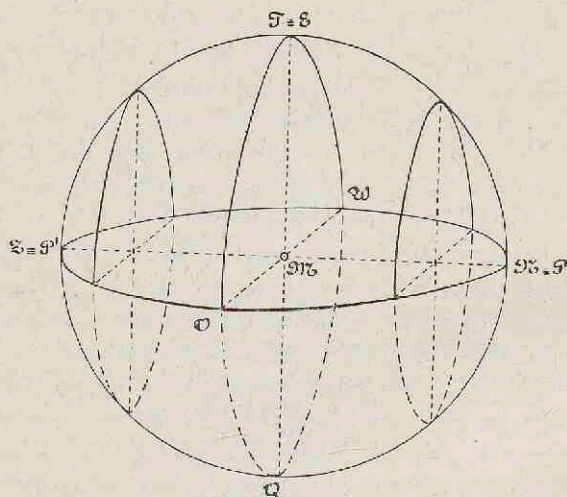


FIG. 7. LOODRECHTE SFEER.

zijn *alle* hemellichten met Noorder-, voor een waarnemer aan de Zuidpool *alle* hemellichten met Zuiderdeclinatie circumpolair.

Onzichtbaar zijn alle hemellichten met een ongelijknamige declinatie grooter dan de poolsafstand van den waarnemer; voor een waarnemer aan den aequator is dus geen enkel hemellicht ooit onzichtbaar; voor een waarnemer aan de Noordpool zijn *alle* hemellichten met Zuider-, voor een waarnemer aan de Zuidpool *alle* hemellichten met Noorderdeclinatie onzichtbaar.

Hetzelfde blijkt ook indien wij voor deze gevallen de sfeer naar het op bldz. 15 gegeven voorschrift opbouwen. Altijd is daarbij het horizonvlak ons uitgangspunt.

Fig. 7: de waarnemer staat aan den aequator ($\varphi = 0^\circ$); P valt dus samen met het Noordpunt, P' met het Zuidpunt van zijn horizon. De hemelaequator staat dus loodrecht op den horizon; de waarnemer ziet dus niet alleen alle hemellichten, maar hij ziet ze tevens in een loodrecht op zijn horizon staanden boog opkomen en ondergaan. Hij ziet een z.g. „loodrechte sfeer.”

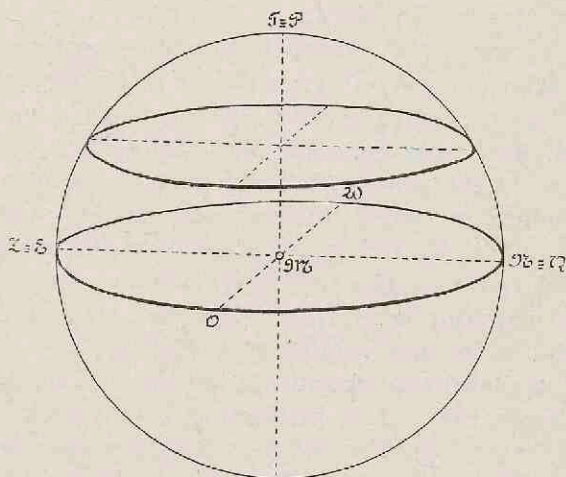


FIG. 8. EVENWIJDIGE SFEER.

Fig. 8: de waarnemer staat aan de Noordpool ($\varphi = 90^\circ$); P valt dus samen met het zenith. De hemelaequator valt dus samen met den horizon; de waarnemer ziet dus niet alleen alle hemellichten met Noorderdeclinatie, maar hij ziet ze tevens een cirkelboog aan den hemel beschrijven, die evenwijdig loopt aan zijn horizon. Hij ziet een z. g. „evenwijdige sfeer.”

De Fig. 5 en 6 gelden voor een waarnemer die ergens tusschen pool en aequator geplaatst is; deze ziet een z. g. „schuine sfeer.”

UURHOEK. Wij hebben gezien (bldz. 17) dat wij om de plaats van een hemellicht door zijn projectie op den aequator te bepalen, daarop een vast nulpunt moeten kiezen en dat als zoodanig het punt γ ($\alpha = 0^\circ \delta = 0^\circ$) dienst doet. Dit punt is een vast punt in de ruimte, de rechte klimming is onafhankelijk van de aarddraaiing, dus onafhankelijk van den tijd en voor hemellichten die geen merkbare eigen beweging vertoonen, bijv. voor de sterren, is ze constant. Een graadnet voor een sterrenkaart kan dus bestaan uit lijnen van gelijke rechte klimming (declinatiecirkels) en lijnen van gelijke declinatie (parallelcirkels) loodrecht daarop.¹⁾

Voor de practische waarneming aan den hemel echter kan het gekozen nulpunt geen dienst meer doen. Want het punt γ neemt, juist omdat het een vast punt in de ruimte is, deel aan de schijnbare hemeldraaiing en staat dus telkens in een andere richting; voor de practische waarneming aan den hemel moeten wij een nulpunt hebben, dat *steeds in dezelfde richting staat*, dat dus niet aan de schijnbare hemeldraaiing deelneemt, maar zich toch evenals het punt γ in den aequator bevindt. Het ligt voor de hand daarvoor het Zuidpunt in den aequator te kiezen, het snijpunt van aequator en meridiaan, het punt E van Fig. 6. Voor den afstand E tot S' heeft men nu de benaming u u r h o e k ingevoerd, omdat het aantal graden van dien hoog teruggevonden wordt in den hoek SPG. (hoek $t = \text{bg } E S'$) die in den tijd van 24^u alle waarden van 0° tot 360° doorloopt. De uurhoek van het hemellicht S is 0^u wanneer het in G gekomen is, d. w. z. in den meridiaan staat, en wordt door het Westen tot 24^u doorgeteld. In de positie S heeft het hemellicht dus een

¹⁾ Tengevolge van storingen, die de lichamen van het zonnestelsel op elkaar uitoefenen, zijn noch de hemelpool, noch het punt γ volkomen vaste punten in de ruimte; de rechte klimming is dus in een bepaalden zin wél afhankelijk van den tijd. De kleine verplaatsingen echter, die steeds in denzelfden zin plaats hebben, en bekend zijn als „*praecessiebeweging*” kunnen op de rechte klimming der hemellichten voor een bepaald oogenblik worden toegepast om ze geldende te maken voor een ander oogenblik.

In Fig. 6 $E S' = E \varphi + \varphi S'$.

— uurhoek hemellicht = — uurhoek φ +
rechte kl. hemellicht.

uurhoek φ = uurhoek hemellicht + rechte
kl. hemellicht.

HOOGTE EN AZIMUTH. Wanneer wij ons geheel vrij maken van den aequator en de pool, en ons alleen bepalen tot den horizon en ons toppunt, dan kunnen wij ons ook ten opzichte daarvan coördinaten vormen. Wij brengen daartoe (Fig. 9) een grooten cirkel door het hemellicht en het toppunt, die, daar hij in een vlak door TM ligt, loodrecht staat op de kim. Hij draagt den naam: hoogtecirkel of verticaalcirkel. Het deel van dien boog, begrepen tusschen hemellicht en horizon heet de hoogte, het complement, begrepen tusschen hemellicht en toppunt, heet de tops- of zenithsafstand van het hemellicht. De hoogte is blijkbaar gelijk aan den hoek, waaronder de waarnemer het hemellicht en het voetpunt van zijn hoogtecirkel ziet, hoek $S M S'$.

De tweede coördinaat in dit stelsel heet het azimuth. Dit wordt aan het toppunt als hoek, op den horizon als boog gemeten en in de sterrenkunde meestal van het Zuiden door het Westen tot 360° doorgeteld. Het hemellicht S heeft dus een azimuth van ongeveer 315° . In de zeevaarten landmeetkunde telt men veelal het azimuth van het Zuiden of Noorden tot 90° naar het Oosten of Westen; het azimuth van S wordt door den zeeman $Z 45^\circ O$ genoemd.

Wat bij uurhoek en declinatie aan één der coördinaten eigen is, geldt hier voor beide: ze zijn afhankelijk van den tijd van den dag, hebben echter het voordeel van a. h. w. *zichtbaar* te zijn. Alleen de pool heeft steeds hetzelfde azimuth (= 180°) en dezelfde hoogte (= φ) en dit geldt bij bloote oog waarnemingen ook voor haar naaste omgeving.

Van alle hemellichten neemt van hun opkomst af de hoogte voortdurend toe, totdat zij in den meridiaan staan (waar zij z.g. „culmineeren”). Daarna neemt de hoogte voortdurend af, het azimuth voortdurend toe. Dit geldt ook

voor de maan; wel loopt deze zooals wij zagen in haar eigen beweging vrij snel naar de zijde der kleinere azimuths, maar deze beweging wordt door de veel snellere schijnbare hemeldraaiing volkomen overwonnen. Het is echter duidelijk dat wanneer zij dit *niet* deed, wanneer m. a. w. de maan sneller om de aarde liep, dan deze om hare as wentelt, de maan *in het Westen* zou opkomen en het azimuth dus vanaf hare culminatie voortdurend zou afnemen. Dit geval doet zich, zooals wij later zullen zien, bij een der manen van de planeet *Mars* voor.

DE ECLIPTICA De geregelde waarneming van den hemel leert ons het volgende: 1°. daar wij voortdurend andere sterrenbeelden aan den nachtelijken hemel zien verschijnen, moet ook de zon telkens in andere sterrenbeelden staan en dus evenals de maan een beweging ten opzichte van de vaste sterren hebben; 2°. daar wij voortdurend de zon in andere punten van den horizon zien opkomen en ondergaan en op verschillende hoogten culmineeren, moet deze beweging plaats hebben in een vlak dat niet met den aequator samenvalt, maar er een hoek mede maakt. Het is gemakkelijk na te gaan hoe groot die hoek ongeveer is en na hoeveel tijd de zon weer in hetzelfde punt van hare baan teruggekeerd is. Zie daartoe in Fig. 10 c. S. e. M. het vlak waarin de beweging der zon plaats heeft en dat om later aan te geven redenen het *ecliptica* vlak heet; het snijdt de sfeer volgens een grooten cirkel, de *ecliptica*. Daar de schijnbare hemeldraaiing in den zin der enkele pijlen verloopt, heeft de beweging der zon plaats in den zin van den dubbelen pijl. De Fig. leert dan dadelijk dat bij elke positie van de zon in de *ecliptica* een andere parallelcirkel behoort, bij de positie *c* de parallelcirkel *cc'*, bij de positie *S* de aequator, bij de positie *e* de parallelcirkel *ee'*. Terwijl de zon de *ecliptica* doorloopt veranderen declinatie, daghoog, punten van opkomst en ondergang en de culminatiehoogte voortdurend. Heeft zij echter het punt *e* bereikt, dan keert de zin van al deze veranderingen om. De zon bereikt daar haar grootste declinatie, dus ook haar grootste middaghoogte.

Gaat men zorgvuldig na wanneer dit plaats heeft en welke de grootst bereikte hoogte is, dan is de gezochte hellingshoek e M Q daarmede gevonden. De gemeten hoogte is n. 1.

$$e' Z = E Z + e' E = (90 - \varphi) + \delta = 90 - \varphi + \text{hoek } e M Q$$

Deze laatste, de helling van de ecliptica blijkt hieruit

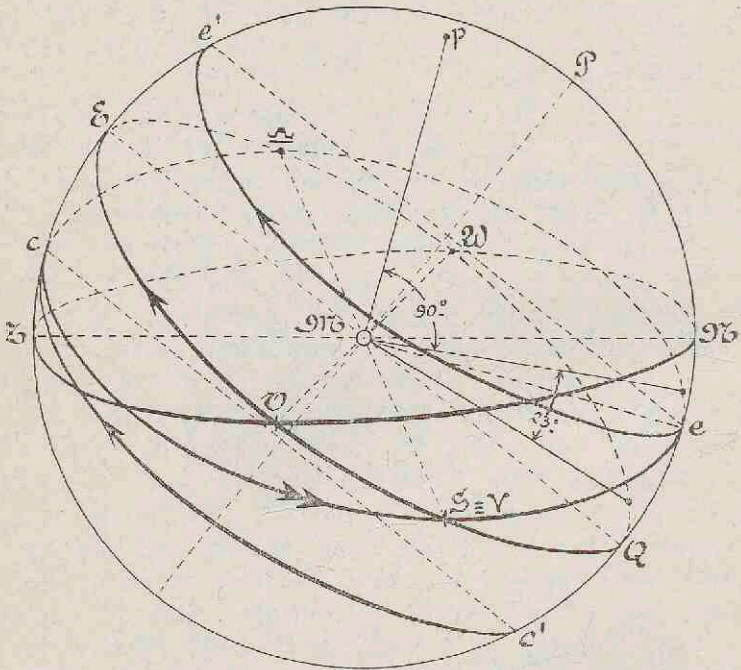


FIG. 10. DE ECLIPTICA.

ongeveer 23° te zijn. Neemt men den tijd van hoogste culminatie nog een keer waar, dan is het verloop tusschen de twee waargenomen tijdstippen gelijk aan den omloopstijd (periode) der zon. Deze periode, welke een zonnejaar heet, blijkt daarbij ongeveer 365 dagen te zijn.¹⁾

¹⁾ Zij wordt in de practijk scherper afgeleid uit de waarneming der tijdstippen waarop de declinatie der zon = 0° is.

De ecliptica helt dus 23° op den aequator en wordt door de zon in 365 dagen doorloopen; de vraag doet zich voor of deze beweging, evenals de dagelijksche een schijnbare is, een spiegelbeeld van eene beweging der aarde. De bevestigende beantwoording van die vraag heeft eeuwen op zich laten wachten en de eigenlijke *bewijzen* zijn van recenten datum. De drie verschijnselen, die vóór de invoering der kijkers onbekend waren, en thans als zoodanig worden aangevoerd, zijn de volgende:

1. *De parallaxis der sterren.* Wanneer niet de zon zich om de aarde, maar de aarde zich om de zon beweegt, zullen zeer nauwkeurige metingen van de plaats eener ster andere resultaten geven, naarmate de waarnemer zich

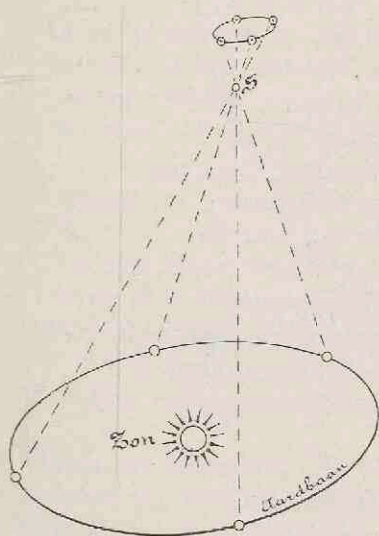


FIG. 11. DE PARALLAXIS DER
STERREN.

in een ander punt der aardbaan bevindt, ja wanneer hij zijne metingen regelmatig in den loop van een jaar voortzet, zal hij de ster (Fig. 11) schijnbaar een baan zien doorloopen, die een spiegelbeeld is van de baan der aarde, een ecliptica in het klein derhalve. Zulk eene baan, voor het eerst in 1838 waargenomen, is het resultaat van een zich bewegende aarde, en dus een bewijs voor deze beweging.

2. *de aberratie van het licht.*

Het mag algemeen bekend ondersteld worden, dat de snelheid van het licht meet-

baar is gebleken te zijn, en dat éérs uit een sterrenkundig verschijnsel (bldz. 296), later uit fysische proeven gebleken is dat zij ongeveer 300.000 KM. per sec. bedraagt. Had de aarde geen beweging, dan had men, wanneer men zijn kijker op een ster gericht had, met deze lichtsnelheid niet

te maken, doch wanneer ze zich beweegt is dit wèl het geval. Een lichtopwekking die *tijd* noodig heeft om (Fig. 12) de kijkerbuis te doorloopen, bereikt het oog van den waarnemer niet, indien zich dat intusschen verplaatst heeft. Nu doorloopt het licht de kijkerbuis in zulk een ondeelbaar klein oogenblik dat wij het in onze tijdmaat nauwelijks zouden kunnen uitdrukken, en het oog van den waarnemer, d. i. de aarde in haar baan, legt den overeenkomstigen afstand



FIG. 12. DE ABERRATIE VAN HET LICHT.

eveneens in een ondeelbaar klein oogenblik af. Maar de *verhouding* van die twee ondeelbaar kleine tijden neemt een *meetbaar* bedrag aan, en op deze verhouding alleen komt het aan. Uit de Fig. toch blijkt, dat wij den kijker, willen wij den lichtstraal ondanks de beweging der aarde toch opvangen, moeten laten hellen onder een hoek, die bepaald wordt door de *verhouding* der snelheden van de aarde en het licht, een verhouding die ongeveer $\frac{1}{10000}$ bedraagt. Elke waarnemer zal tengevolge van dit verschijnsel, dat de *aberratie* van het licht genoemd wordt, alle sterren een klein bedrag verplaatst zien en wel in verschillende richtingen, naarmate de aarde zich in verschillende punten harer baan bevindt en haar beweging dus anders gericht is.

Het bedrag der aberratie (in maximo $20''5$) is *veel* grooter dan dat der parallaxis en dan ook eerder (1726 door Bradley) gevonden.

3. de waarneming van een *periodieke* spelheidsverandering der sterren in de gezichtslijn (d. i. in de richting aarde—ster), welke niet anders dan schijnbaar kan zijn en een gevolg is van de beweging der aarde in haar baan. (bldz. 370)

LENGTE EN BREEDTE. Evenals de aequator en de hemelpool, bieden ook de ecliptica en haar pool de gelegenheid een hemellicht door twee met rechte klimming en declinatie analoge coördinaten vast te leggen, welke men, niet zeer gelukkig, de lengte en breedte van het hemellicht heeft genoemd. In Fig. 13 is weder de

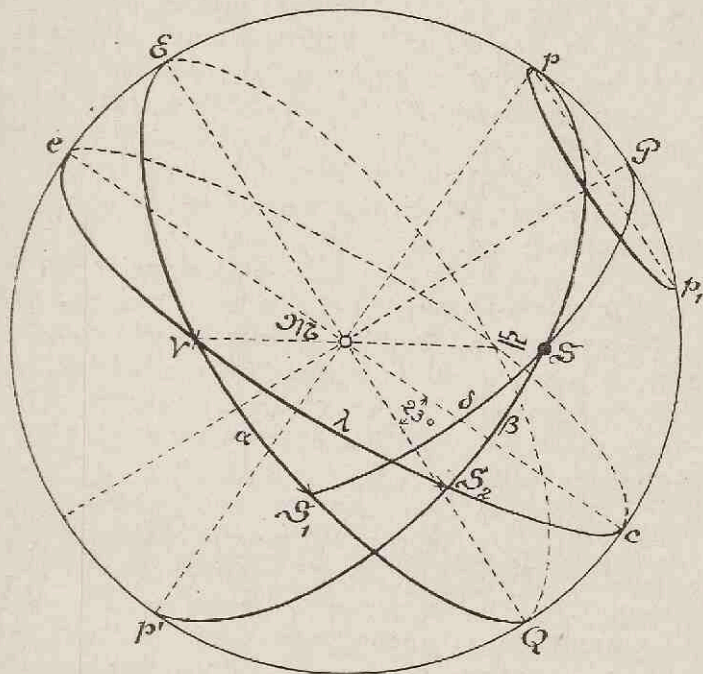


FIG. 13. LENGTE EN BREEDTE.

sfeer geteekend, thans zonder horizon en zenith. E Q is de aequator, P de hemelpool, e c de ecliptica, p haar pool. Voor het gemak der teekening zijn p en P beide in het vlak van teekening genomen; de eerste doet natuurlijk mede aan de schijnbare hemeldraaiing en zou dus overal op de parallel P p₁ kunnen worden aangenomen. Daar de afstand der polen van twee vlakken gelijk is aan den hoek tusschen die

vlakken, is $p P = 23^\circ$ en dus de declinatie van de ecliptica-pool $= 67^\circ$. Zij bevindt zich in het sterrenbeeld *Draco* bij de ster ω en is voor onze breedte circumpolair.

Wij brengen nu een vlak door $M p$ en het hemellicht S dat de sfeer snijdt volgens een, loodrecht op de ecliptica staanden grooten cirkel; het stuk van dezen „breedtecirkel” begrepen tusschen S en zijn projectie S_2 op de ecliptica heet de *breedte* van S . Zij wordt positief gemeten naar de zijde van de Noordelijke eclipticapool. Wij vinden verder in Fig. 13 het punt γ weder terug, waarvan de beteekenis thans duidelijk is: het is één der punten waar aequator en ecliptica elkander snijden. Het andere snijpunt, diametraal tegenover γ gelegen is het punt *Libra* ($\underline{\omega}$).

Uit den aard der zaak is ook voor de telling der lengte γ het nulpunt; zij wordt van daar langs de ecliptica gemeten in de richting der zonnebeweging tot het voetpunt S_2 van den breedtecirkel.¹⁾ Beide coördinaten worden in boogmaat gegeven. In Fig. 13 zijn de vier coördinaten van S in de gebruikelijke notatie aangegeven. Rechte klimming $= \alpha$; declinatie $= \delta$; Lengte $= \lambda$; Breedte $= \beta$. De zon heeft een steeds van 0° tot 360° aangroeiende lengte en een breedte van 0° .

DE SEIZOENEN. De onderlinge stand van aequator en ecliptica beheerscht het wisselen der seizoenen; de zon n. l. die in γ een dagboog van 180° heeft, krijgt op haar weg van γ naar c steeds grooter dagboog, blijft dus langer boven den horizon, bereikt een grootere middaghoogte, beschijnt de aardoppervlakte onder grootere hoeken en geeft dus een bepaalde hoeveelheid warmte aan een kleiner oppervlak (Fig. 14). De grootste middaghoogte wordt bereikt in c ; in $\underline{\omega}$ is de dagboog weder tot 180° verminderd, in e is ze zoo klein mogelijk enz. Het effect van deze beweging hangt in hooge mate van

¹⁾ Door de gestadige verschuiving van het punt γ (zie bldz. 22) veranderen ook lengte en breedte voortdurend met kleine bedragen en kunnen de metingen eerst na toepassing van deze *precessie* vergeleken worden met die van lateren of vroegeren datum.

den stand der sfeer d. i. van de breedte van den waarnemer af en wij zullen het daarom uitvoerig nagaan voor drie gevallen: *a* eene nagenoeg evenwijdige-, *b* een schuine-, *c*. eene nagenoeg loodrechte sfeer, die wij in Fig. 15 schematisch hebben aangegeven. De drie gevallen hebben dit gemeen, dat de grootste en kleinste dagboog¹⁾ steeds den aequator tusschen zich hebben; voor een waarnemer dicht bij de pool echter hebben ze *bovendien* den horizon, voor een waarnemer dicht bij den evenaar *bovendien* het toppunt tusschen zich.

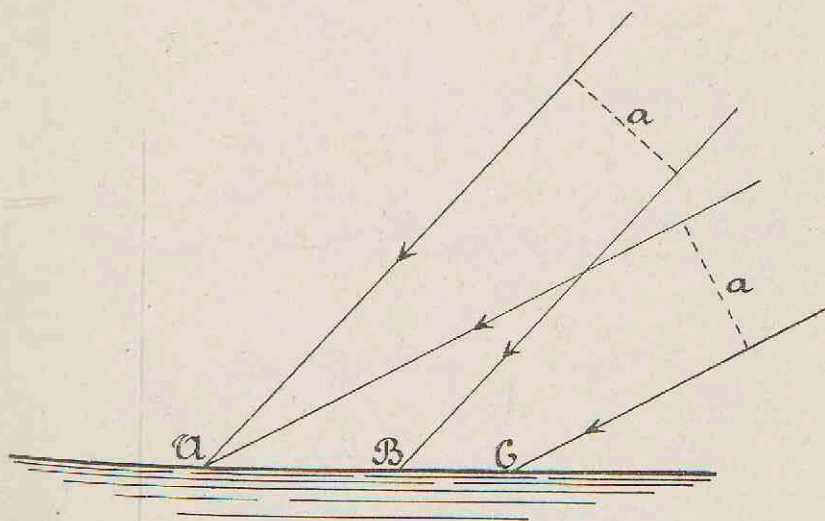


FIG. 14. ZOMER- EN WINTERBESCHIJNING DER AARDOPPERVLAKTE.

a. Zoolang de zon groote Zuiderdeclinatie behoudt, snijdt haar dagboog den horizon niet, de zon is dus *onzichtbaar*. Heeft ze evenwel het punt A der ecliptica bereikt, waar hare Zuiderdeclinatie $EZ = TP =$ de poolsafstand van den waarnemer geworden is, dan komt zij zich op den middag heel even vertoonen; de omstandigheden worden echter

¹⁾ daarmede bedoelende de bogen, afgelegd ten tijde van grootste positieve en negatieve declinatie.

steeds gunstiger en als de zon het punt B der ecliptica bereikt heeft, waar haar Noorderdeclinatie = de poolsafstand van den waarnemer is, wordt ze *circumpolair*. Van dit oogenblik af zijn alle dagbogen even groot, n. l. 24". In c heeft ze haar grootste Noorderdeclinatie en daarmede een maximum-middaghoogte bereikt, n. l. $23^\circ +$ pools-

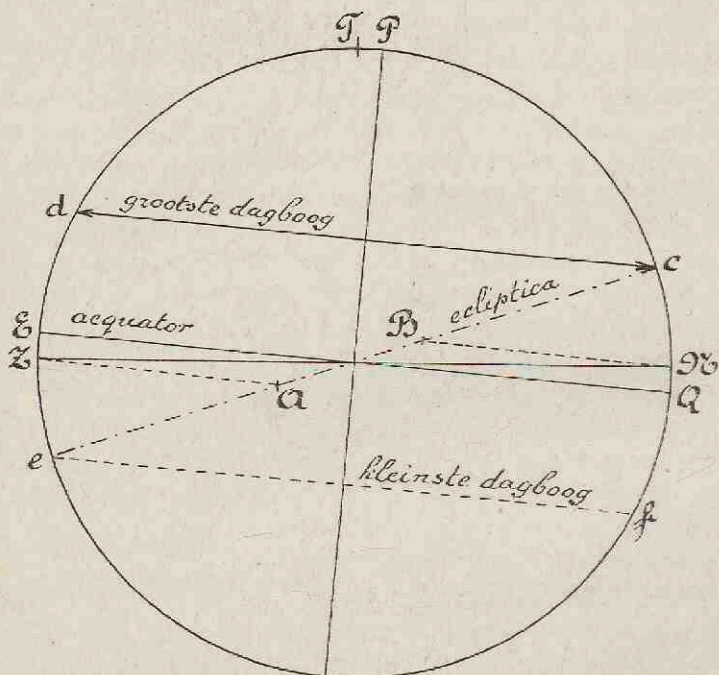


FIG. 15 a. INVLOED VAN DEN LOOP DER ZON VOOR EEN BEWONER DER POOLSTREKEN.

afstand van den waarnemer. De hoogte boven het Noordpunt, of, zooals ze genoemd wordt, de hoogte bij „*onderculminatie*,” bedraagt daarentegen $23^\circ -$ poolsafstand van den waarnemer.

Voor een plaats op 83° N. Br., wordt dus de zon voor 't eerst zichtbaar als haar declinatie = -7° is; ze wordt circumpolair als deze = $+7^\circ$ geworden is, bereikt boven

het Zuiden nooit een grootere hoogte dan 30° , boven het Noorden nooit een grootere hoogte dan 16° . Komt de waarnemer op nog hooger breedte, dan wordt de zon nóg korter na haar eerste verschijning circumpolair en het verschil in hoogte bij boven- en onderculminatie nóg kleiner. Aan de pool zelve is dit verschil verdwenen; alle dagbogen zijn

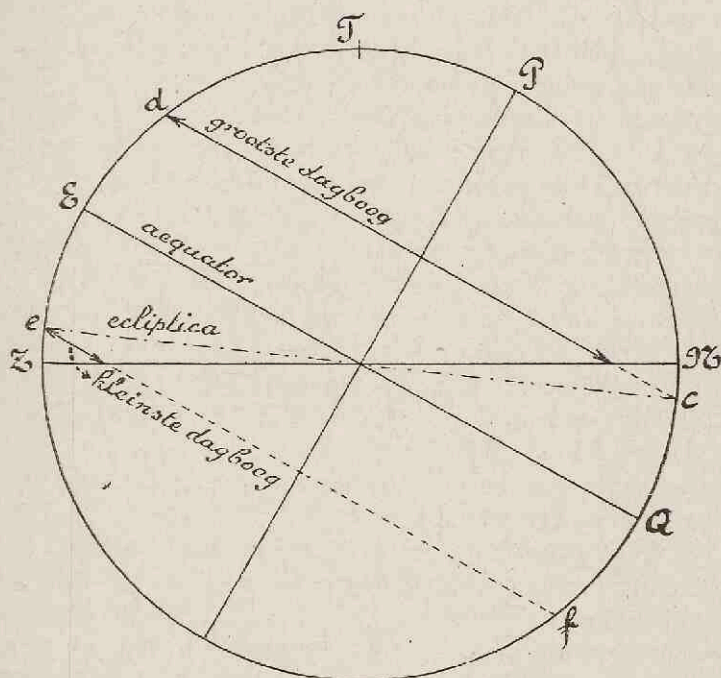


FIG. 15b. INVLOED VAN DEN LOOP DER ZON VOOR EEN BEWONER DER GEMATIGDE LUCHTSTREKEN.

er, zoodra de zon den aequalor bereikt heeft, evenwijdig aan den horizon, elke richting kan nu *Zuid* heeten; de grootste hoogte die bereikt kan worden is 23° .

Dat in deze Noordelijke streken, waar bijna gedurende een half jaar de zonnearmte ontbreekt en gedurende de andere helft van het jaar de zonnestrallen in zeer schuinen

stand het aardoppervlak bereiken, de temperatuur steeds zeer laag is, en plantengroei nauwelijks mogelijk, behoeft geen nader betoog. Zoolang de omstandigheden zóódanig zijn dat de zon geheel onzichtbaar kan worden, zoolang zal er van een eigenlijke wisseling van seizoenen zooals ons land die kent, geen sprake kunnen zijn.

b. Zoodra echter de waarnemer zich even ver van de pool verwijderd heeft als de maximum declinatie der zon bedraagt, zijn breedte dus kleiner dan 67° geworden is, kunnen voor de zon geen excessen zooals onzichtbaarheid en circumpolariteit meer voorkomen (verg. bladz. 20). Alle dagbogen snijden nu den horizon; de grootste dagboog komt werkelijk overeen met de grootste gelijknamige, de kleinste met de grootste ongelijknamige declinatie. Het verschil van deze beide hoogten is dus $2 \times 23^\circ = 46^\circ$, onafhankelijk van de plaats van den waarnemer. Zoowel voor Rome als voor Amsterdam komt de zon op den langsten dag 46° hooger in den meridiaan dan op den kortsten dag, maar de hoogten *zelve* verschillen voor beide plaatsen aanzienlijk. Zij zijn n. l. blijkens de Fig. $EZ + Ed = TP + Ed$ en $EZ - Ed = TP + Ed$ dus middaghoogte der zon = poolsafstand van den waarnemer + declinatie der zon.

Voor onze breedte ($\varphi = 52^\circ$; poolsafstand = 38°) is dus op den langsten dag middaghoogte der zon = $38^\circ + 23^\circ = 61^\circ$
op den kortsten dag „ „ „ = $38^\circ - 23^\circ = 15^\circ$

De zon bevindt zich in het 1^{ste} geval in het zomer-, in het 2^{de} geval in het wintersolstitium. De waarnemer verkeert in deze gevallen, wat den invloed der zon betreft, in geheel verschillende omstandigheden. Vooreerst ontvangt hij ten tijde van het zomersolstitium op den middag ongeveer 4 maal meer warmte per M^2 , in de tweede plaats duurt het ontvangen van die warmte veel langer. Voor een waarnemer op 52° breedte legt de zon de grootste dagboog af in $16\frac{1}{2}$ uur, de kleinste in $7\frac{1}{2}$ uur; de overgang van den eenen toestand tot den anderen geschiedt geleidelijk, de vier jaargetijden zijn sterk uitgesproken. Dit vermindert

echter naarmate de waarnemer op lagere breedte komt omdat daarbij de omstandigheden streven naar eene vereffening van het verschil tusschen de dagbogen bij zomer- en wintersolstitium; wij naderen den evenaar.

c. Wij zagen dat voor Amsterdam ($\varphi = 52^\circ$) de zon nooit hooger dan 61° kan komen; voor Rome ($\varphi = 42^\circ$) is de grootste hoogte reeds 71° ; voor Caïro ($\varphi = 30^\circ$) 83°

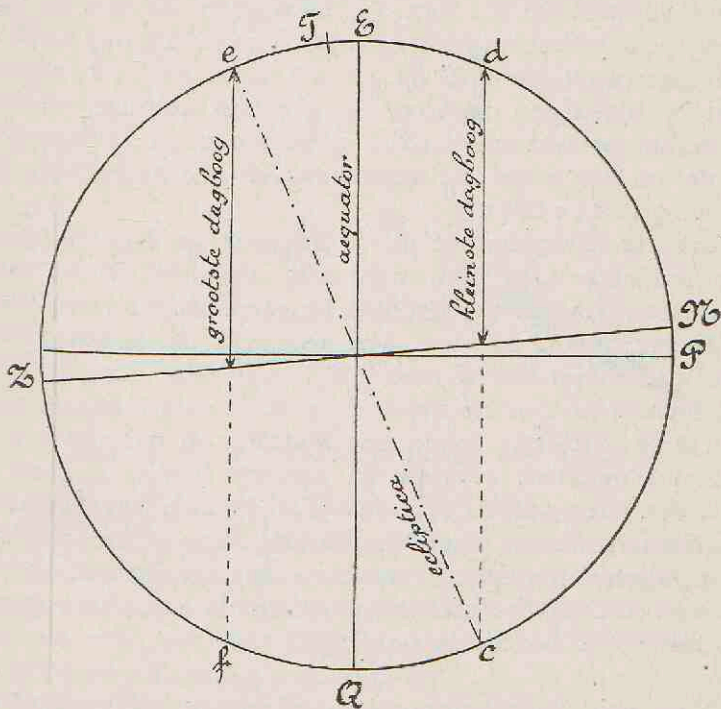


FIG. 15c. INVLOED VAN DEN LOOP DER ZON VOOR EEN BEWONER DER TROPEN.

en voor Calcutta ($\varphi = 23^\circ$) 90° . De zon culmineert dan z. g. „in top.” Dit is de beteekenis van den Noordelijken keerkring op aarde: een lijn getrokken door alle plaatsen waar de middaghoogte der zon tijdens het zomersolstitium 90°

bedraagt. Deze lijn is natuurlijk een parellelcirkel der aarde, welks breedte gelijk is aan de helling der ecliptica.

Begeeft de waarnemer zich naar plaatsen van nóg lagere breedte, dan is de grootste middaghoogte die de zon bereiken kan *altijd* $= 90^\circ$, maar *deze valt nu niet meer samen met het bereiken van het zomersolstitium*. Een hemellicht culmineert immers „in top” wanneer de declinatie even groot is als de breedte; voor een breedte lager dan 23° heeft men dus een declinatie *kleiner* dan 23° noodig om de zon in top te zien culmineeren; het geschiedt dus buiten de solstitiën, aan den aequator zelf ($\varphi = 0^\circ$) zelfs zoo ver mogelijk van de tijdstippen waarop de grootste Noorder- en Zuider declinatie bereikt wordt ($\delta = 0^\circ$ 21 Maart en 22 September) in de punten \sphericalangle en \sphericalcap ; deze heeten de nachteveningspunten of aequinoctiën.

Uit het bovenstaande en de bijgevoegde Figuren zal het nu duidelijk zijn, dat, naarmate de sfeer steiler wordt, de verschillen der jaargetijden langzamerhand verminderen. Wel verschillen ook aan den aequator de middaghoogten der zon boven het Zuiden 46° , maar deze hoogten vallen *ter weerszijden van het zenith*, m. a. w. de culminatie geschiedt een half jaar lang boven het Noorden en daarmee is het verschil tusschen grootste en kleinste hoogte in den loop van een jaar gereduceerd tot de helft van het bedrag dat het bij een schuine sfeer bereikt. De verschillende dagbogen verschillen dus nagenoeg niet, en de zonnestrallen bereiken op den middag het geheele jaar door de aarde in nagenoeg of volkomen loodrechte richting.

Voor een waarnemer op het Zuidelijk halfrond zijn de omstandigheden tegengesteld aan die voor het Noordelijk halfrond. Een waarnemer op 52° Zuiderbreedte ziet evenals wij, in 't gunstigste geval de zon 61° hoog komen, maar dan is de declinatie der zon $- 23^\circ$, d. i. op 21 December. Ons wintersolstitium is zijn zomersolstitium; voor de plaatsen gelegen op den Zuidelijken keerkring culmineert dan de zon „in top.”

Een enkele opmerking moge hier ten slotte plaats vinden over de beteekenis van het woord *ecliptica*. Wanneer men zich (Fig. 16) het vlak van de aardbaan voorstelt met de zon Z, de aarde A en den lichtkegel L, die van de zon uitgaande, de aarde omvat om zich aan de andere zijde daarvan als haar schaduwkegel S voort te zetten, dan zal men inzien dat deze situatie voor een derde lichaam op tweeërlei wijze aanleiding tot een verduistering kan

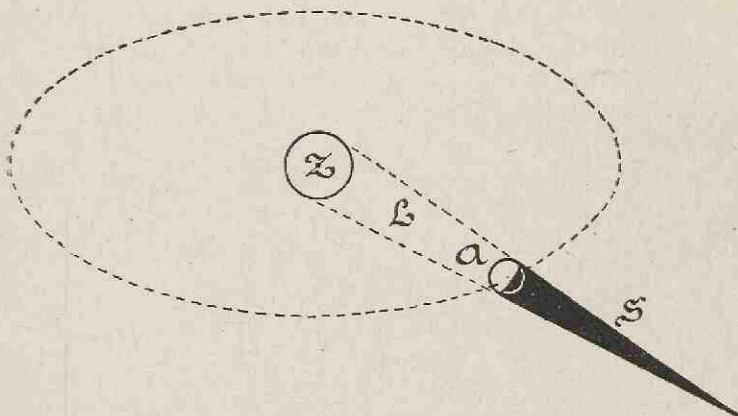


FIG. 16. LICHT- EN SCHADUWKEGEL DER AARDE.

geven. In den lichtkegel getreden kan het de zon of een deel ervan verduisteren, in den schaduwkegel getreden, wordt het zelf verduisterd. Daartoe is echter noodig dat het zich dicht bij het vlak der aardbaan of daarin bevinde, en daarom heet dit vlak dat der *ecliptica*, een woord ontleend aan het Grieksche *ἑκλειψις* (bezwijming).

De *ecliptica* is aan de sfeer gemarkeerd door de z.g. „sterrenbeelden van den dierenriem” waarover in het volgende hoofdstuk gehandeld zal worden.

III DE STERRENBEELDEN.



FSCHOON de wetenschappelijke beoefenaars der sterrenkunde een ster het gemakkelijkst kunnen aanduiden met het nummer uit een bepaalden catalogus, zoo is daardoor toch de klassieke methode om de *heldere* sterren te benoemen met een letter uit een of andere tot een *beeld* samengevoegde sterrengroeping, niet verdrongen. De sterrenbeelden zijn het eenige hou-vast voor den gewonen hemelbeschouwer en een groot gemak voor den wetenschappelijken beoefenaar, zoodat de oriëntering aan den hemel met behulp daarvan niet alleen stand gehouden heeft, maar o. a. bij de benoeming der z. g. „veranderlijke sterren” (Zeventiende hoofdstuk) weder als voorloopig de meest praktische methode is ingevoerd.

De juiste oorsprong van de namen der sterrenbeelden is onbekend; ze zijn door de oude Egyptenaren en Grieken zeer waarschijnlijk geleidelijk ingevoerd terwille eener plaatsaanduiding op zee, zoo o. a. gedurende den tocht der Argonauten. Het eerste werk waarin ze beschreven worden, verscheen echter ongeveer 850 jaar na dien tocht.

Daarna volgt eene beschrijving van Hipparchus (130 v. Chr.), welke wij echter terugvinden in den beroemd geworden *Almagest*¹⁾ van Ptolemaeus (150 n. Chr.). Deze heeft een beschrijving gegeven van 21 Noordelijke en 15

¹⁾ Zie ook bldz. 345

Zuidelijke beelden met 677 sterren, en van 12 Dierenriembeelden met 349 sterren. Zijn werk heeft eeuwenlang ongewijzigd stand gehouden. Eerst Bayer bracht in zijn grooten atlas van 1603 twee belangrijke wijzigingen in de tot dusverre gevolgde beschrijvingsmethode aan. De eerste bestond hierin, dat de sterren op de kaarten door letters werden aangeduid, terwijl dit vroeger geschiedde door een omschrijving, die noodzakelijk eenigszins vaag moest blijven. Zoo sprak men bijv. van „de ster op den rechterschouder van *Andromeda*,” „de eerste ster in den staart van den *Steenbok*” enz., een methode die na de ontdekking der kijkers (1609) en het daardoor plotseling sterk vermeerderd worden van het aantal zichtbare sterren, tot groote verwarring aanleiding had kunnen geven. Hiervoor heeft Bayer de sterrenkunde nog juist bijtijds behoed; de bovengenoemde sterren werden nu σ *Andromedae* en μ *Capricorni* en zodoende ondubbelzinnig bepaald. Maar bovendien teekende Bayer de beelden zooals men ze werkelijk van binnen uit de sfeer ziet; vóór zijn tijd teekende men ze zooals ze op een hemelglobe gezien worden, waarbij de waarnemer geacht wordt zich in het middelpunt te bevinden, een methode die telkens een eenigszins onaangename verrassing bereidt aan wie zich, ter oriëntering aan den hemel, zulk een globe aanschafft.

Bayer benoemde ook eenige beelden van den Zuidelijken hemel, waarin hij o. a. door Fred. Houtman (1600), Royer (1679) en Lacaille (1751), de beide laatsten Franschen, gevolgd werd. Op het Noordelijk halfmond heeft o.a. Hevelius te Danzig (1611—1687) verscheidene groepeeringsen, meest van zwakkere sterren, namen gegeven: o.a. de *Vos*, de *Hagedis*, de *Lynx*, de *kleine Leeuw* enz. Vele in den loop der tijden voorgestelde namen zijn later weder in onbruik geraakt, enkele zelfs niet aanvaard. In het laatste geval verkeert de voorslag (zie bldz. 56) tot het benoemen van eene bepaalde groepeerings van sterren in het beeld *Orion* naar keizer Napoleon I. Een poging om den geheelen mythologischen hemel te vervangen door een christelijken, waarbij aan

de 12 sterrenbeelden van den *Dierenriem* de namen der apostelen gegeven zouden worden, heeft eveneens schipbreuk geleden.

Wij laten nu, alvorens tot eene korte beschrijving der sterrenbeelden over te gaan, een tabel volgen, welke behalve de (alfabetisch gerangschikte) Nederlandsche en klassieke namen der beelden, hun azimuth geeft in de verschillende maanden van het jaar op een geschikt uur in den vooravond. De 3de kolom geeft het nummer van het sterrenkaartje waarop het op denzelfden regel genoemde beeld te vinden is. De lijst (bldz. 42 en 43) geldt voor Nederland.

De hier gegeven tabel illustreert tevens ruwweg hetgeen in het vorige hoofdstuk aangaande de sfeer is opgemerkt. Wij zagen bijv. dat circumpolaire sterren altijd zichtbaar zijn; ze moeten zich dus in de tabel hierdoor verraden, dat zij op bepaalde tijdstippen ook *in het Noorden* zichtbaar zijn, hetgeen zooals wij zagen met niet-circumpolaire sterren nimmer het geval is. Daar een sterrenbeeld een betrekkelijk groote oppervlakte beslaat, is wat voor een enkele ster geldt niet volkomen tot de geheele groepeerings uit te breiden, maar wanneer men uit de tabel die beelden licht, die in één der kolommen de letter N hebben, dan zijn deze toch wel de sterrenbeelden, die of geheel of gedeeltelijk circumpolair zijn. Strikt genomen zouden voor diezelfde beelden tevens *alle* kolommen ingevuld moeten zijn, maar daar de tabel slechts *goede zichtbaarheid* bedoelt te geven, wijken hier theorie en practijk eenigszins van elkaar af. Voor de *Jachthonden* bijv. zal men de kolommen Nov. en Dec. niet ingevuld vinden, terwijl toch de letter N voorkomt. De helderste ster van dit beeld heeft $\delta = + 38^{\circ}47'$ en is dus theoretisch voor een breedte hooger dan $51^{\circ}13'$ circumpolair, maar ze bereikt boven het Noordpunt van onzen horizon een hoogte van nauwelijks 1° , hetgeen voor de practijk met onzichtbaar gelijk te stellen is, en daar ze dit punt in de maanden Nov. en Dec. ongeveer op het in de tabel aangegeven uur bereikt, zijn deze kolommen opengelaten. Hetzelfde geldt voor de *Hagedis* en den *Zwaan* in de vooravonden van April.

Verder is uit de tabel globaal af te lezen hoe het met de declinaties der sterrenbeelden gesteld is. Wanneer in de kolommen *alleen* de letter Z voorkomt moet het daarbij behorende sterrenbeeld een lage declinatie hebben en dus tevens zelden waarneembaar zijn; het optreden van ZO en ZW wijst op grootere declinatie en zoodra men de rij (zij het ook in andere volgorde der kolommen) met O ziet beginnen en met W eindigen, heeft men vrij zeker te doen met een *aequatoriaal* sterrenbeeld. Zoo bijv. de *Arend* (gemidd. $\delta = 0^\circ$), de *kleine Hond* ($\delta = + 5^\circ$), *Orion* ($\delta = 0^\circ$) en de *Walvisch* ($\delta = - 5^\circ$).

Bijna alle zeer heldere sterren dragen klassieke eigen namen, waarvan echter *het meerendeel* (ook die der heldere sterren van den *Grooten Beer*) volkomen in onbruik zijn geraakt. Hieronder volgen de eenige eigen namen van heldere sterren die nog algemeen gebezigd worden.

Letter en Beeld	Naam	Letter en Beeld	Naam
α Aquilae	Altair	β Leonis	Denebola
α Argus	Canopus	α Lyrae	Wega
α Aurigae	Capella	α Orionis	Betelgeuze
α Boötis	Arcturus ¹⁾	β Orionis	Rigel
α Canis maioris	Sirius ²⁾	γ Orionis	Bellatrix
α Canis minoris	Procyon	β Perseï	Algol ⁴⁾
α Cygni	Deneb	α Piscis austrini	Fomalhaut
α Eridani	Achernar	α Scorpii	Antares
α Geminorum	Castor	α Tauri	Aldebaran
β Geminorum	Pollux ³⁾	α Ursae minoris	Polaris ⁵⁾
α Leonis	Regulus	α Virginis	Spica

¹⁾ de helderste ster van den Noordelijken hemel.

²⁾ de helderste ster van den geheelen hemel ($\delta = - 16^\circ 35'$).

³⁾ helderder dan Castor.

⁴⁾ een der meest belangwekkende veranderlijke sterren.

⁵⁾ de Poolster.

Sterrenbeeld	Maand	Krt n ^o .	Jan.	Febr.	Mrt.	April	Mei	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.
			8 uur			9 uur		11 uur		10 uur	9 uur		8 uur	
Andromeda		2,4	W	W	NW	N	N	NO	O	O	O	O	T	T
Arend	Aquila	7					O	O	Z	Z	Z	Z	W	W
Beker	Crater	8			ZO	Z	Z							
Cassiopeia		2	T	NW	NW	N	N	N	NO	NO	O	O	T	T
Cepheus		3	NW	N	N	N	N	NO	NO	T	T	T	T	NW
Dolfijn	Delphinus	7						O	ZO	Z	Z	Z	ZW	W
Draak	Draco	1,3	N	N	N	T	T; O	T; NW	T; NW	NW	NW	NW	N	N
Driehoek	Triangulum	2	Z	W	W	NW								
Eenhoorn	Monoceros	6	O	Z	Z	W								
Giraffe	Camelopardalis	2	T	T	T	NW	N	N	N	N	N	N	NO	NO
Groote Beer	Ursa maior	1	N	NO	O	T	T	NW	NW	NW	N	N	N	N
Groote Hond	Canis maior	6,9	ZO	Z	Z	ZW								
Groote Paard	Pegasus	4	W	W				O	O	O	ZO	Z	Z	ZW
Hagedis	Lacerta	3	W	W	NW		N	NO	O	O	O	T	T	W
Hercules		5				O	O	T	T	W	W	W	W	NW
Hoofdhaar														
van Berenice	Coma Berenices	1		O	O	Z	Z	Z	W	W				
Jachthonden	Canes venatici	1	N	NO	O	O	T	W	W	W	NW	N		
Kleine Beer	Ursa minor	1	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Kleine Hond	Canis minor	6	O	Z	Z	ZW	W							
Kleine Leeuw	Leo minor	1	O	O	O	Z	Z	W	NW					
Kleine Paard	Equuleus	7 ¹⁾)						O	ZO	Z	Z	Z	Z	W
Kreeft	Cancer	6	O	O	Z	Z	W							
Leeuw	Leo	1,6	O	O	ZO	Z	ZW	W						
Lier	Lyra	3	NW			NO	O	O	T	T	W	W	W	W
Lynx		1,2	O	O	T	W	W	N	N	N	N	N	NO	O
Maagd	Virgo	8				ZO	Z	ZW	W					
Noorderkroon	Corona borealis	5				O	ZO	Z	ZW	W	W	W		

Orion		9	Z	Z	Z	W								O	O
Ossenhoeder	Boötes	1,5			O	O	T	W	W	W	W				
Perseus		2	T	W	W	NW	N	N	N	NO	NO	O	O	T	
Pijl	Sagitta	7					O	O	Z	Z	Z	Z	W	W	
Raaf	Corvus	8				Z	Z								
Ram	Arië's	2,4	Z	W	W				O	O	O	O	ZO	Z	
Schild	Scutum														
	v. Sobieski	7 ³⁾						Z	Z	Z	Z	Z			
Schip Argo	Argo navis	6			Z	Z									
Schorpioen	Scorpius	5					Z	Z	Z						
Schutter	Sagittarius	7						Z	Z	Z	Z				
Sextant	Sextans	8		O	ZO	Z	ZW								
Slang	Serpens	5				O	Z	Z	ZW	W	W	W			
Slangedrager	Ophiuchus	5				O	O	Z	Z	ZW	W	W	W		
Steenbok	Capricornus	7						ZO	Z	Z	Z	Z	ZW		
Stier	Taurus	2,9	Z	Z	W	W						O	O	ZO	
Tweelingen	Gemini	6	O	ZO	Z	W	W						NO	O	
Visschen	Pisces	4	ZW	W					O	O	O	ZO	Z	Z	
Vloed Eridanus	Eridanus	9	Z	Z	ZW								O	Z	
Vos	Vulpecula	3	W				O	O	Z	Z	Z	Z	W	W	
Wagenman	Auriga	2	O	T	W	W	NW	N	N	N	N	NO	O	O	
Walvisch	Cetus	4,9	Z	ZW	W							O	ZO	Z	
Waterman	Aquarius	4,7	W					O	O	Z	Z	Z	Z	ZW	
Waterslang	Hydra	6,8		O	ZO	Z	Z								
Weegschaal	Libra	5				O	Z	Z	ZW						
Zevengesternte ²⁾	Pleiades	2,9	Z	Z	W	W						O	O	ZO	
Zuider Visch	Piscis austrinus	—										Z	Z		
Zwaan	Cygnus	3	W	NW	N		O	O	T	T	T	T	W	W	

Verklaring der afkortingen: N = Noord; O = Oost; Z = Zuid; W = West; T = Toppunt.

Vóór de aangegeven uren hebben de sterrenbeelden een vroeger, na de aangegeven uren hebben ze een latere plaats in de rij N — NO — O — ZO — Z — ZW — W — NW — N., met dien verstande dat ze ook vóór het aangegeven uur nog niet op, en na het aangegeven uur reeds onder kunnen zijn.

¹⁾ Tusschen ϵ Pegasi en den Arend. ²⁾ Is eigenlijk een onderdeel van het beeld Stier. ³⁾ Onder de lijn λ Aquilae — η Serpentis.

Op de bijgevoegde kaartjes zijn de sterrenbeelden en de helderste sterren gemakkelijk te vinden; zich de kennis der beelden en heldere sterren eigen te maken, de z. g. „astrognosie” te beoefenen, is het A. B. C. van den waarnemer en openbaart hem, mits consequent doorgevoerd, de grondslagen van vele, ook van enkele der modernste sterrenkundige problemen. Een sterrenatlas is daarbij onmisbaar. Als zoodanig willen wij vermelden:

1. C. Rohrbach. Sternkarten in gnomonischer Projection. E. F. Thienemann Gotha. Prijs M 1.40.

2. R. Schürig, Tabulae coelestes. K. Fr. Pfau, Leipzig 1886. Prijs M 3.—.

3. R. Proctor. A star atlas. Longmans, Green en C^o. 1874.

4. Th. Heath. The twentieth Century Atlas of Popular Astronomy. W. and A. K. Johnston, London. Prijs 7 sh. 6 d.

5. R. S. Ball. A popular Guide to the Heavens. Uitg. George Philip and Son Ltd. Londen. Prijs 15 sh.,

welke beide laatste bovendien voorzien zijn van tekst, platen en tabellen over elk populair sterrenkundig onderwerp.

Een zeer duidelijke en overzichtelijke sterrenkaart vindt men ook in Fr. Rusch, Himmelsbeobachtung mit bloßem Auge (N^o. 5 van Dr. Bastian Schmidts naturwissenschaftliche Schülerbibliothek. Uitg. B. C. Teubner, Leipzig).

In het bijzonder voor de oriëntering aan den Zuidelijken hemel:

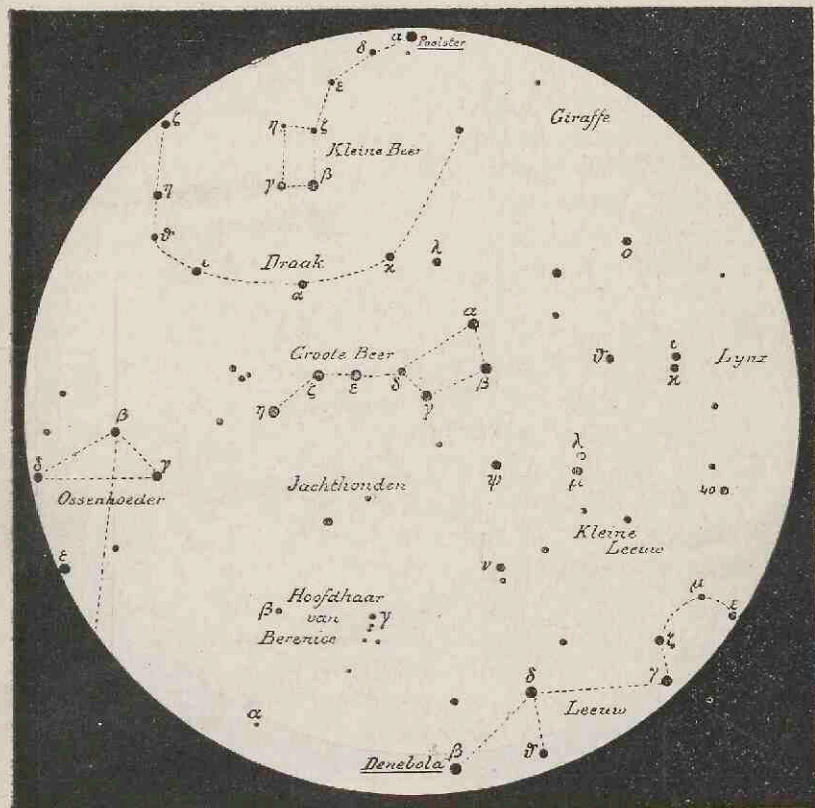
Behrmann. Atlas des südlichen gestirnten Himmels. Uitg. F. A. Brockhaus, Leipzig.

Russell. A chart of the southern heavens from the South Pole to the Equator (één groote kaart van 75 cm. middellijn.)

Enkele bijzonderheden omtrent de bovengenoemde sterrenbeelden mogen hier thans volgen:

ANDROMEDA. De lijn $\alpha \beta \gamma$ loopt op α *Perseï* aan. α *Andromedae* vormt met de drie helderste sterren van *Pegasus* een vierhoek, welke met de sterren $\zeta \vartheta$ en ϵ *Pegasi* als staart, een figuur geeft,

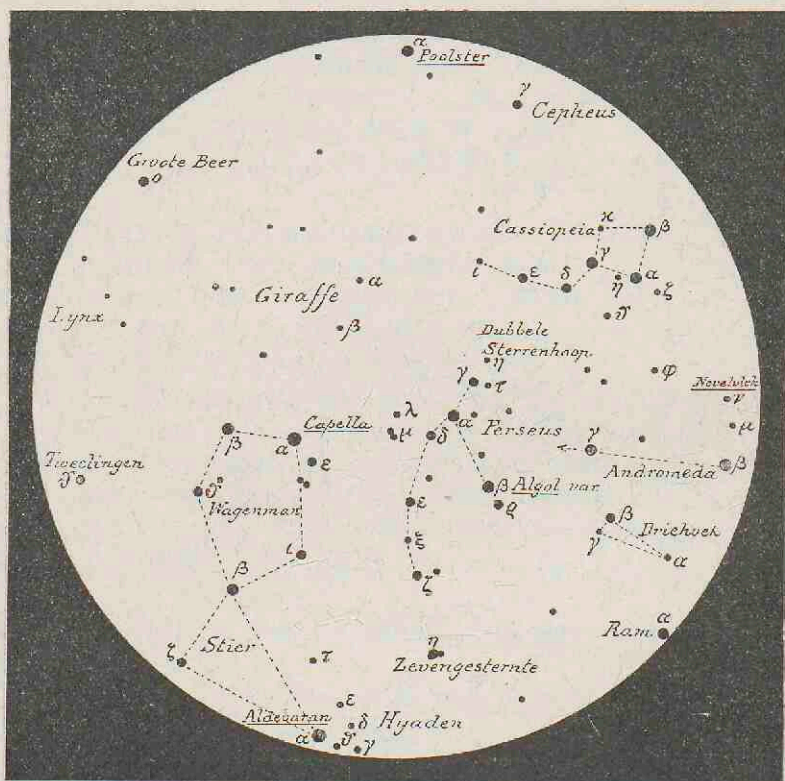
die eenigszins aan den *Grooten Beer* doet denken. Het bloote oog onderscheidt duidelijk (bij afwezigheid van maanlicht) nabij *v Andromedae* de beroemde nevelvlek, die reeds in de rode eeuw onzer jaartelling door den Perzischen



KAART 1.

astronoom Al Sufi beschreven en in Europa korten tijd na de uitvinding der kijkers door Simon Marius opnieuw ontdekt is geworden (1609). Ze is minstens 300 maal zoo groot als ons zonnestelsel.

AREND. Hiertoe behoort het in 1660 door Hevelius naar den Poolschen vrijheidsheld genoemde beeld: *Schild van Sobieski*, thans algemeen (zie de tabel) als afzonderlijk sterrenbeeld beschouwd.



KAART 2.

CASSIOPEIA. Is gemakkelijk als een W-vormige figuur te vinden; deze wordt gevormd door de vijf helderste sterren. Voegt men er een zesde bij n. 1. κ dan krijgt men de klassieke figuur van een stoel, waarvan $\gamma \delta \epsilon$ de gebogen rugleuning is. In Ptolemaeus' *Almagest* heet het beeld: *de zittende vrouw*, en in de latere atlanten

is deze voorstelling met geringe wijzigingen behouden. De geschiedenis van Cassiopeia, Andromeda, Pegasus, en Perseus vindt men o. a. in de *Melamorphosen* van Ovidius uitvoerig beschreven: Cepheus was koning van Ethiopie; toen zijn gemalin Cassiopeia zich snoevend had uitgelaten dat zij schooner was dan alle nimfen, met name de Nereïden, smeekten dezen aan Neptunus om straf. Deze willigde dit verzoek in door een zeemonster op de kust van het land los te laten en daar groote verwoestingen te doen stichten, waarop Cepheus om den toorn van den zeegod te temperen, zijn dochter Andromeda vastgeketend aan een rots aan het zeemonster ten offer bood. Juist wilde dit zijn prooi grijpen, toen Perseus haar op het gevleugelde paard Pegasus kwam ontzetten door het monster het dood aanbrenghend Medusahoofd voor te houden.

DE DRAAK is een der weinige sterrenbeelden, waarbij men in den vorm de door den naam gewekte voorstelling eenigszins terugvindt. In dit beeld treft men, ongeveer bij de ster ω de pool van de *ecliptica* aan.

DE GROOTE BEER, eigenlijk *Beris*, heette eertijds ook *de Wagen* en *de Schroef*, om hare wentelende beweging rond de pool. Bij de Romeinen heette dit beeld: de zeven ossen (*Septem Triones*); de kleine Beer is de ploeg, Boötes de ossenhoeder.

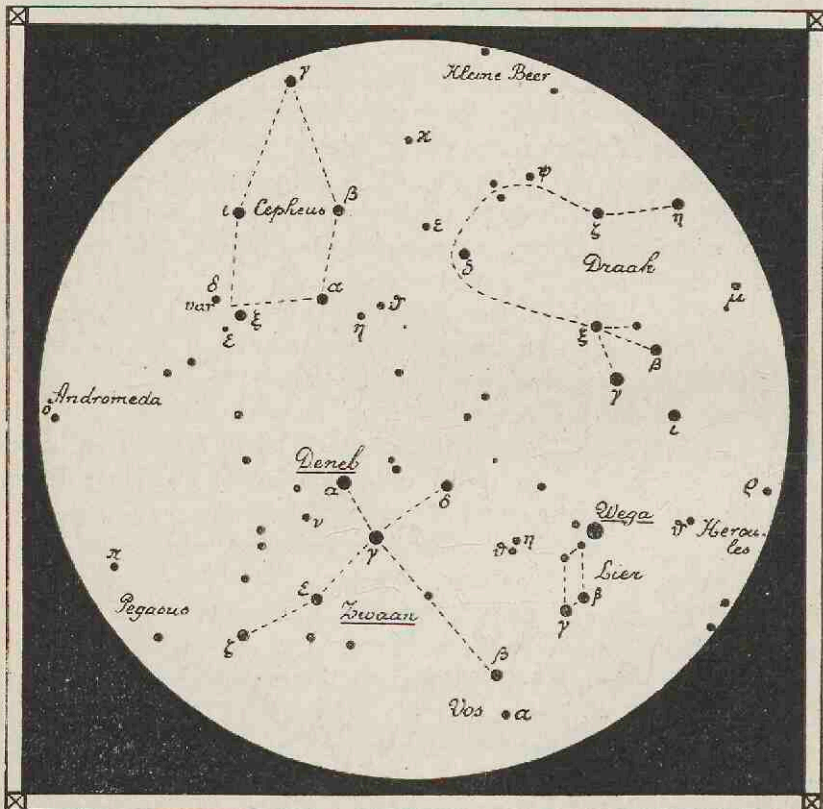
Het sterrenbeeld doet uitstekende diensten, doordat de verbindingsbogen der heldere sterren a. h. w. den weg wijzen naar andere bekende heldere sterren. Dergelijke verbindingen, die men „alignementen” noemt, zullen wij ook bij andere beelden ontmoeten, echter niet in zoo grooten getale.

De voornaamste zijn de volgende:

1.	De verbinding	$\beta \alpha$	wijst ongeveer naar de	Poolster	
2.	„	$\delta \alpha$	„	„	Capella
3.	„	$\gamma \beta$	„	„	Aldebaran
4.	„	$\alpha \gamma$	„	„	Spica
5.	„	$\delta \beta$	„	„	Castor en Pollux
6.	„	$\delta \gamma$	„	„	Regulus
7.	„	$\gamma \delta$	„	„	Deneb
9.	„	$\beta \delta$	„	„	Wega
8.	„	$\epsilon \zeta \eta$	„	„	Arcturus

De alignementen 3, 4 en 5 zijn intusschen door den grooten afstand der sterren minder opvallend dan de andere.

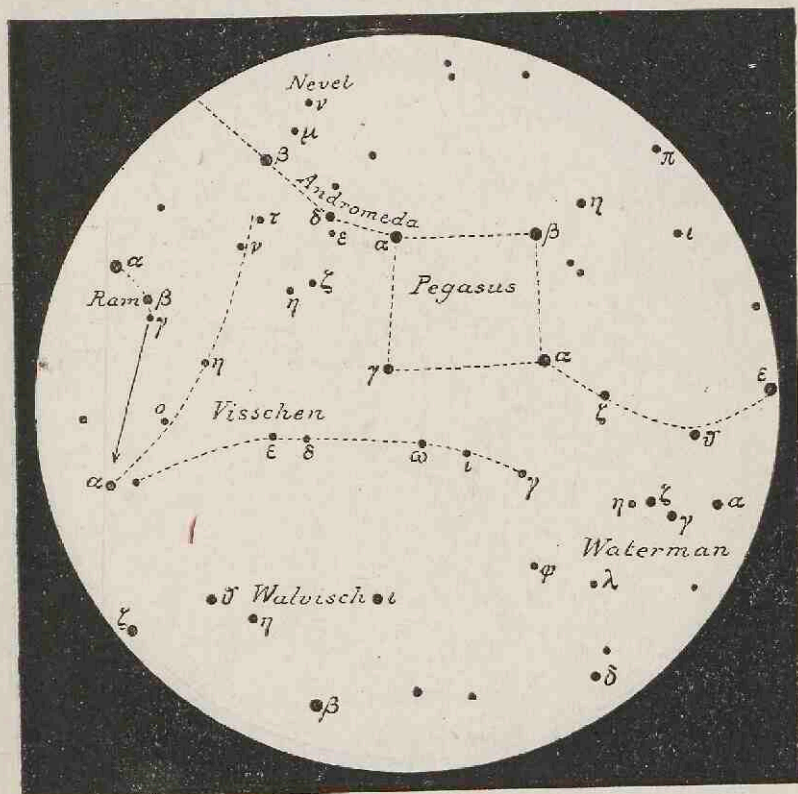
DE GROOTE HOND is de hond van den reus Orion; de voornaamste ster is *Sirius* (Grieksch *σελγιος* = heet). Wij zullen in het volgende



KAART 3.

hoofdstuk uitvoerig bespreken hoe het komt, dat men in den loop van een jaar telkens andere sterrenbeelden aan den avondhemel ziet verschijnen; hier zij volstaan met de vermelding van het feit, dat alle sterren elken dag nagenoeg 4 min. vroeger opkomen dan den vorigen dag, dus per maand

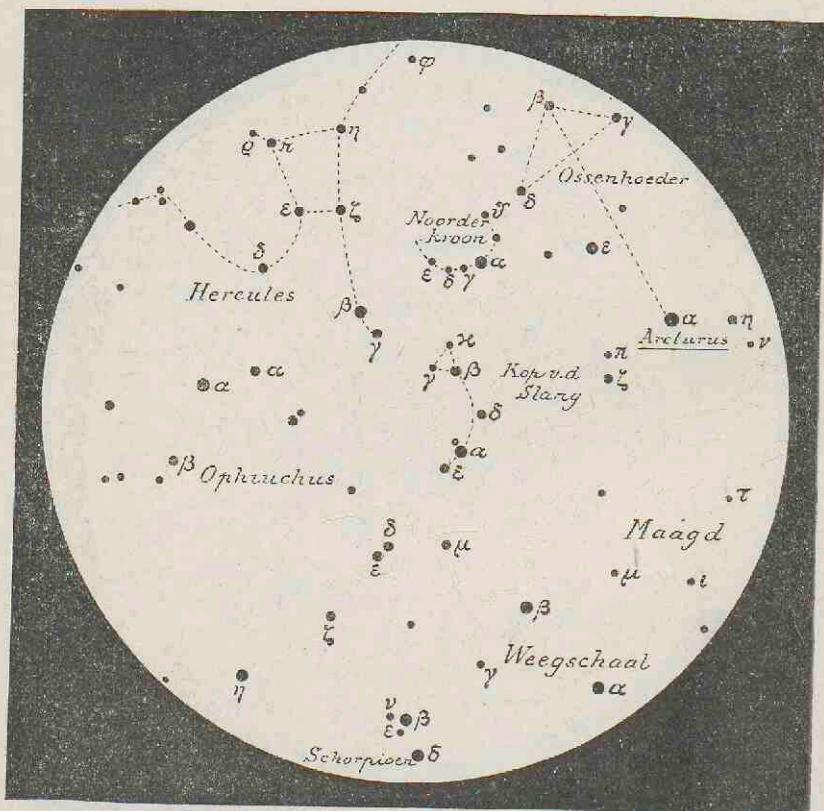
2 uur. Komt dus op een zekeren datum een ster om 9 u 's morgens (onzichtbaar) op, dan komt ze een maand later om 7 u. 's morgens op. Of wij dit kunnen zien of niet hangt van het seizoen af; veronderstellen wij echter dat het om 7 u. reeds volkomen dag is, dan zien wij het opkomen der ster nog niet, maar een maand later komt zij reeds te 5 u.



KAART 4.

op! Zij gaat onverbiddeijk *de morgenschemering tegemoet*, en op zekeren dag zullen wij ze bij het dag worden even boven den Oostelijken horizon kunnen waarnemen. In deze periode, die slechts kort duurt (immers weder een maand later

is de ster waarschijnlijk reeds lang vóór het dag worden zichtbaar spreekt men van hare „*Schemerings*” (heliakische) *opkomst*” d. w. z. ze komt uit de stralen van helios (de zon) te voorschijn. Deze periode heeft voor enkele heldere sterren en sterrengroeperingen een belangrijke rol gespeeld in het



KAART 5.

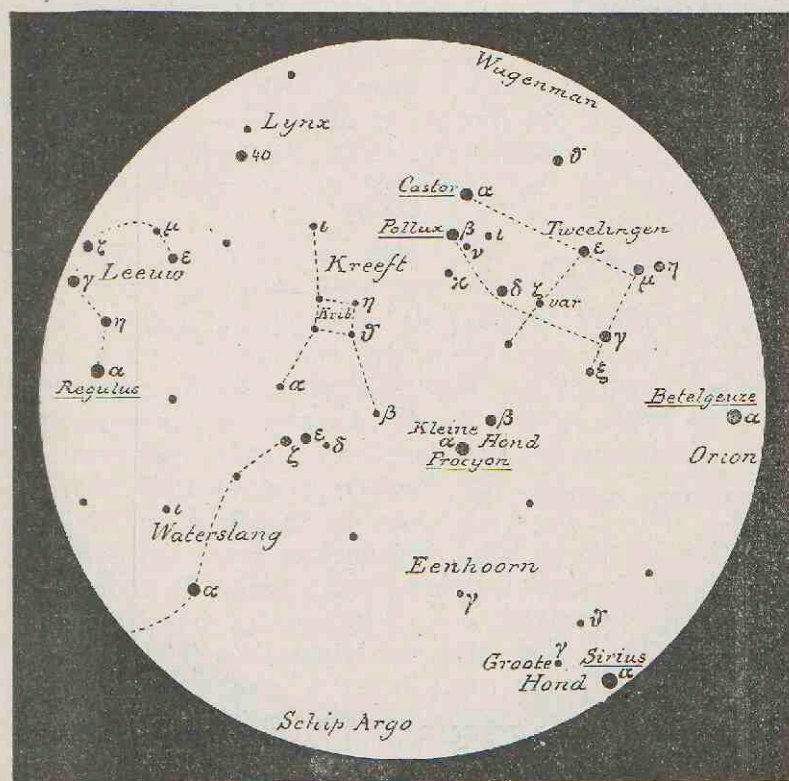
maatschappelijk leven der Ouden. Zoo duidde naar Homerus de „heliakische opkomst” van de „hondster” *Sirius*, welke in Juni valt het aanbreken der „hondsdagen,” de dagen der grootste zomerhitte aan, een benaming die men ook thans

nog in den volksmond en in enkele volksalmanakken ontmoet.

GROOTE PAARD. Zie bij *Andromeda* en *Cassiopeia*.

HET HOOFDHAAR VAN BERENICE komt onder dezen volledigen naam het eerst voor bij Tycho Brahe (1546-1601). In den atlas

van Bayer is het vervangen door een der oudere voorstellingen



KAART 6.

n.l.: samengebonden korenaren aan de voeten van Boötes; de meeste beschrijvingen spreken echter van de Haren of het Hoofdhaar als deel van het sterrenbeeld de Leeuw en

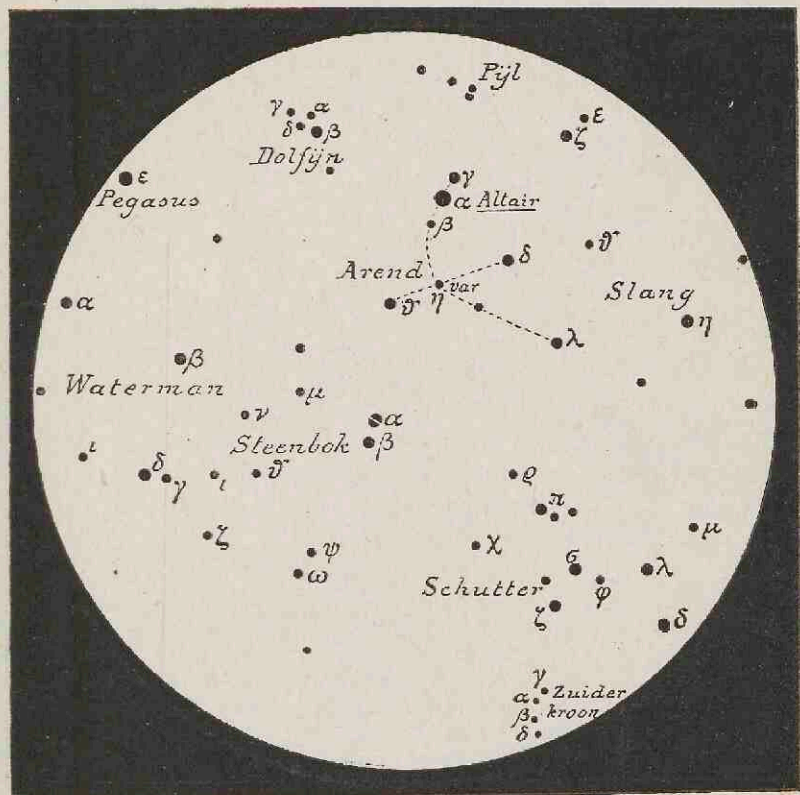
later is de benaming van Tycho Brahe algemeen overgenomen. Berenice, echtgenoot van een der Ptolemaeën (245 v. Chr.) deed, toen deze kort na de bruiloft tegen de Syriërs ten strijde moest trekken, aan Venus de gelofte, dat zij deze, mocht haar echtgenoot als overwinnaar uit den strijd wederkeeren, haar prachtige hoofdhaar offeren zou. Toen dit echter geschied was en zij het afgesneden haar naar den tempel had gebracht, werd het gestolen in den nacht die aan de offerplechtigheid vooraf ging. Om de wanhoop der vorstin te doen bedaren, wees toen de astronoom Konon haar en haren echtgenoot een verspreide sterrengroep aan den hemel, zeggende dat Venus het offer reeds aanvaard, en naar den hemel overgebracht had. Hij teekende het toen als zoodanig op den hemelbol van de sterrenwacht te Alexandrië.

DE JACHTHONDEN, een beeld van Hevelius. Zijne bedoeling was aan te geven dat Boötes, den Beer vervolgende, deze dieren aan de hand houdt. De eenige opvallende ster van dit beeld is α , door Halley als „*het hart van Karel II*” (*Cor Caroli*) aangeduid. Het is de eerste opvallende ster die men op het verlengde van de verbinding $\alpha \gamma$ van den *Grooten Beer* tegenkomt.

DE KLEINE BEER. De Poolster bevindt zich thans op $1\frac{1}{4}^{\circ}$ van de hemelpool verwijderd; tengevolge van de op bldz. 22 genoemde praecessiebeweging is deze afstand echter langzaam veranderend. In 26000 jaar beschrijft de hemelpool een cirkelvormige baan rond de pool der ecliptica; ten tijde van Hipparchus (bldz. 38) was de hemelpool hierdoor 12° , d. i. 24 maal de middellijn der maanschijf, van de ster α *Ursae minoris* verwijderd. Sedert dien is zij steeds dichterbij gekomen, maar zal er niet mede samenvallen; de kortste afstand zal $0^{\circ}.5$ bedragen (in het jaar 2100).

DE KLEINE HOND. Van dit beeld valt alleen de heldere ster *Procyon* op, een naam ontleend aan het Grieksche $\pi\rho\omicron\omicron-\nu\acute{o}\omicron\nu$ (vóór den Hond). Hare schemeringsopkomst gaat n.l. aan die van *Sirius* vooraf.

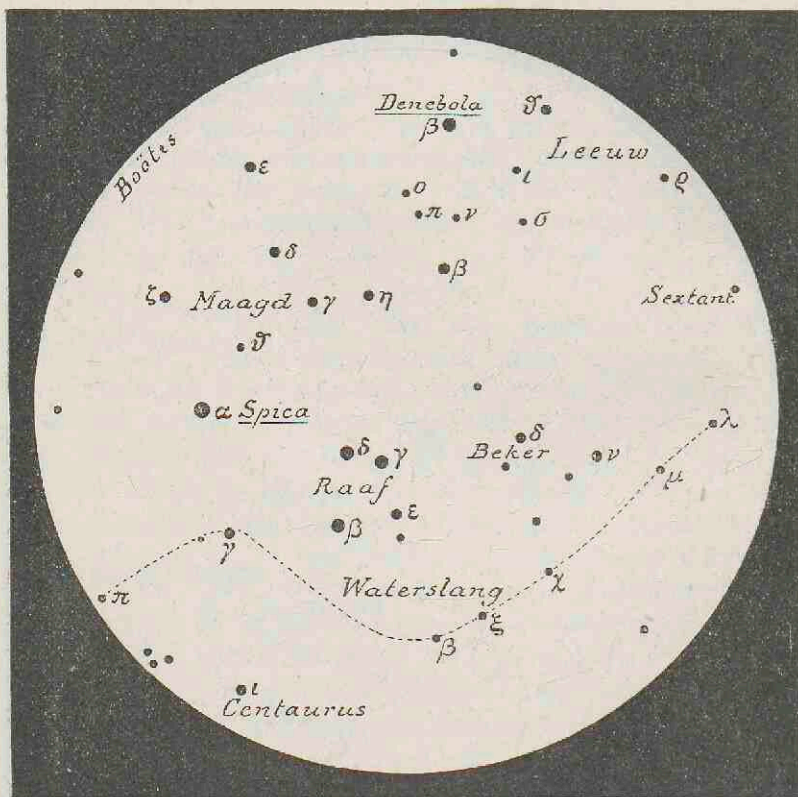
DE KREEFT. Wanneer men op een maanvrijen avond naar een plek aan den hemel kijkt gelegen ongeveer op het midden der lijn *Pollux-Regulus*, dan zal men daar een voor 't bloote oog duidelijk zichtbaar lichtend wolkje zien, dat zich reeds na beschouwing door een tooneel-



KAART 7.

kijker als een zeer fraaie, verspreide sterrengroep doet kennen. Deze bevindt zich in het midden van het kleine sterrenbeeld de Kreeft en draagt den naam *Praesepe* (de Krib). De Engelschen noemen ze vaak *the Bee-hive* (de bijenkorf).

DE LEEUW behoort met *Orion* en den *Grooten Beer* tot de meest uitgestrekte sterrenbeelden; met den naam wordt bedoeld de leeuw, die door *Hercules* in het *Nemeische woud* gedood werd. Aan de helderste ster werd door *Copernicus* (1473-1543) den naam *Regulus*



KAART 8.

gegeven, in overeenstemming met den Griekschcn naam *Βασιλλικός* (koninkje). Half November van elk jaar zijn er rondom het sterrenbeeld *de Leeuw* talrijke z. g. „vallende sterren” waar te nemen, welker banen aan den hemel

elkander, achterwaarts verlengd, ongeveer in één punt snijden. Dit punt, het „straalpunt der Leoniden,” ligt op het midden der lijn $\gamma \varepsilon$.

DE LIER is een sterrenbeeld dat op zomeravonden reeds bij een eersten blik naar den hemel de aandacht trekt door de aanwezigheid der schitterende ster *Wega* (Arabisch: de vallende adelaar). Daaronder ziet men 3 heldere sterren en 1 minder heldere ster, die op opvallend regelmatige wijze de hoekpunten van een parallellogram vormen. Ook in dit beeld bevindt zich, nabij de ster ε een straalpunt van vallende sterren, de *Lyriden*, welke verschijning omstreeks 20 April van elk jaar te verwachten is ¹⁾.

DE MAAGD. Verlengt men het beloop van den staart van den *Grooten Beer* over *Arcturus* heen, dan bereikt men de heldere ster *Spica* van het beeld *de Maagd*. Zij staat met *Arcturus* en *Denebola* (β *Leonis*) in de hoekpunten van een gelijkzijdigen driehoek. Oudtijds werd dit beeld geteekend als een jonge, gevleugelde vrouw met een tak in de eene, en een aar in de andere hand, als symbool van den veldarbeid. Zij is overigens met zeer vele andere godinnen vereenzelvigd, o. m. met *Themis*, aan welker voeten het sterrenbeeld *de Weegschaal*. Van den laatsten naam is overigens de meest gangbare verklaring deze, dat als de zon zich in dit beeld bevond, er *evenwicht* was tusschen dag en nacht.

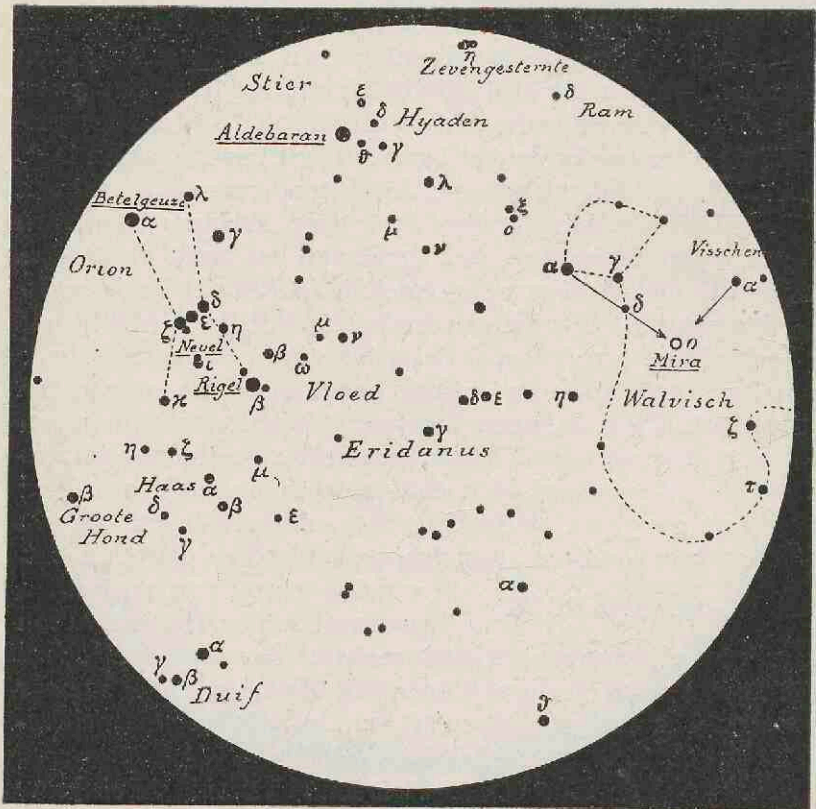
DE NOORDERKROON, een halve cirkel van sterren ten Oosten van *Boötes*. Het is de kroon van *Ariadne*, waarvan *Ovidius* verhaalt dat ze door *Bacchus* ten hemel werd geworpen toen hij *Ariadne*, die door haar schaker *Theseus* weeklagende aan het strand was achtergelaten, te hulp gesneld was.

ORION ²⁾, de reus die de *Pleiaden* achtervolgt. *Betelgeuze* beteekent de schouder, *Rigel* het been van den reus. *Orion* is het mooiste beeld der winteravonden; de heldere, roode ster *Betelgeuze* vormt met *Procyon* en *Sirius*

¹⁾ Voor de verklaring hiervan, zie het Veertiende hoofdstuk.

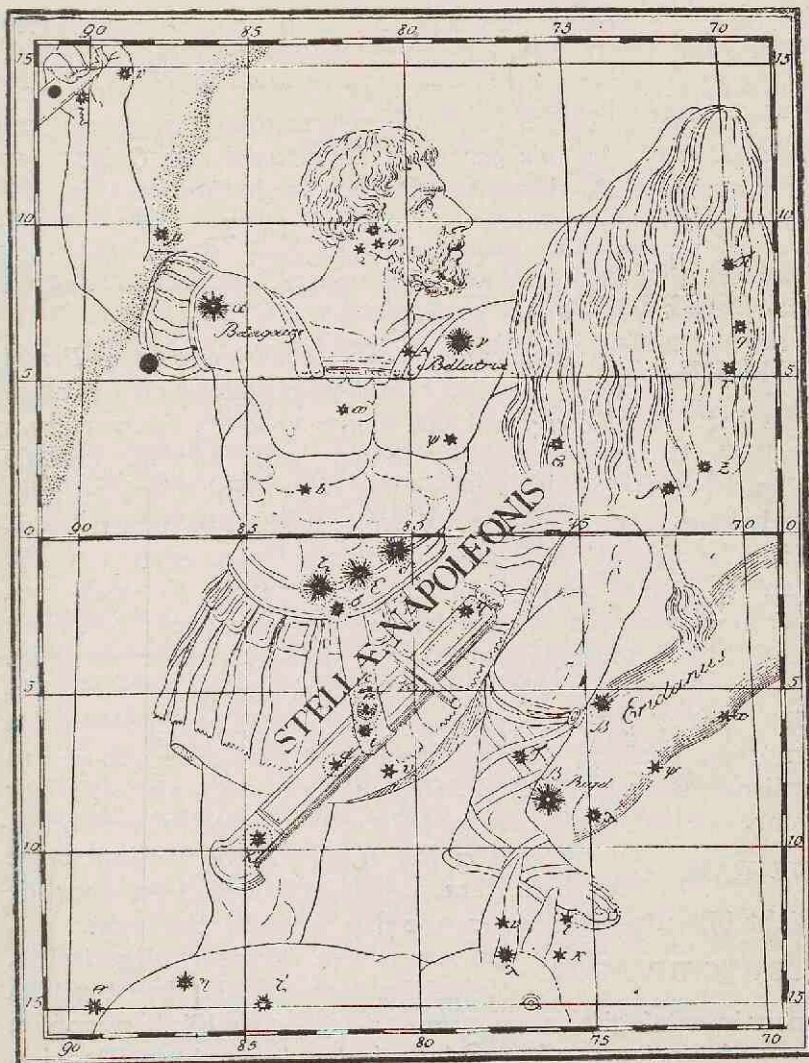
²⁾ Klemtoon op de i.

een reusachtigen, gelijkzijdigen driehoek, die vooral opvallend is in de vooravonden van April, wanneer in het Westen nog geen andere sterren zichtbaar zijn. Opvallend in *Orion* zijn ook de drie nagenoeg op een rechte lijn gelegen heldere sterren δ , ϵ en ζ de z. g. „drie koningen,”



KAART 9.

„Jacobstaf” of „gordel van Orion.” Onder ζ strekt zich een rij zwakkere sterren, het „zwaard van Orion” uit, in welker midden zich de belangwekkende nevelvlek (de *Orion-nevel*)



ORION

FIG. 17. VOORGESTELDE WIJZIGING IN DE KLASSEKE AFBEELDING VAN HET STERRENBEELD ORION.

bevindt, die echter niet voor het bloote oog als zoodanig te herkennen is. In het jaar 1807 deelde het Bestuur van de Universiteit te Leipzig in een zeer slaafs gesteld adres aan keizer Napoleon I mede, dat het de sterrengroep, die tot dusverre bekend was als „de gordel en het zwaard van Orion” tot een afzonderlijk sterrenbeeld wilde verheffen met de benaming „Napoleontische sterren.” Fig. 17 is een afdruk van de bij dit adres gevoegde teekening.

DE OSSENHOEDER. Zie bij *Groote Beer* en *Jachthonden*.

PERSEUS. De hoog $\alpha \beta \gamma$ *Andromedae* loopt op α *Persei* aan; deze ster is de middelste en helderste van het drietal $\delta \alpha \gamma$ dat een flauw gebogen lijn vormt en dadelijk de aandacht trekt indien men eenmaal (zie de alignementen bij de beschrijving van den *Grooten Beer*) de heldere ster *Capella* van den *Wagenman* gevonden heeft. Bij afwezigheid van maanlicht ziet men even ten W. van η *Persei* een dubbelen sterrenhoop, die zich aan het bloote oog als een lichte, vlokkige massa voordoet, doch reeds in een tooneelrijker haar werkelijke natuur verraad.

Merkwaardig in dit sterrenbeeld zijn nog de veranderlijke ster *Algol* (ter plaatse van het *Medusahoofd*) reeds in 1669 ontdekt, en het straalpunt van eene groep van vallende sterren, de z. g. „*Perseiden*,” die zich elk jaar voornamelijk in de eerste helft van Augustus vertoonen.

DE RAM. De lijn die α *Persei* met *Algol* verbindt wijst naar den *Ram*, een beeld dat alleen door de dicht bijeen gelegen sterren $\alpha \beta \gamma$ de aandacht trekt.

HET SCHIP ARGO. De naam van dit zeer uitgestrekte, Zuidelijke sterrenbeeld, komt zelden meer in catalogi a. a. voor, daar het gebruikelijk is geworden de onderdeelen van het schip, n.l. den *Achterstev* (Puppis), de *Kiel* (Carina), de *Zeilen* (Vela) en den *Mast* (Malus) als afzonderlijke sterrenbeelden op te vatten. Op de snijding van achterstev en kiel vindt men de ster *Canopus*, die in helderheid op *Sirius* volgt; de naam is een verbastering van $\text{K} \acute{\alpha} \nu \omega \beta \omicron \varsigma$, den loods van koning *Menelaus*. *Canopus* is

op onze breedte onzichtbaar, doch vertoont zich op 37° N. Br. (dus bijv. in de Middellandsche zee) reeds even boven den Zuidelijken horizon.

DE SCHORPIOEN is evenmin op onze breedte in zijn geheel zichtbaar. Komt men echter Zuidelijker, dan is het een der mooiste, zoo niet het aller-mooiste sterrenbeeld van den geheelen hemel. De heldere, opvallend roode ster *Antares* is voor ons uitsluitend in de vóór-zomeravonden laag boven den Zuidelijken hemel zichtbaar ($\delta = -26^\circ 14'$); zij dankt haar naam van „mededinger” van *Ἄρης* (de roode planeet Mars) uitsluitend aan hare kleur.

DE SLANGENDRAGER, Ophiuchus, (hij houdt het beeld *de Slang* in beide handen) is een weinig gemakkelijk te herkennen constellatie. De helderste ster, *α*, staat met *Wega* en *Altair* nagenoeg in de hoekpunten van een gelijkzijdigen driehoek.

DE STIER. In het rechteroog van den stier staat de heldere roode ster *Aldebaran*, d.i. de *Volgeling*; ze „volgt” n.l. de *Pleiaden*. Deze ster is in het najaar gemakkelijk onder de beelden *Wagenman* en *Perseus* te vinden, in het voorjaar bovendien met behulp van den gordel van *Orion*. Verlengt men dezen n.l. naar het N. W., (rechts boven) dan komt men in de buurt van *Aldebaran*, verlengt men hem naar het ZO, dan bereikt men *Sirius*. Op deze denkbeeldige lijn ligt de gordel vrijwel midden tusschen deze beide heldere sterren in.

In de onmiddellijke nabijheid van *Aldebaran* vindt men een sterrengroep, welke *de Hyaden* heet; hare „schemerings-opkomst” (bldz. 50) viel samen met het begin van den regentijd (*ἔειν* = regenen).

DE TWEELINGEN is een naam die ontstaan moet zijn uit de aanwezigheid der twee nagenoeg even heldere sterren *Castor* en *Pollux*. De eerste (*α Geminorum*) is minder helder dan de tweede (*β Geminorum*) Bayer was overigens gewoon aan de sterren uit een beeld de letters *α β γ* enz. te geven, in volgorde van hare helderheid. Men komt in oude beschrijvingen deze sterren ook

tegen onder de namen Apollo en Hercules, twee engelen, Adam en Eva enz. Reeds in een betrekkelijk kleinen kijker (bijv. met een objectief van 10 cm. middellijn) kan men *Castor* zien als twee duidelijk van elkaar gescheiden, nagenoeg even heldere sterren; zij is de fraaiste *dubbelster* van den hemel.¹⁾

DE VISSCHEN. Wanneer men zich den boog $\alpha \beta \gamma$ van den *Ram* verlengd denkt, ontmoet men een ster, die, hoewel zwakker dan deze drie, toch in haar omgeving opvalt; deze ster is α van de *Visschen*; van haar uit gaan in twee richtingen, naar het O en NO, „linten” van sterren, aan welker uiteinden men zich de visschen moet denken. Dit beeld bevat thans het Lentepunt γ .

DE WAGENMAN is een der klassieke sterrenbeelden, over welker juiststen oorsprong men in het duister tast; zeer waarschijnlijk hangt zijn „schemeringsopkomst” met het wederkeeren van de lente samen. De wagenman houdt een zweep in de eene en een geitje (de heldere circumpolaire ster *Capella*) in de andere hand. *Capella* is te vinden op het verlengde der lijn $\delta \alpha$ van den *Grooten Beer*, in de Juni-avonden echter zeer laag boven den horizon ($\delta = + 45^\circ 54'$).

Dit sterrenbeeld valt dadelijk op als een groote vijfhoek, waarvan $\alpha \beta \vartheta$ en η vier der hoekpunten vormen, terwijl β *Tauri* het vijfde is. Deze laatste ster vormt onder den vijfhoek, met ζ *Tauri* en *Aldebaran* de hoekpunten van een grooten, ongeveer gelijkbeenigen driehoek, die *Aldebaran* tot top heeft.

DE WALVISCH is een zeer uitgestrekt sterrenbeeld zuidelijk van de *Visschen* gelegen, waarvan dadelijk de drie heldere sterren α , γ en δ als hoekpunten van een stompen driehoek de aandacht trekken. Op de lijn $\alpha \delta$ vindt men, veel Zuidelijker, de heldere ster β , maar op gezette tijden, die ongeveer 11 maanden op elkaar

¹⁾ Theoretisch kan men de beide „componenten” reeds met een veel kleineren kijker scheiden. Zie bldz. 121.

volgen zal men op diezelfde lijn nòg een opvallend heldere en tevens roode ster bemerken, die op andere tijdstippen veel zwakker is dan de grens van zichtbaarheid voor het menschelijk oog. Deze zoo sterk veranderlijke ster heet *Mira* (de verwonderlijke). Hare plaats op de lijn $\alpha \delta$ is het voetpunt van de loodlijn uit α *Piscium* er op neergelaten.

HET ZEVENGESTERNTE, dat pas in het najaar in den vooravond zichtbaar wordt, is (zie de opm. op bldz. 43) een sterrengroep, geen eigenlijk sterrenbeeld. De meeste normale oogen onderscheiden zonder bepaalde inspanning slechts 6 sterren; scherpe oogen zien er 10 of 11; een kleine kijker verraaft er echter reeds 36, terwijl een door den Amerikaanschen sterrenkundige Elkin samengestelden Pleiaden-catalogus er 625 bevat. De naam schijnt afgeleid te zijn van *πλεῖν* (varen); de „schemeringsopkomst” van deze sterrengroep kondigde het begin der lente en daarmee het gunstige seizoen voor de zeevaart aan. De helderste sterren hebben de namen gekregen van de 7 dochters van Atlas en Pleione; later zijn er de namen der ouders aan toegevoegd. Van al deze namen is echter alleen die van de helderste ster *Alcyone* (η *Tauri*) min of meer in gebruik gebleven.

In de legenden van vele beschaafde en onbeschaafde volken speelt het *Zevengesternte* een rol, terwijl de vergelijking met een troep kuikens in den volksmond overal merkbaar is. Zoo spreken de Franschen van *La poussinière*, de Italianen van *La galinette*, de Duitschers van „*die Glucke mit ihren Küchlein*,” de Denen van *Afjenhøne* enz.

Het *Zevengesternte* is eenerzijds geen eigenlijk sterrenbeeld om de compacte groepeerings der sterren, maar anderzijds eerst recht omdat vele van deze sterren in werkelijkheid bijeen schijnen te hooren. Elk ander sterrenbeeld is een groepeerings van sterren aan de sfeer; deze hebben in werkelijkheid niets met elkander gemeen, staan op verschillende afstanden van de aarde, hebben andere bewegingen en een anderen graad van ontwikkeling. Het *Zevengesternte* echter is „im groszen und ganzen” een groepeerings van sterren

in het Heelal, met gelijke bewegingen en gelijken graad van ontwikkeling.

DE ZUIDERVISCH is voor ons land als beeld van geen belang; wie echter een vrijen Zuidelijken horizon heeft, zal daar (1 Oct. te 10 u., 15 Oct. te 9 u. en 1 Nov. te 8 u.) op een hoogte van 8° een heldere ster zien schitteren, welker helderheid indien men ze hoog aan den hemel kon zien, die van *Regulus* en *Deneb* zou evenaren. Nu haar licht echter een zooveel grooteren afstand door onzen dampkring moet doorloopen, schijnt ze ons, doordat er meer van haar lichtsterkte opgeslorpt wordt, zwakker dan deze beide, maar ze blijft toch, vooral door het ontbreken van heldere sterren in hare buurt, een opvallende verschijning, die zelfs een getrouw waarnemer van den hemel telkens weer verrast. Deze ster is *Fomalhaut*, een naam die naar het schijnt is ontleend aan een Arabisch woord dat *vischbek* beteekent.

DE ZWAAN, bij de Ouden ook de *Vogel* of de *Kip* geheeten, is een zeer opvallend, voor onze breedte nagenoeg circumpolair beeld; het heeft den vorm van een rechthoekig kruis, waarvan $\alpha \gamma \beta$ de lange, en $\delta \gamma \epsilon \zeta$ de korte arm is. Wil men zich de klassieke figuur van den vogel denken, dan is diens bek bij β , het begin van den staart bij α (*Deneb*) gelegen. Zie ook bij den *Leeuw*, waar de ster aan den staart *Denebola* heet.

Over den voor ons speciaal Zuidelijken hemel, d. w. z. over de sterrenbeelden die in hun geheel gelegen zijn op eene Zuiderdeclinatie grooter dan 35° , zullen wij slechts enkele woorden zeggen. Een heldere poolster ontbreekt, zoodat de plaats der Zuidpool niet onmiddellijk te vinden is; zij ligt ongeveer op het midden van den grootcirkelboog die de sterren van het Zuiderkruis met de heldere ster *Achernar* van den *Vloed Eridanus* verbindt en zeer nabij de ster σ van het sterrenbeeld de *Octant*.

HET ZUIDERKRUIS („*CruX*”) gelegen op $\alpha = 12^u. 30^m$. en $\delta = -60^\circ$ bestaat in hoofdzaak uit vier zeer heldere, dicht bijeen geplaatste sterren in den

vorm van een rechthoekig kruis, dat de bijzonderheid heeft dat de sterren aan de uiteinden van den langen arm dezelfde rechte klimming hebben, en dus in den meridiaan hetzelfde azimuth. Bij zijn meridiaansdoorgang staat dus het kruis *verticaal*. Even ten Westen ervan vindt men de twee heldere sterren α en β van het beeld *Centaurus*, waartoe Ptolemaeus het, eerst later tot afzonderlijk sterrenbeeld verheven *Zuiderkruis* mederekende. Zeer opvallend zijn verder aan den Zuidelijken hemel de „*Kaapsche Wolken*” en de „*Groote kolenzak*.”

DE KAAPSCHE WOLKEN OF
WOLKEN VAN MAGALHAES bevinden zich ongeveer op $\alpha = 5^{\text{u}} 30^{\text{m}} \delta = -70^{\circ}$ (de „groote” wolk) en op $\alpha = 0^{\text{u}} 45^{\text{m}} \delta = -70^{\circ}$ (de „kleine” wolk). Zij zien er voor het bloote oog a. h. w. als compacte deelen van den *Melkweg* uit, liggen echter op grooten afstand daarvan en blijken bij telescopische beschouwing te bestaan uit de meest grillige opeenhooping van sterren, sterrenhoopen en onoplosbare nevels. Daar sterrenhoopen aan den hemel meestal gevonden worden in gebieden, die ver verwijderd zijn van die waarin men de meeste nevels aantreft, zijn groepeeringsen als de hier beschrevene even geheimzinnig als belangwekkend; de groote *Kaapsche Wolk* beslaat een oppervlakte aan de sfeer even groot als de vierhoek $\alpha\beta\gamma\delta$ van den *Groeten Beer*.

DE KOLENZAK is in tegenstelling met de wolken een plek die *volkomen donker* is. Zij bevindt zich in den *Melkweg*, dus in een gebied waar overigens de hemel één lichtende gordel is, en wel bij het zoeven beschreven *Zuiderkruis*, dat daardoor een des te meer opvallende verschijning is.

Deze donkere plek is niet de eenige in den *Melkweg*; de andere zijn echter minder in het oog loopend. Wij komen er bij de beschrijving van den *Melkweg* in het Achttiende hoofdstuk uitvoeriger op terug.

Ten slotte een en ander over den z. g. „*Dierenriem*”

(*Zodiacus*). Dit is een strook van ongeveer 8° ter weerszijden van de ecliptica, welke breedte samenhangt met de grootste helling die bij de banen der groote planeten



FIG. 18. DE DIERENRIEM VAN DENDERAH.

voorkomt. Noch omtrent de reden waarom hier juist *aieren* een rol spelen, noch omtrent het ontstaan van de andere namen der sterrenbeelden die in dien hemelgordel geplaatst

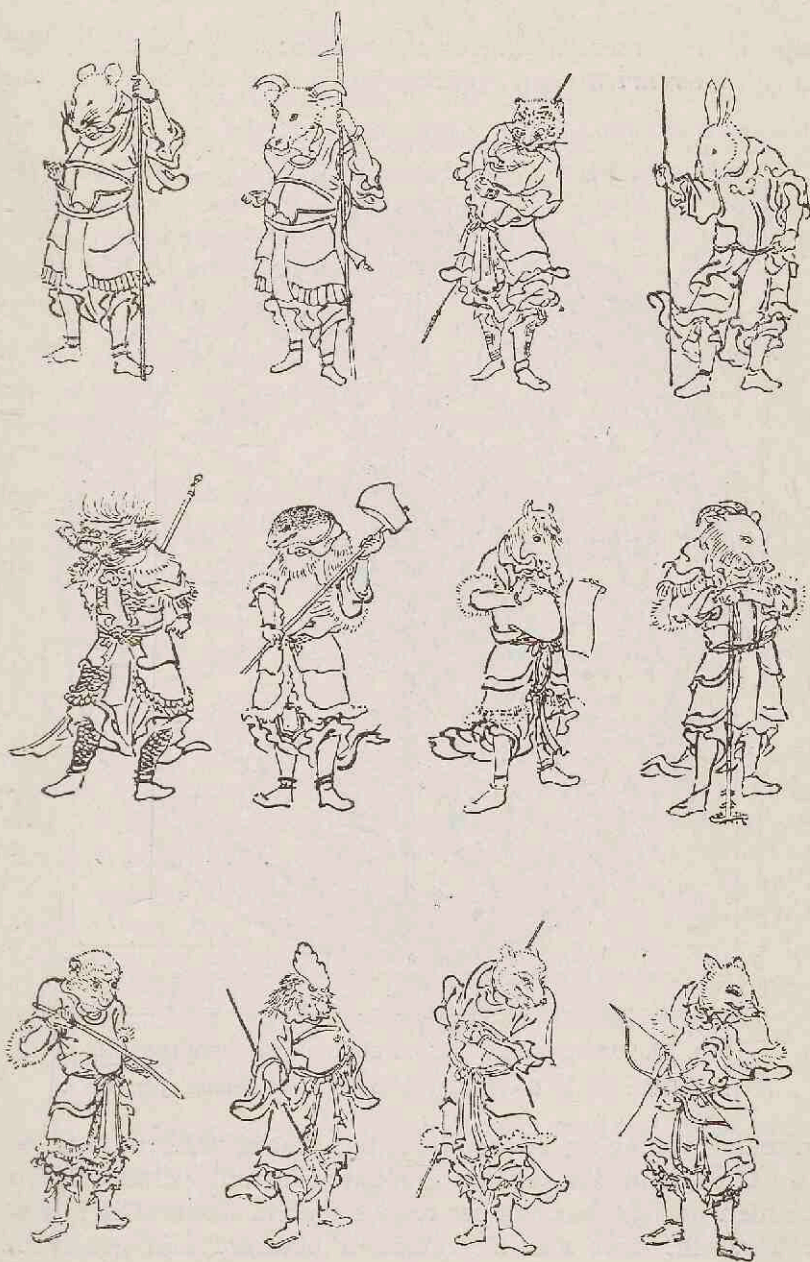


FIG. 19. JAPANSCH E DIERENRIEM-BEELDEN.

(Uit: Bulletin de la Société Astronomique de France Jrg. 1905.)

zijn is iets met zekerheid te zeggen; zeer waarschijnlijk is de *Dierenriem* een voortbrengsel van de oud-Babylo-

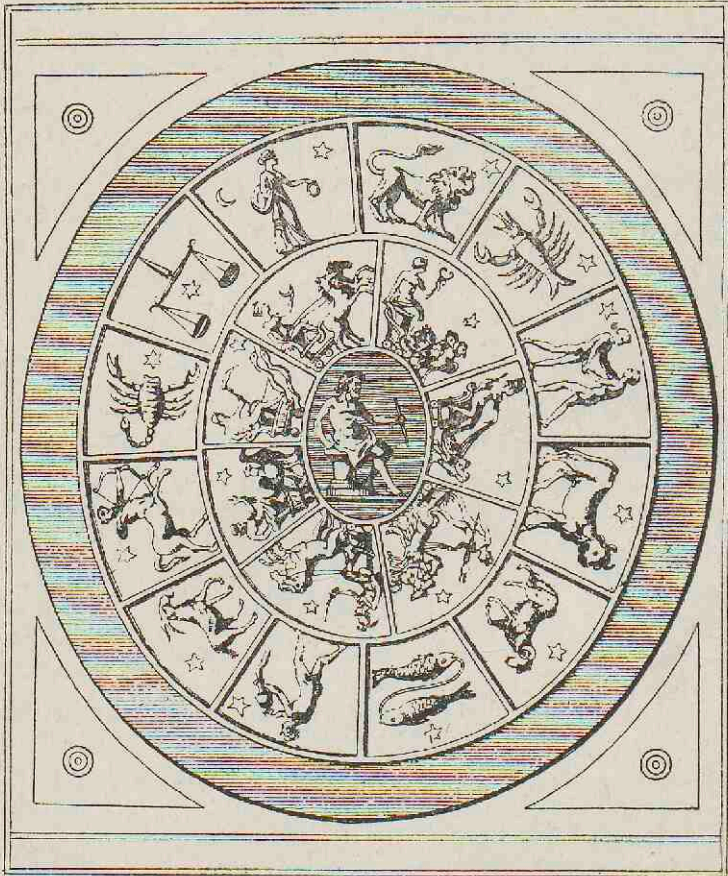


FIG. 20. DIERENRIEM, GEGRAVEERD IN EEN EDELSTEEN.

(Uit: Bulletin de la Société Astronomique de France Jrg. 1912.)

nische beschaving en heeft hij zijn naam ontleend aan de omstandigheid dat de planeten (dwaalsterren) wel vergeleken werden met grazende of zwervende dieren. Zooveel is echter zeker, dat niet alle dierennamen bewaard zijn gebleven,

waarschijnlijk door toedoen der Egyptische en Grieksche sterrenkundigen.

De Dierenriem wordt door de z.g. „teekens van den Dierenriem” in 12 deelen verdeeld. Deze teekens zijn de volgende:

♈ Ram	♌ Leeuw	♍ Schutter
♉ Stier	♎ Maagd	♏ Steenbok
♊ Tweelingen	♐ Weegschaal	♑ Waterman
♋ Kreeft	♒ Schorpioen	♓ Visschen.

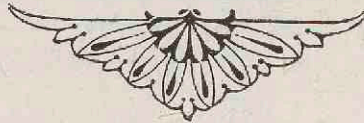
Ook deze indeeling moet van Babylonischen oorsprong zijn; men wist echter, toen zij gemaakt werd, niet dat de beelden-, en de teekenindeeling ten opzichte van elkaar verschuiven. Door de praecessiebeweging verplaatst zich echter het nulpunt ♈ der teekenindeeling ten opzichte van den vasten hemel; daardoor loopen de teekens in de reeks der beelden terug, en het teeken ♈ bevindt zich thans in het beeld Visschen. Daar de praecessiebeweging nauwkeurig bekend is, kan dus het vinden van oude Dierenriemvoorstellingen waarde hebben voor de vaststelling der periode waarin ze ontstaan zijn, mits het Lentepunt tevens is aangegeven.

De eerste vondst van dien aard had plaats in 1798 tijdens Napoleons expeditie in Boven-Egypte, n.l. de dierenriem in den tempel van Denderah (Fig. 18) waarvoor men, daar de *Leeuw* zich het meest nabij den ingang bevond en dus waarschijnlijk het Lentepunt bevatte, een ouderdom van 6100 jaren meende te mogen afleiden. Later bleek echter dat deze tempel van zeer veel jongeren datum is. Uit Egypte zijn misschien de dierenriemvoorstellingen naar Indië, China en Japan verspreid en in elk nieuw land naar de omstandigheden vervormd. Zoo vinden wij (Fig. 19) onder de Japansche dierenriemteekens alleen den *Stier* terug.

Daar de Dierenriem met zijn teekens en de steeds wisselende plaatsen der leden van het zonnestelsel in den zodiakalengordel den grondslag vormden voor de sterrenwichelarij, vindt men in oude beeldhouwwerken herhaaldelijk de

beelden van den Dierenriem afgebeeld. Zoo o. a. in de cathedraalen van Amiens en Chartres, op oude astronomische pendules, op medailles, armbanden en zuilen (o. a. in het museum te Arles).¹⁾ Als zeer fraai specimen geven wij in Fig. 20 een afbeelding van een dierenriem, gegraveerd in een der edelgesteenten van het Huis van Orleans.

1) Er bestaat een boekje van A. B. Grimaldi getiteld: Catalogue of zodiacs and planispheres, waarin alle plaatsen op aarde genoemd zijn waar men geheele of gedeeltelijke afbeeldingen van dierenriembeelden kan aantreffen.



IV DE WAARNEMER OP DEN BODEM DER LUCHTZEE



EN waarnemer op aarde is gedwongen zijn werk te verrichten op den bodem eener luchtzee die aan vele wisselingen tengevolge van temperatuur- en drukveranderingen onderworpen is; wij zullen in het kort nagaan op welke manieren deze omstandigheid invloed kan uitoefenen op de uitkomst der waarnemingen.

REFRACTIE. Een lichtstraal die uit de eene middenstof (den vrijen aether) treedt in eene middenstof (de lucht) waarin het licht een kleinere snelheid heeft, wordt „gebroken” in dien zin, dat de hoek tusschen den lichtstraal en den normaal op het scheidingsvlak der middenstoffen verkleind wordt. Denkt men zich den dampkring te bestaan uit oneindig vele concentrische lagen, welker dichtheid naar de aarde toe gestadig toeneemt, dan heeft een lichtstraal, komende van een lichtbron S naar den waarnemer C (Fig. 21) eerst, in den aether, een recht beloop Sa , daarna, in de lucht, een gebogen beloop aC . De waarnemer ontvangt den indruk alsof het licht komt uit de richting van de *raaklijn* uit zijn oog aan de gebogen lijn getrokken, dus uit de richting S_1C ; zonder den invloed der refractie (straalbreking) zou hij de lichtbron in de richting $C S_2$ evenwijdig aan aS gezien hebben. Daar de schijnbare (foutieve) richting waarin de lichtbron gezien wordt een grooteren hoek met den horizon maakt dan de ware richting, kunnen wij zeggen: *de refractie*

vergroot de hoogte van alle hemellichten. Het bedrag van die vergrooting is echter afhankelijk van de hoogte zelve. Staat een hemellicht zoo hoog mogelijk („in top”) dan valt de lichtstraal samen met den zoeven genoemden normaal, hij snijdt de dampkringslagen loodrecht en gaat ongebroken door.

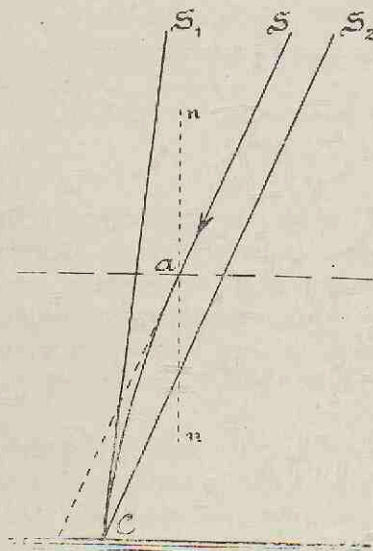


FIG. 21. REFRACTIE.

De refractie werkt in een verticaal vlak, verandert dus de hoogte, maar niet het azimuth der hemellichten; op welke wijze ze de declinatie en rechte klimming zal veranderen hangt af van den stand der parallel ten opzichte van het

nul; naarmate de hoogte van het hemellicht echter afneemt, doet haar invloed zich steeds meer gelden, aanvankelijk nauwelijks merkbaar, maar voor kleinere hoogten tot een betrekkelijk groot bedrag aangroeiend. Vooreerst toch wijkt de gebroken lichtstraal verder af naarmate het licht schuiner invalt, maar bovendien heeft de invallende straal dan een langeren weg door den dampkring af te leggen, waardoor de kromming sterker wordt.

Tengevolge der refractie zijn dus bijv. zon en maan schijnbaar vroeger op en schijnbaar later onder dan in werkelijk-

heid¹); door denzelfden invloed lijken zij dicht bij den horizon ei-vormig. De uiteinden *a* en *b* (Fig. 22) van de horizontale middellijn worden n.l. door refractie met een gelijk bedrag, de uiteinden *c* en *d* van de verticale middellijn met een ongelijk bedrag boven den horizon gelicht, maar *c* met een kleiner, *d* met een grooter bedrag dan *a* en *b*.

¹ Op onze breedte bedraagt dit verschil 2 à 5 minuten.

verticale vlak, d.w.z. van den *uurhoek*. Is deze 0° , dan staat dit vlak loodrecht op de parallel van het hemellicht (het valt samen met het meridiaanvlak) en de refractie verandert de *declinatie*, maar niet de *rechte klimming*; in andere uurhoeken echter staat het verticaalvlak *niet* loodrecht op de parallel van het hemellicht en de refractie verandert daardoor zoowel de declinatie als de rechte klimming.

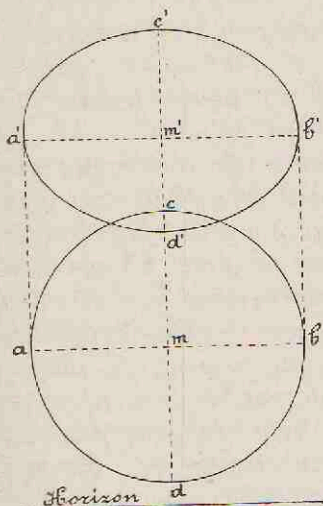


FIG. 22. INVLOED DER REFRACTIE OP ZON EN MAAN.

Het bedrag van deze verandering is tevens afhankelijk van de breedte der waarnemingsplaats; aan de pool, waar alle meridianen tevens verticalen zijn, is de invloed der refractie voor beide stelsels van coördinaten dezelfde. De zon loopt er reeds langs den horizon rond vóórdát hare declinatie 0° is en de lange „pooldag” wordt ongeveer 5 dagen langer, de „poolnacht” dus 5 dagen korter dan een halfjaar; een deel van dit bedrag is op rekening van den *schijfvorm* der zon te stellen.

Zoo eenvoudig het intusschen is, den *aard* aan te geven van den invloed der refractie, zooveel te moeilijker is het vast te stellen op welke wijze zij afhankelijk is van de hoogte van het hemellicht en den toestand (temperatuur en drukking) van de lucht. Dit geldt vooral voor kleine hoogten, kleiner dan 10° , waar, zooals o. a. blijkt uit de grillige vormen die de ondergaande zon kan aannemen, en waaronder eilanden en schepen z. g. „opdoemen,” de refractie zeer onregelmatig kan zijn. Tenzij het hoogst noodzakelijk is, meet men dan ook in de practijk der waarnemingen geen hoogten boven den horizon kleiner dan 10° ; terwijl toch de refractie in den horizon gemiddeld $36'$ bedraagt, is zij op een hoogte van $10\frac{1}{2}^\circ$ nog maar $5'$ en verloopt vandaar

vrij regelmatig; ze bedraagt 1' voor een hoogte van 45° en slechts 5" voor $h = 85^\circ$.

EXTINCTIE. Het licht ondergaat bij zijn gang door den dampkring niet alleen een *richtings*-, maar tengevolge van absorptie door zijn gassen en terugkaatsing op de vaste en vloeibare deeltjes, ook een *intensiteitsverandering*. Het bedrag hiervan hangt van drie omstandigheden af:

1°. van de hoogte van den waarnemer boven het aardoppervlak.

2°. van de hoogte van het hemellicht boven den horizon.

3°. van de kleur van het hemellicht.

Hiervan zijn de sub. 1° en 2° genoemde omstandigheden eigenlijk samen te voegen tot deze eene: de intensiteitsvermindering (*extinctie*) hangt af van de lengte van den weg dien het licht door den dampkring moet afleggen, alvorens het oog van den waarnemer te bereiken. Hoe lang die wegen voor verschillende hoogten van een hemellicht *precies* zijn, is moeilijk te zeggen; de juiste *hoogte* toch van den dampkring, in zooverre men hiervan ten minste spreken kan, is onbekend (wij ontvangen nog teruggekaatst zonlicht van dampkringsdeeltjes op een hoogte van ongeveer 200 KM. boven het aardoppervlak) en de dichtheidsvermindering evenzoo. Men kan echter wel berekenen hoe die wegen zich ongeveer zullen verhouden en vindt dan dat een lichtstraal, komende van een hemellicht 10° boven den horizon, een dampkringsweg van 47 KM. moet afleggen tegen eenen van 16 KM. als de hoogte 30° geworden is; de verdere vermindering met de hoogte geschiedt echter veel langzamer en als het hemellicht „in top” staat, is de dampkringsweg, in dezen verhoudingsmaat uitgedrukt, 8 KM. geworden. De wegen zijn dus in elk geval zeer verschillend; hoe langer de weg en hoe grooter de dichtheid der lucht, des te grooter is de extinctie en daar deze factoren voor een laag staand hemellicht samenwerken, neemt hiervoor de extinctie een groote waarde aan. Maar ook voor een hemellicht „in top” is ze niet onaanzienlijk.

In het gunstigste geval gaat 25% van zijn licht door absorptie in de dampkringslagen voor den waarnemer verloren, een bedrag dat voor een hemellicht even boven den horizon vele malen grooter wordt. Deze bedragen wisselen echter tengevolge van het sub 3°. genoemde; wij zullen in het Achtste hoofdstuk leeren dat het z. g. „witte” licht uit verschillende kleuren is samengesteld, welke echter niet gelijkelijk door den dampkring der aarde geabsorbeerd worden. Blauwe lichtstralen gaan tot een grooter percentage verloren dan roode en als een roode en een blauwe¹⁾ ster „in top” even helder schijnen, lijkt bij hun opkomst en ondergang de roode merkbaar helderder. Hetzelfde verschijnsel is oorzaak dat de extinctie bij het *fotografeeren* van den hemel een ander effect heeft dan bij het waarnemen *met het oog* of zooals men het uitdrukt bij visueel werk.

Op den invloed der extinctie op de helderheidsmetingen van sterren komen wij in het Zestiende hoofdstuk uitvoerig terug.

HET FONKELEN DER STERREN (het z. g. „scintilleeren”). Dit verschijnsel ontstaat, doordat de luchtzee, op welks bodem wij ons bevinden, niet in rust, maar aan voortdurende, grillige bewegingen onderhevig is; de lichtstralen nemen nu hun weg door een dampkring die bestaat uit een mengeling van ongelijk verwarmde, en dus ongelijk dichte luchtstroomen die hunne richting veranderen, waardoor het oog een reeks van snel op elkaar volgende verschillende intensiteiten opvangt inplaats van een enkele standvastige. Maar voornamelijk door z. g. „*interferentie*” van twee lichtstralen, die wel van dezelfde lichtbron uitgaan, maar langs eenigszins verschillende wegen het oog van den waarnemer bereiken, kan het verschijnsel veroorzaakt worden. Een ster vertoont zich daardoor in een kijker niet als een scherp, rustig puntje, maar als een onrustig vlokje en voor het bloote oog „fonkelt” ze. Men kan hiervan in het algemeen zeggen dat laag staande sterren meer fonkelen dan hoog staande, witte meer dan gele

¹⁾ Eigenlijke blauwe sterren zijn er niet. Zie bldz. 353

en roode, en dat het verschijnsel sterk afhankelijk is van den plaatselijken toestand van den dampkring. Lage temperatuur bevordert het fonkelen, dat dan ook 's winters meer opvallend is dan 's zomers.

Bij de maan is het verschijnsel niet, bij de planeten nauwelijks merkbaar; doordat zij een schijf vertoonen aanschouwen wij een regelmatigigen toestand als *gemiddeld* resultaat van de onregelmatigheden der verschillende punten van de schijf.

Het fonkelen der sterren is een maatstaf voor de rustigheid der lucht, welke vaak wordt aangelegd bij het beoordeelen der wenschelijkheid tot het verrichten van bepaalde fotografische opnamen.

DE SCHIJNBARE VORM VAN HET HEMELGEWELF.

Reeds uit het midden der 13^{de} eeuw bereikt ons de opmerking dat wij het hemelgewelf niet als een halven bol zien, maar als een oppervlak dat sterk afgeplat is in de richting naar het zenith. Het bedrag van die afplatting schijnt voor elken waarnemer anders te zijn, en overdag verschillend van 's nachts. Een aannemelijke verklaring van dit verschijnsel is niet gegeven. Men zou geneigd zijn te denken dat door dezen afgeplatten vorm de schatting met het bloote oog van de hoogte eener ster geheel foutief moet uitvallen, ja men heeft omgekeerd gemeend uit dergelijke foutieve schattingen het bedrag der afplatting te kunnen geven. Latere onderzoekingen hebben echter aangetoond dat deze maatstaf onzuiver is; een waarnemer kan na eenige oefening, ofschoon hij het hemelgewelf sterk afgeplat ziet, de hoogte eener ster binnen een paar graden nauwkeurig schatten.

DE SCHIJNBARE VERGROOTING AAN DEN HORIZON.

Zoowel de zon en de maan als de sterrenbeelden lijken op geringe hoogte boven den horizon sterk vergroot. Ook dit reeds aan de Grieken bekende verschijnsel is niet verklaard; meet men met een hoekmeetinstrument de middellijn der voor het bloote oog sterk vergroot lijkende zonnescijf,

dan krijgt men geen verschil met een meting bij grootere hoogte der zon. De vergrooting is dus schijnbaar; zij is bij sterrenbeelden nog opvallender dan bij de zon of de maan. De „Wagenman” en „de Leeuw” bijv., twee zeer markante groepeeringsen, lijken even boven den horizon zoo sterk vergroot, dat men ze, als ze dicht bij het zenith staan, bijna niet zou herkennen. Langen tijd heeft men gemeend dat het sterk afgeplat zien van het hemelgewelf de schijnbare vergrooting aan den horizon veroorzaakte, maar deze meening is niet meer vol te houden, sedert het verschijnsel ook *in het veld van een kijker* is waargenomen. Bij de waarneming van veranderlijke sterren moet hare helderheid vaak in een kijker met het bloote oog geschat worden, door ze te vergelijken met de helderheid van omringende, *niet* veranderlijke sterren. Daar een waarnemer dit voor een bepaalde ster soms jaren achtereen doet, is hij met de groepeeringsen dezer sterren in het veld van zijn kijker, met deze „telescopische constellatie,” zóó vertrouwd geraakt, dat eventueele veranderingen hem onmiddellijk zullen opvallen, en nu is het bijv. op de Utrechtsche Sterrenwacht herhaaldelijk gebeurd, dat laag boven den horizon een sedert jaren bekende telescopische groepeeringsen zóó sterk vergroot leek, dat ze bij den eersten aanblik niet herkend werd. Het verschijnsel is dus, evenals het vorige, waarschijnlijk zuiver fysiologisch.

DE SCHEMERING. Wanneer de zon is ondergegaan houdt de directe verlichting van onze omgeving op, en blijft alleen de diffuse verlichting over, die door verschillende fasen heen den nacht inleidt; zij heet de *avondschemering*. Deze fasen worden voor een „normale” schemering door Prof. Nijland als volgt beschreven ¹⁾: „Wij zullen het punt van den horizon, waar „de zon ondergaat gemakshalve het Westen noemen, of „schoon dit punt in Juni ver naar het Noorden opgeschoven „is. Bij het dalen der zon treden over den geheelen hemel „eigenaardige tinten op: het Westen kleurt zich geelwit,

¹⁾ Buiten Jrg. 1908 bldz. 266.

„het Noorden en het Zuiden geelrood, het Oosten purper. „Langzamerhand gaan in het Westen geel en rood over- „heerschen, terwijl onmiddellijk nadat de zonnebol ver- „dwenen is, in het Oosten een vaal kobaltblauw segment „opkomt,” de aardschaduw. Zoo lang dit segment nog „zeer laag op den horizon staat, is het door een rozerooden „zoom vrij scherp begrensd. Naarmate het zich echter „hooger verheft — en dat geschiedt tamelijk snel — wordt „de grens vager. Een half uur na zonsondergang is alleen „nog maar te bespeuren, dat de Oostelijke hemel in schaduw „gedompeld is, terwijl zich het Westen nog in veelkleurig „licht baadt, waarin rood en geel de hoofdtinten zijn, door „zachtgroen in het blauw van de hoogere deelen des hemels „overgaande. Hier, in het Westen, teekent zich nu hoe „langer hoe duidelijker een geel „schemeringssegment” „af; daarboven is bij zeer helderen hemel, gedurende korten „tijd een prachtige rozerode koepel zichtbaar, het zooge- „naamde purperlicht. Een kwartier na zonsondergang „omspant het gele segment ongeveer 120° van den horizon; „het bereikt in het Westen een hoogte van 15° . Daarop „rust de halfcirkelvormige purperen koepel; zijn straal is „op 30° te schatten, zoodat het purperlicht een totale hoogte „van 45° bereikt. Langzamerhand trekken zich beide, zoowel „het schemeringssegment als het purperlicht, naar den „westelijken horizon terug, maar het purper doet dit zooveel „sneller, dat het in het geel schijnt weg te zinken, na weinige „minuten nog slechts een purperen zoom daarvan vormt, „en een half uur na zonsondergang geheel verdwenen is. „Tijdens de grootste helderheid van het purperlicht be- „ginnen de voorwerpen in het Oosten in een levendig roze- „rood te lichten: hooge sneeuwbergen vertoonen het prachtige „verschijnsel, dat men Alpengloeien noemt. Ook na het „verdwijnen van het purperlicht treden soms opnieuw roode „tinten aan den Oostelijken hemel op. Zelfs wordt de normale „schemering een enkelen keer in al hare verschijnselen door „een zwakke „tweede schemering” gevolgd.”

Hetzelfde verschijnsel doet zich in omgekeerde volgorde

vóór als inleiding van den dag; het is de ochtendschemering of d a g e r a d. Men spreekt van het einde der „astronomische” avondschemering als het volkomen nacht is; de zon staat dan ongeveer 18° onder den horizon. De „burgerlijke” schemering eindigt als de helderste sterren zichtbaar worden; de zon staat dan ongeveer 6° onder den horizon. De duur der schemering is de tijd die de zon behoeft om langs haar dagboog deze punten te bereiken, is dus afhankelijk van den stand der parallel ten opzichte van den horizon d. i. van de breedte van den waarnemer en den tijd van het jaar. Voor de burgerlijke schemering wisselt hij voor ons land tusschen 48 min. (in Juni) en 36 min. (in Maart en October). De astronomische schemering duurt in Juni den geheelen nacht, in Maart en October ongeveer $2\frac{1}{4}$ uur.

HET AARDLICHT. Het ligt voor de hand aan te nemen, dat op een donkeren, maanvrijen nacht de plekken aan den hemel, waar wij geen sterren zien, toch licht uitzenden. Wij behoeven immers slechts deze schijnbaar donkere plekken in een grooten kijker te bezien om de aanwezigheid van honderden en soms duizenden sterren te constateeren. Bovendien verspreidt het licht der sterren zich evenals dat van zon en maan door terugkaatsing op de dampkringsdeeltjes; wij weten dat dit „diffuse” zonlicht de eigenlijke verlichting van onzen daghemel veroorzaakt en het is duidelijk dat het „diffuse” sterrenlicht de donkerheid van onzen nacht-hemel vermindert¹⁾; hierdoor zou echter de nacht-hemel donkerder moeten zijn, naarmate de beschouwde plekken dicht bij den horizon zijn gelegen. Onze landgenoot Yntema heeft echter in 1909 uit een reeks waarnemingen aangetoond, dat de helderheid grooter is voor plekken dichtbij den horizon en daaruit voor het eerst met cijfers bewezen, dat de verlichting van den (nachtelijken) hemel mede

1) Een globale berekening, steunende op statistische gegevens van het sterrenstelsel leert dat gemiddeld de totale verlichting van elk halfrondd gedacht kan worden als te ontstaan uit de aanwezigheid van 675 sterren der eerste grootte.

haar oorzaak vindt in een nog onbekende lichtbron, welke misschien van gelijken aard is als die welke het „Noorderlicht” doet optreden; hij heeft aan deze zwakke verlichting den naam Aard-licht gegeven. Het aardlicht is ook in de vorige eeuw herhaaldelijk opgevallen en min of meer nauwkeurig beschreven, echter nooit met behulp van instrumenten onderzocht; het moet niet verward worden met de vaak zeer merkwaardige verlichting van den hemel door z. g. „lichtende nachtwolken,” welke waarschijnlijk plaatselijke dampkringsverdichtingen zijn op abnormaal grooten afstand boven het oppervlak der aarde.

De onderzoekingen van Yntema zijn later in Amerika met in hoofdzaak dezelfde uitkomst herhaald.



V HET ZONNESTELSEL EN DE PLANETENBEWEGINGEN

ONDER „het Zonnestelsel” verstaan wij, strikt genomen, de zon, de planeten, de manen der planeten, de kometen en de vallende sterren; wij zullen ons echter in dit hoofdstuk bepalen tot eene korte beschrijving van den bouw van het zonnestelsel voor zoover het de planeten betreft, welker beweging, zooals wij ze aan den hemel waarnemen, tevens zal worden nagegaan. Een *beschrijving* der hemellichten van het zonnestelsel moge dan in de 2^{de} Afdeeling eene plaats vinden.

De groote planeten dragen de volgende namen: *Mercurius, Venus, de Aarde, Mars, Jupiter, Saturnus, Uranus* en *Nepfunus*. De kleine planeten, waarvan er in 1912 ongeveer 750 bekend waren, worden, hoewel ook zij namen ontvangen hebben, meestal door een nummer aangeduid; de vier eerst ontdekte heeten *Ceres, Pallas, Juno* en *Vesta*. Voor al deze „permanente” leden van het zonnestelsel gelden de volgende bepalingen en stellingen:

1. De planeten bewegen zich in ellipsen met de zon in een der brandpunten. Dit is de eerste wet van Kepler.

2. De lijn r (Fig. 23) die de zon verbindt met een willekeurige plaats eener planeet heet een voerstraal; de figuur begrensd door twee voerstralen r en r' en den

daartusschen gelegen boog der ellips heet een perk.

De voerstraal doorloopt gelijke perken in gelijke tijden. Dit is de tweede wet van Kepler.

3. De afstand $A B$ tusschen de punten der ellips, die gelegen zijn op de lijn die de brandpunten verbindt, heet de groote as. De halve groote as eener planetenbaan zullen

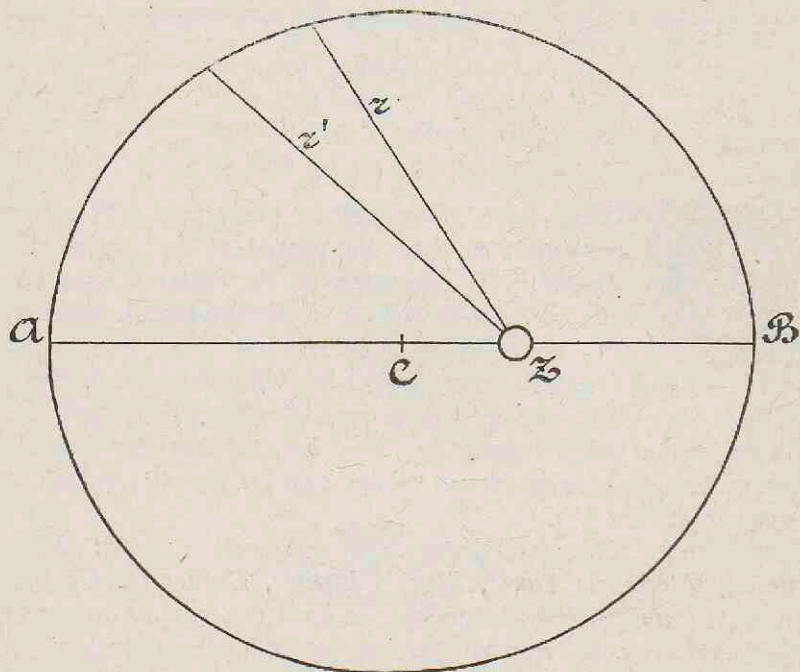


FIG. 23. ELLIPS MET BRANDPUNT Z EN VOERSTRALEN $R R'$.

wij den gemiddelden afstand der planeet van de zon noemen.

De tweede machten van de omlooptijden van de planeten zijn evenredig met de derde machten van hunne gemiddelde afstanden. Dit is de derde wet van Kepler.

4. De drie bovenstaande wetten zijn gevolgen van de door Newton (1643-1727) gevonden „wet der algemeene

aantrekking," luidende: Elk massadeeltje oefent op elk ander massadeeltje een aantrekkende kracht uit, die evenredig is aan het product hunner massa's en omgekeerd evenredig aan de tweede macht van hun afstand.

Zeer waarschijnlijk geldt deze wet ook buiten de grenzen van het zonnestelsel.

5. De bewegingszin is, van uit de zon beschouwd, voor alle planeten dezelfde, n.l. voor een beschouwer ten Noorden van de ecliptica tegengesteld aan die van de wijzers van een uurwerk.

6. De loopbanen der groote planeten zijn gelegen in vlakken die nagenoeg samenvallen met dat der ecliptica; de grootste „helling op de ecliptica" heeft het baanvlak van *Mercurius* ($7^{\circ} 0'$), de kleinste heeft dat van *Uranus* ($0^{\circ} 46'$); de hellingen der kleine planeten zijn meestal grooter, in twee gevallen 34° , in één geval zelfs 48° .

7. Deelt men den afstand CZ van het centrum eener ellips tot het brandpunt door zijn afstand CB tot het uiteinde der groote as, dan is door deze breuk de excentriciteit gegeven.

In Fig. 23 is dus $e = \frac{CZ}{CB} = \frac{c}{a}$ de excentriciteit. Van een cirkel ($CZ = 0$) is $ze = 0$, van een parabool ($CZ = CB =$ oneindig groot) is $ze = 1$.

De excentriciteiten der planetenbanen zijn als regel gering. Voor de groote planeten wisselt ze tusschen 0.206 (*Mercurius*) en 0.007 (*Venus*); voor de kleine planeten tusschen 0.412 en 0.011.

8. De zes eerstgenoemde planeten wentelen om haar as in hetzelfde vlak en in denzelfden zin als waarin haar beweging om de zon plaats heeft; de zon zelve wentelt eveneens in dezelfde richting om hare as. *Uranus* daarentegen wentelt in tegengestelden zin, terwijl van *Neptunus*, noch omtrent den stand der wentelingsas, noch omtrent den zin der wenteling iets met zekerheid bekend is.

9. De gemiddelde afstanden der planeten volgen niet een eenvoudige wet. Hunne verhoudingen tot den gemiddelden

Planeet	Wet van Titius	a	e	i	T in jaren	$2 R$	V	d	O
Mercurius	0.4	0.387	0.206	7° 0'	0.24	0.382	0.06	0.85	88 ^d
Venus	0.7	0.723	0.007	3 24	0.62	0.972	0.92	0.89	225 ^d
de Aarde	1.0	1.000	0.017	0 0	1.00	1.000	1.00	1.00	23 ^u 56 ^m 4 ^s
Mars	1.6	1.524	0.093	1 51	1.88	0.534	0.15	0.71	24 ^u 37 ^m 23 ^s
Jupiter	5.2	5.203	0.048	1 19	11.86	10.92	1309.	0.24	9 ^u 55 ^m
Saturnus	10.0	9.539	0.056	2 30	29.46	9.17	760.	0.13	10 ^u 14 ^m
Uranus	[19.6]	19.183	0.046	0 46	84.02	4.03	65.	0.22	10 ^u [45] ^m
Neptunus	[38.4]	30.055	0.009	1 47	164.78	4.39	85.	0.20	?

ELEMENTEN DER GROOTE PLANETEN.

afstand der Aarde zijn echter *vrijwel* te ontleenen aan de z. g. „wet van Titius” (1766): Tel bij de getallen 0, 3, 6, 12, 24 enz. 4 op. Deze wet voldeed echter reeds dadelijk slecht voor *Mercurius*, terwijl er op den gemiddelden afstand $24 + 4 = 28$ (Aarde = 10) geen planeet aanwezig was. Toen *Neptunus* ontdekt werd (1846) bleek zij ook voor deze niet te voldoen. Wilde men ze in een wiskundig beeld geven, dan zou men ze moeten schrijven als

$$a = 4 + 3 \times 2^{n-2} \text{ waarin } n = 1, 2, 3 \text{ enz.}$$

Alle afstanden, behalve die van *Mercurius*, zijn dan dezelfde als de wet van Titius ze geeft, maar nu verschilt de berekende plaats van *Mercurius* nog meer met de werkelijke.

Gemiddelde afstand (a), excentriciteit (c), helling (i) en omloopstijd (*periode*, T) zijn de voornaamste „elementen” eener planetenbaan. De bijgevoegde tabel geeft deze elementen, vereenigd met enkele bijzonderheden omtrent de planeten zelf, n. l. middellijn ($2R$), volume (V), dichtheid (d) en omwentelingstijd (O).

De in deze tabel opgenomen verhoudingsgetallen zijn gemakkelijk tot kilometers te herleiden met behulp van de elementen der Aarde: $a = 149.5$ miljoen KM. $R = 6378$ KM. (in het aequatorvlak; tusschen de polen gemeten is hij 22 KM. minder). Verder is voor de Aarde $d = 5.6$ maal de dichtheid van water.

Eene schematische voorstelling van de onderlinge ligging der planetenbanen is aan de hand der tabel gemakkelijk te ontwerpen. Is de middellijn van de aardbaan 1 cm., dan is op die schaal de afstand tot de dichtstbij zijnde ster ongeveer 3 KM.!

Wij zullen nu in het kort uit het bovenstaande eenige gevolgtrekkingen maken, die van belang zijn voor de waarnemingen aan den hemel met het ongewapende oog; wij zullen daarbij de Aarde afzonderlijk beschouwen en de planeten indeelen in twee natuurlijke groepen, die waarvan de gemiddelde afstand *kleiner* is dan die der Aarde, de

z. g. „binnenplaneten,” en die waarvan hij *grooter* is dan die der Aarde, de z. g. buitenplaneten.

A. De Aarde.

I. De uiteinden der groote as eener planetenbaan heeten het „*perihelium*” (B. in Fig. 23) en het „*aphelium*” ¹⁾. Uit metingen van de middellijn der zonneschijf, wanneer de Aarde zich in deze twee punten bevindt, kan men gemakkelijk de excentriciteit harer loopbaan afleiden. Bevindt de Aarde zich in haar perihelium, dan wordt de schijnbare middellijn der zon gemeten als $m_1 = 32' 36.''4 = 1956.''4$, bevindt zij zich in het aphelium harer baan, dan geeft deze meting tot uitkomst $m_2 = 31' 31.''8 = 1891.''8$. Deze getallen zijn omgekeerd evenredig met de afstanden a_1 en a_2 der zon. Uit Fig. 23 blijkt echter dat $a_1 = \bar{a} - c$ en $a_2 = \bar{a} + c$ is of, daar wij de breuk $\frac{c}{\bar{a}}$ als de excentriciteit hebben leeren kennen, $a_1 = \bar{a}(1 - e)$ en $a_2 = \bar{a}(1 + e)$.

Derhalve is

$$(1 + e) : (1 - e) = 1956.4 : 1891.8$$

waaruit door toepassing van de eigenschappen der evenredigheden gemakkelijk volgt:

$$e = \frac{32.3}{1924.1} = 0.01678 \text{ d. i. ongeveer } \frac{1}{60}.$$

II. Uit de elementen der loopbaan is gemakkelijk af te leiden dat de *gemiddelde* snelheid, waarmede de Aarde zich in haar baan voortbeweegt, ongeveer 30 (juister 29.7) KM. per seconde bedraagt. Ze is *grooter* dan het gemiddelde als de afstand tot de zon *kleiner*, en *kleiner* dan het gemiddelde als hij *grooter* is dan de gemiddelde afstand; de verschillen zijn krachtens de 2^{de} wet van Kepler percentsgewijze even groot als het bedrag der excentriciteit. Wij vonden hiervoor $\frac{1}{60}$ d. i. 1.7%; de uiterste snelheden wijken dan ook 1.7% van de gemiddelde af, d. i. 0.5 KM. per seconde. Daar de Aarde het perihelium harer baan onge-

¹⁾ περιή = in de nabijheid van; ἀπό = verwijderd van; ἥλιος = zon.

veer 1 Januari bereikt, legt zij dus wat voor ons de *winterhelft* der baan is met *grooter* snelheid af dan de *zomerhelft*. De zon komt dus in korter tijd van Libra naar Ariës, dan van Ariës naar Libra, het winterhalfjaar is voor ons korter dan het zomerhalfjaar. Het onderstaande voorbeeld moge dit verduidelijken:

De declinatie der zon was 0° op de volgende data:

Datum	J. D. 241	Duur van het Winterhalfjaar	Duur van het Zomerhalfjaar
1908 Maart 20,5	d 8021.5		d 186.4
Sept. 22,9	8207.9	d 178.8	
1909 Maart 20,7	8386.7		186.5
Sept. 23,2	8573.2	178.8	
1910 Maart 21,0	8752.0		186.4
Sept. 23,4	8938.4	178.8	
1911 Maart 21,2	9117.2		186.4
Sept. 23,7	9303.6		

De 2^{de} kolom bevat de herleiding der data tot dagen van een bepaalden cyclus, die het vinden van grootte tijdsverschillen vergemakkelijkt en waarover op blz. 113 nader gehandeld zal worden.

De bewoners van het Zuidelijk halfmond hebben dus een korteren zomer dan die van het Noordelijk halfmond, maar de Aarde ontvangt in dien tijd meer warmte van de zon omdat zij er dichterbij is, zoodat ten slotte toch de beide halfmonden elk in hun zomer een gelijke hoeveelheid warmte ontvangen. Het *temperatuursverschil* tusschen zomer en winter

is echter voor het Zuidelijk halfmond grooter dan voor het Noordelijk.

B. De binnenplaneten.

Wij zullen onderstellen dat in Fig. 24 de binnenste cirkel de loopbaan van *Venus*, de buitenste die der Aarde voorstelt; wij zullen *voorloopig* veronderstellen dat de Aarde zich in A_1

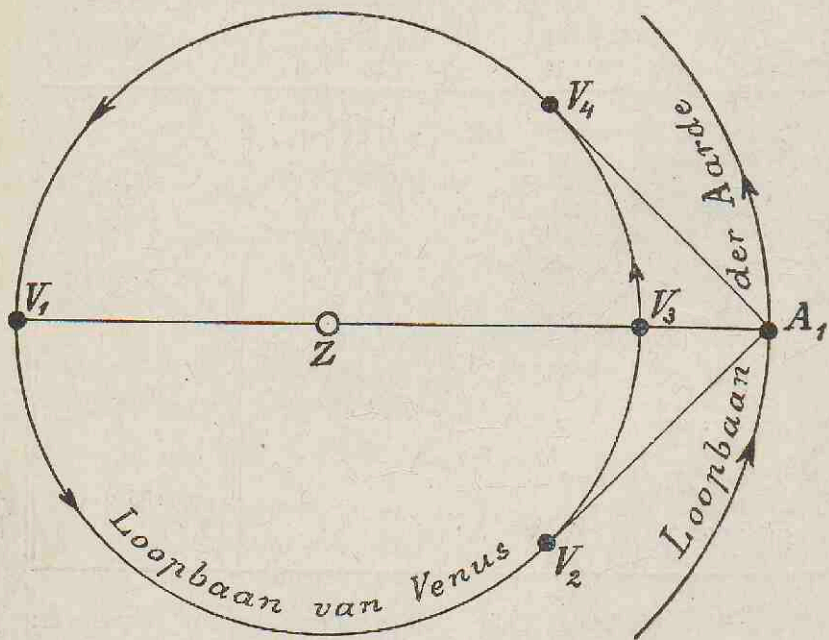


FIG. 24. LOOPBAAN VAN EEN BINNENPLANEET.

V_1 = bovenconjunctie; V_3 = benedenconjunctie; V_2 grootste Oostelijke-, V_4 grootste Westelijke elongatie.

in rust bevindt en de beide loopbanen in hetzelfde vlak gelegen zijn. Nu zullen wij de planeet *Venus* in haren loop volgens de pijlrichting gadeslaan, daarbij aanvangende met de plaats V_1 . Zij is dan onzichtbaar, want zij bevindt zich achter de zonneschijf, en ook de eerstvolgende dagen zal zij zóó dicht

daarbij staan, dat wij ze aan den helder verlichten hemel niet zullen kunnen opmerken. Maar naarmate zij haren loop vervolgt, wordt de hoek $Z A_1 V$, d. i. de afstand aan de sfeer, tusschen zon en planeet grooter en spoedig zullen wij, kort na zonsondergang, *Venus* boven den Westelijken horizon zien prijken. Zij is dan avondsster¹⁾. Zij wordt echter nooit een eigenlijke nachtster, want daarvoor zou zij zich steeds verder van de zon moeten begeven en nog boven den horizon zijn, nadat de nacht reeds ten volle was ingetreden. Dit nu is, althans op onze breedte onmogelijk, want als $A_1 V_2$ de raaklijn aan de loopbaan van *Venus* voorstelt, dan is het duidelijk dat de hoek $Z A_1 V$ nooit grooter kan worden dan $Z A_1 V_2$ d. i. ongeveer 47° . Wanneer dus de zon ondergaat staat *Venus* in het gunstigste geval op een boogafstand van 47° en haar ondergang volgt dus slechts 3 uur ($47 : 15$) later. Voor plaatsen dicht bij den evenaar is het dan volkomen donker, op onze breedte kan het volkomen donker zijn voordat *Venus* ondergaat, maar zij staat dan voor behoorlijke waarneming toch te laag boven den horizon. Is zij de plaats V_2 gepasseerd, dan wordt de hoek $Z A_1 V$ weer kleiner, wij zien aan den avondhemel de planeet op hare schreden terugkeeren, zij gaat de avondschemering tegemoet en ten slotte zal zij in de heldere stralen der zon onzichtbaar worden. In V_3 staat zij weer in dezelfde richting als deze, maar daarna zal de afstand $Z A_1 V$ weer grooter worden, hetgeen aan den hemel beteekent dat de planeet, die eerst van het Oosten de zon genaderd was, aan de Westzijde daarvan weder zichtbaar wordt. Dan gaat zij dus vroeger dan de zon onder en kan aan den avondhemel niet meer worden waargenomen; spoedig komt zij echter uit de *morgenschemering* te voorschijn en prijkt boven den Oostelijken horizon als morgensster²⁾. Ook als zoodanig kan zij zich echter nooit verder dan 47° van de zon verwijderen; na het bereiken der plaats V_4 keert zij terug, komt in V_1 weder in dezelfde

1) Bij de oude Grieken *Hesperus*.

2) Bij de oude Grieken *Fosforus*.

richting als de zon, en het spel herhaalt zich „ad infinitum.”

Hetzelfde geldt natuurlijk ook voor *Mercurius*; ook deze schittert nu eens als avondster (bij de oude Grieken als de planeet *Hermes*), dan weer als morgenster, (planeet *Apollo*), maar zij komt *nooit* uit de schemering te voorschijn; hare baan is zóó dicht om de zon gelegen dat de hoek Zon-Aarde-Mercurius gemiddeld niet grooter wordt dan 23° , en de omstandigheden voor hare waarneming aan den hemel slechts enkele malen per jaar gunstig zijn.

Aan de vier bovenbesproken bijzondere plaatsen van eene binnenplaneet heeft men bijzondere namen gegeven; de plaatsen V_1 en V_3 , waarin de planeet in dezelfde richting als — d. i. „in samenstand” met — de zon gezien wordt, heeten de *conjunctions*, en wel is V_1 de *boven-*, V_3 de *benedenconjunction* der planeet. De hoek $Z A_1 V$, een maat voor de „verwijdering” der planeet van de zon, heet de *elongatie*, en men zegt dat zij in V_2 hare grootste Oostelijke-, in V_4 hare grootste Westelijke elongatie bereikt.

Bij al de bovenstaande beschouwingen zijn wij intusschen van drie onjuiste onderstellingen uitgegaan. Vooreerst zijn de loopbanen der planeten geen cirkels, maar ellipsen, hetgeen ten gevolge heeft dat de grootste elongatie niet altijd hetzelfde bedrag heeft; voor *Venus* schommelt zij slechts ongeveer 1° ter weerszijden van het gemiddelde van 47° , voor *Mercurius* schommelt zij, door de grootere excentriciteit van haar baan ongeveer 5° ter weerszijden van de bovenvermelde waarde van 23° . Ten tweede echter bevindt de Aarde zich niet gedurende den geheelen omloop der binnenplaneet van V_1 tot V_1 in A_1 in rust, maar ook zij beweegt zich in haar baan in den door de pijlen aangegeven zin. De planeet komt dus niet in benedenconjunction, wanneer zij de helft van haren omloop volbracht heeft, maar *later*. *Venus* volbrengt haren loop in 225 dagen, haren halven omloop dus in 113 dagen; in dit tijdsverloop heeft de Aarde zich tot op aanzienlijken afstand van A_1 verwijderd. Zij legt n. l. in 365 dagen 360° af, in de genoemde 113 dagen

dus 111° , een voorsprong dien *Venus* slechts langzaam kan inhalen; zij legt per dag $1^\circ.6$ af, de Aarde nog niet ten volle 1° , zoodat zij per dag slechts $0^\circ.6$ op de Aarde wint en 185 dagen noodig heeft om de benoedigde 111° in te halen. De tijdsduur tusschen bovenconjunctie en benedenconjunctie bedraagt dus $113 + 185 = 298^d$. Een *nauwkeurige* berekening geeft hiervoor 292^d ; er verlopen dus tusschen twee opeenvolgende gelijknamige conjuncties 584 dagen. Deze periode heet de synodische ¹⁾ omloopstijd der planeet in tegenstelling met de tot dusverre beschouwde periode van 225 dagen, die de siderische omloopstijd genoemd wordt. Na een siderischen omloop heeft een planeet dezelfde positie ten opzichte van een vast punt aan de sfeer, na een synodischen omloop heeft ze deze ten opzichte van de Aarde.

De derde van onze foutieve onderstellingen was deze, dat de loopbanen van de planeet en van de Aarde in hetzelfde vlak gelegen zijn. Daar dit niet het geval is, moeten twee van onze resultaten gewijzigd worden. Wij zeiden dat in V_1 de planeet zich aan de sfeer achter, in V_3 vóór de zonneschijf bevinden zal; wanneer het vlak der planetenbaan echter niet samenvalt met dat der ecliptica, zal dit alleen gebeuren wanneer de beide hemellichten, planeet en Aarde zich ongeveer bevinden op de snijlijn der beide vlakken (zie hierover bldz. 179), maar in alle andere gevallen zal aan de sfeer de planeet zich bij hare conjuncties bevinden boven of onder de zonneschijf. En verder zeiden wij dat de avondster na het punt van grootste elongatie bereikt te hebben, aan de sfeer terugkeert langs *denzelfden weg* als waarlangs zij gekomen was; daar de baanvlakken niet samenvallen is ook *dit* niet juist; de planeet keert aan de sfeer langs een *anderen weg* terug. Ter illustratie hiervan geven wij in Fig. 25 een deel der schijnbare baan van *Venus* tijdens hare grootste Westelijke elongatie in het jaar 1902. Daar dergelijke figuren wel eens moeilijk zijn, zullen wij er iets langer bij stilstaan.

¹⁾ *σύν* = gezamenlijk *ὁδός* = weg.

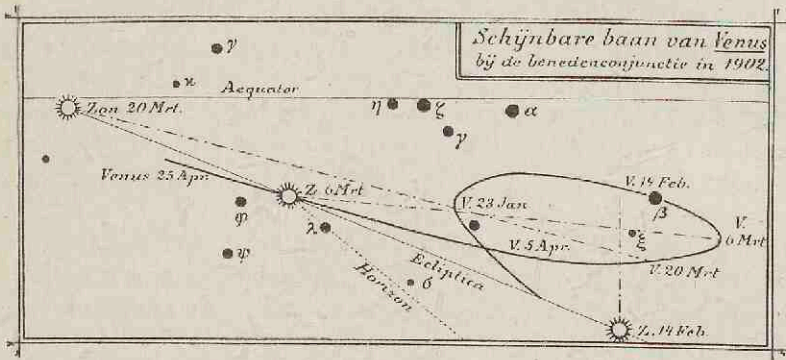


FIG. 25.

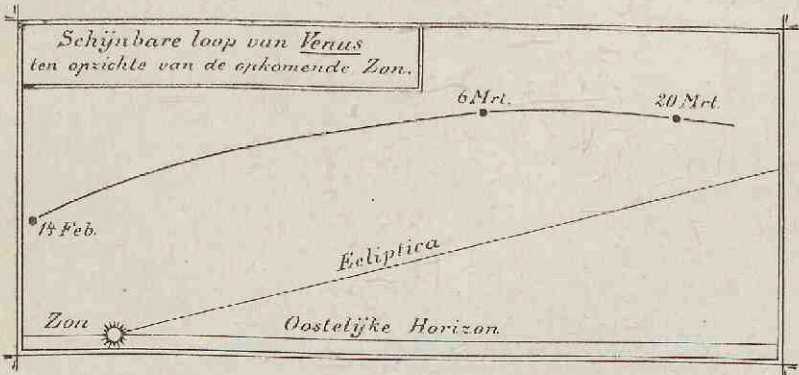


FIG. 26.

De lus die wij hier in de baan van *Venus* aanschouwen, ontstaat doordat wij bij de vastlegging van onze coördinaten de Aarde als middelpunt der sfeer beschouwd hebben; het zijn z.g. „geocentrische coördinaten waarnaar onze kaarten ontworpen zijn. Beschouwen wij echter de zon als middelpunt der sfeer, dan kunnen wij ook in deze laatste de hemellichten door hun lengte en breedte bepalen; deze coördinaten heeten dan heliocentrisch. Hadden wij nu de kaarten ontworpen naar heliocentrische lengte en breedte en dan de opvolgende plaatsen van *Venus* afgezet, dan zou hare baan geen lus vertoonen. *De heliocentrische lengte van alle planeten neemt gestadig toe, de rechte klimming (en de geocentrische lengte) niet.*¹⁾ Uit Fig. 25 blijkt dat als *Venus* bij benedenconjunctie van Oost naar West de zon voorbij loopt, zij dit ook doet ten opzichte van een ster; daar tevens de declinatie verandert ontstaat de lus. De plaatsen ter weerszijden der benedenconjunctie (14 Febr.) waar de verandering van rechte klimming een andere richting neemt, heeten de „stationaire punten.” Deze werden blijkbaar in 1902 bereikt op 23 Januari en 6 Maart. Leest men dus in een almanak dat op een bepaalden datum *Venus* stationair is, dan is daarmee stilzwijgend bedoeld: „ten opzichte van de sterren,” niet „ten opzichte van de zon.” Willen wij uit Fig. 25 afleiden hoe wij de beweging van *Venus* aanschouwen ten opzichte van de opkomende zon, dan moeten wij in de sterrekaart eerst de plaatsen der zon aanteekenen. Wij hebben dit gedaan voor de data 14 Febr. (benedenconjunctie), 6 Maart (*Venus* stationair) en 20 Maart (*Venus* in grootste helderheid). Zoo ontstaat in de kaart de schijnbare baan der zon. Gemakshalve zullen wij nu onderstellen dat deze op de drie data in hetzelfde punt van den horizon opkomt, en dezen laatsten aangeven door gebruik te maken van het feit dat hij met den aequator een hoek maakt van

¹⁾ De voerstraal Zon-planeet draait steeds in denzelfden zin, de voerstraal Aarde-planeet niet.

38° ($90^\circ - \varphi$). Fig. 26 geeft dan ten slotte ongeveer aan hoe het schouwspel zich aan den morgenhemel voordoet telkens als de zon opkomt; de richtingen zijn dezelfde als in Fig. 25 maar alle verschoven naar één enkele zonneplaats, terwijl de horizon als horizontale lijn is aangegeven. Wij zien uit deze laatste figuur, dat *Venus*, toen zij 20 Maart hare grootste helderheid had, zich in de schemering op geringe hoogte (ongeveer 15°) boven den horizon vertoonde, dat de omstandigheden voor de waarneming dus niet gunstig waren; dit werd er, naarmate de grootste Westelijke elongatie naderde niet beter op; deze werd bereikt op 25 April, toen de zon reeds een Noorderdeclinatie van 13° bereikt had, terwijl de declinatie van *Venus* 5° Zuid was. *Venus* kwam toen op te 3^{u.} 30^{m.} in den morgen, de zon te 4^{u.} 50^{m.}, en wie, zonder voorafgaande bestudeering der omstandigheden gewacht zou hebben op het bereiken der grootste Westelijke elongatie, teneinde *Venus* tegen een zoo donker mogelijken achtergrond te bewonderen, zou bedrogen zijn uitgekomen.

Het behoeft geen nader betoog, dat in bovenconjunctie de schijf eener binnenplaneet zoo klein mogelijk, in benedenconjunctie daarentegen zoo groot mogelijk wordt gezien; de afstand tot de Aarde is in het laatste geval vele malen

kleiner, voor *Venus* $\frac{1 + 0.7}{1 - 0.7} = 6$ maal kleiner. Deze verhouding

vindt men terug in die der uiterste schijnbare middellijnen; ze zijn voor *Venus* 11" en 67", voor *Mercurius* 5" en 13".

Bovendien zien wij de planeet in bovenconjunctie als een geheel verlichte, in benedenconjunctie als een niet verlichte, in de tusschengelegen plaatsen als een gedeeltelijk verlichte, in de plaatsen van grootste elongatie als een half verlichte schijf. Zij vertoont, evenals de maan „schijngestalten” (fasen). Zie Fig. 27. Van de fase en van den afstand tot de Aarde hangt de helderheid af, waarmede de planeet zich aan ons vertoont, de z. g. „schijnbare helderheid.” Kleiner worden van den afstand doet de schijnbare helderheid snel toenemen, maar tegelijkertijd werkt het kleiner worden der fase ongunstig en het is niet gemakkelijk zonder

eenigszins uitvoerige berekeningen aan te geven, in welk punt harer baan wij de planeet zoo helder mogelijk zullen zien. Voor *Venus* is de schijnbare helderheid het grootst als de fase ongeveer 0.3 is; de middellijn der schijf is dan ongeveer $40''$. Dit tijdstip valt dus voor de avondster later, voor de morgenster vroeger dan dat van grootste elongatie. De onderstaande tabel moge dit nog verduidelijken; zij

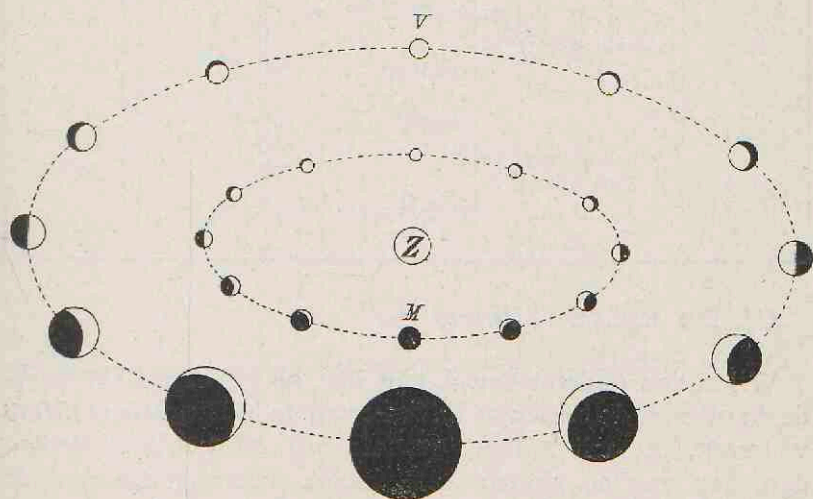


FIG. 27. SCHIJNGESTALTEN DER BINNENPLANETEN

geeft tevens in de laatste kolom het aantal dagen (T) dat verloopt tusschen het bereiken der plaatsen van grootste helderheid. Deze kolom leert nog eens, dat wie den loop van *Venus* aan den hemel wil bestudeeren, de gelegenheid moet aangrijpen zoodra deze zich voordoet; verzuiimt hij de enkele gunstige maanden, dan is hij verplicht meer dan een jaar te wachten vóórdát het schoone schouwspel zich wederom komt afspelen.

Jaar	Grootste elongatie	Grootste helderheid	Beneden-conjunctie	T
1911	7 Juli 45° 29' O	10 Aug. fase 0.26	15 Sept.	} 73 d
		22 Oct. „ 0.27		
1913	25 Nov. 46° 45' W 12 Febr. 46° 43' O	19 Maart „ 0.28	24 April	} 513 d
		30 Mei „ 0.27		
1914	3 Juli 45° 44' W 17 Sept. 46° 27' O	23 October „ 0.26		} 72 d
				} 509 d

C. De Buitenplaneten.

Wij zullen onderstellen dat in Fig. 28 de binnenste cirkel de Aardbaan, de buitenste de baan van de buitenplaneet *Mars* voorstelt, en wij zullen, evenals wij dit zoeven deden, den loop van de planeet bestudeeren aanvangende met de positie M_1 ; zij staat daar in „conjunction” met de zon; een nadere omschrijving daarvan is niet noodig, want in geen enkel ander punt harer baan staat zij, zooals een binnenplaneet, ten tweede male in dezelfde richting als de zon. De hoek ZA_1M de „elongatie,” heeft geen bovenste grens, voor M_2 is ze 90° , voor M_3 zelfs 180° geworden; de planeet staat daar in *teggengestelde richting* als de zon, zij staat in „oppositie.” Een buitenplaneet blijft dus niet in de schemering vertoeven, maar gaat vanuit M_1 gestadig aan den nacht tegemoet, daarbij tevens de Aarde naderende. In oppositie staat zij te middernacht in het Zuiden, (immers de zon staat dan in het Noorden) en op den kleinsten afstand, men ziet haar niet den geheelen afgelegden weg aan de sfeer weder terugkeeren, zij nadert de zon niet beurtelings

van het Oosten en van het Westen komende, maar altijd komt zij in het Oosten uit de ochtendschemering te voorschijn en wordt in het Westen in de avondschemering onzichtbaar. In tegenstelling met de beweging eener binnenplaneet, waarbij het bereiken der bijzondere plaatsen en het verschijnen en verdwijnen in de schemering in hoofdzaak aan den loop *der planeet* te wijten is, is dit *nu* in hoofdzaak

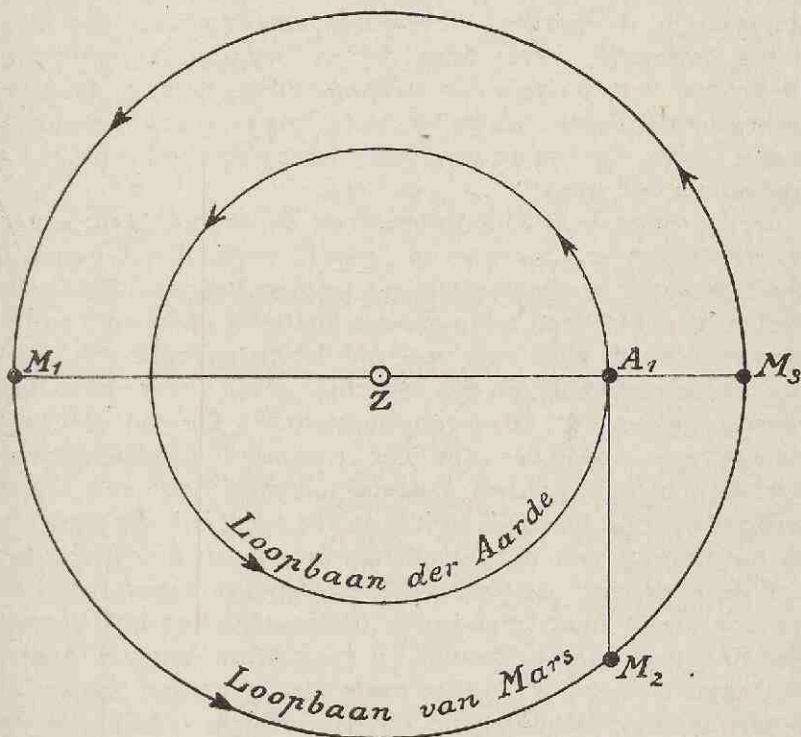


FIG. 28. LOOPBAAN VAN EEN BUITENPLANEET.

M_1 = conjunctie; M_3 = oppositie.

het gevolg van den loop *der Aarde*. Deze bevindt zich in A_1 niet alleen niet in rust, maar zij doorloopt haar baan nu in korter tijd dan de planeet, haalt deze in en plaatst zich op een gegeven oogenblik tusschen haar en de zon. Als

Venus in benedenconjunctie komt is dit in hoofdzaak een handeling van *Venus* zelf, als *Mars* in oppositie komt is dit in hoofdzaak een handeling van de *Aarde*. Dit is deste meer het geval, naarmate de afstand der planeet grooter en hare schijnbare beweging dus kleiner is. *Neptunus* bijv. volbrengt haar omloop in 164 jaar; zij verplaatst zich dus schijnbaar zeer langzaam tusschen de sterren, bevindt zich reeds sedert 12 jaar in het sterrenbeeld de *Tweelingen*, komt dus in de morgen- en avondschemering niet door hare eigen beweging, maar door het in het Eerste hoofdstuk besproken verschuiven der sterrenbeelden, d. w. z. door de beweging der *Aarde*. Hetzelfde geldt, hoewel reeds in mindere mate, voor *Uranus* en voor alle buitenplaneten, voor *Mars* natuurlijk het minst.

De gunstige omstandigheden voor de bestudeering eener buitenplaneet zijn eveneens geheel verschillend van die welke wij voor een binnenplaneet leerden kennen. De fasen spelen hier, ofschoon zij in geringe mate bij *Mars* en *Jupiter* waarneembaar zijn, een veel minder belangrijke rol, daar nu kleinste afstand en vol verlichte schijf voor hetzelfde tijdstip gelden, n.l. dat van oppositie.¹⁾ De tijd die tusschen twee opposities (in het algemeen tusschen twee overeenkomstige posities t. o. v. de *Aarde*) verloopt, heet ook nu weer de synodische omloopstijd der planeet; in aansluiting aan het bovenstaande zal het duidelijk zijn, dat hoe grooter de gemiddelde afstand eener planeet is, hoe meer haar synodische omloopstijd tot het bedrag van één jaar nadert. Terwijl hij voor *Mars* nog 780 dagen bedraagt, is hij voor *Jupiter* reeds niet meer dan 399, voor *Saturnus* nog slechts 378 dagen. Het is uitsluitend de planeet *Mars* welke wij snel de verschillende sterrenbeelden zien doorloopen.

Zooals reeds gezegd, bestaat de normale toestand hierin dat een buitenplaneet zich met de sterren losmaakt uit de

1) Door de excentriciteit der banen zijn niet alle opposities even gunstig.

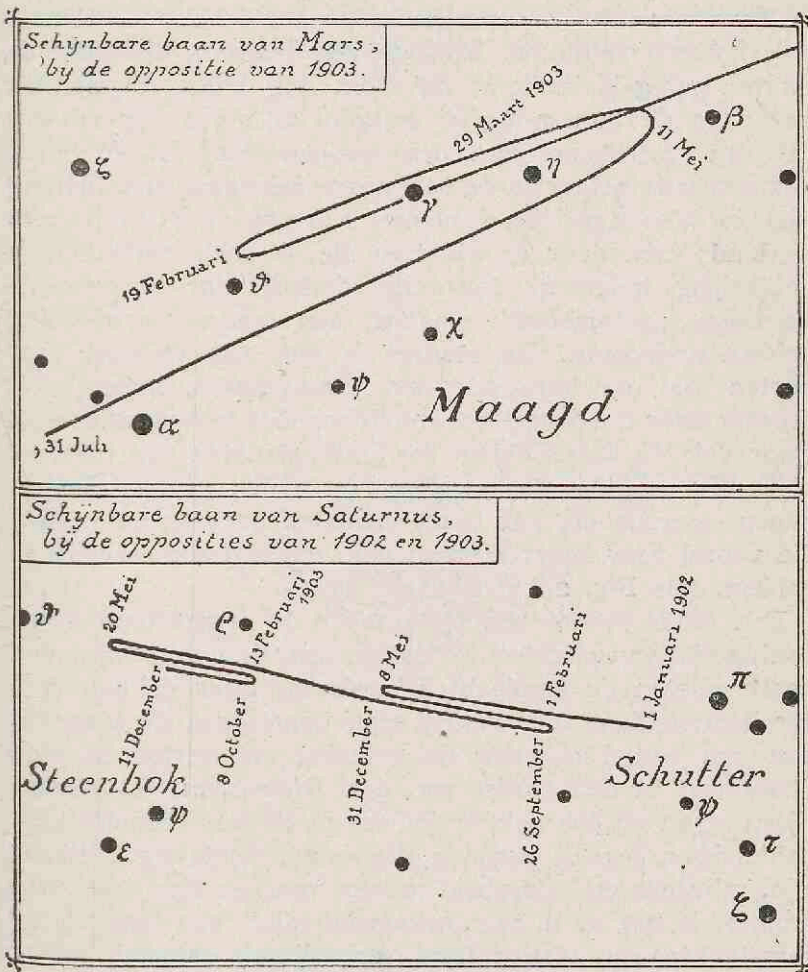


FIG. 29. BOCHTEN EN LUSSEN IN DE SCHIJNBARE BANEN DER BUITENPLANETEN.

ochtendschemering, *maar niet zoo snel als deze*, want zij behoudt hare Oostwaartsche beweging tusschen de sterren. In deze normale omstandigheden zegt men dat de planeet *rechtlopend* is. Volgens een uurwerk dat naar de sterren geregeld is, komt zij elken dag later, volgens een dat naar de zon geregeld is komt zij elken dag vroeger in den meridiaan dan den vorigen dag. In de buurt der oppositie echter is de schijnbare beweging een tijdlang *naar het Westen* gericht; de planeet is dan *teruglopend*. Verbindt men daar de plaatsen die de beide hemellichten gelijktijdig innemen, dan blijkt dadelijk dat de overeenkomstige „schijnbare” plaatsen een nummervervisseling hebben ondergaan. De planeet is dus aan de sfeer voor korten tijd op hare schreden teruggekeerd, maar heeft spoedig haar Oostwaartsche, rechtlopende beweging hervat. Daar ook de baanvlakken der buitenplaneten niet met het vlak der ecliptica samenvallen, vertoonen hun schijnbare banen, evenals die der binnenplaneten bochten en lussen, die vooral voor *Mars* dikwijls een vrij ingewikkeld verloop hebben. (zie Fig. 29)

Een enkel woord ten slotte over de samenstanden, de conjuncties van planeten ondeeling, daar deze verschijningen nooit nalaten de aandacht te trekken. Daar de hellingen der baanvlakken zeer gering zijn, doorloopen de planeten aan den hemel *ongeveer* de ecliptica, zij vertoonen zich uitsluitend in den gordel van den *Dierenriem*. Op gezette tijden staan zij dus ook schijnbaar in elkaars onmiddellijke nabijheid en daar de planeten, die voor 't bloote oog zichtbaar zijn, minstens de helderheid hebben van een ster der eerste grootte, is het a. h. w. „gekoppeld zijn” van twee zulke hemellichten een uiterst fraai verschijnsel, dat zich sedert de vroegste tijden in groote belangstelling heeft mogen verheugen. Zoo zullen in het jaar 1913 de planeten *Venus* en *Saturnus* op 21 Juli, *Mars* en *Saturnus* op 24 Augustus in conjunctie zijn; de afstand is echter in beide gevallen vrij groot, meer dan 1° . Hij kan echter ook 0° bedragen: zoo zag men in Australië den 6^{den} Februari 1892 de planeten

Venus en *Jupiter* precies op dezelfde plek aan den hemel. Zij schitterden tezamen als één vurige bol en gedurende drie kwartier kon men zelfs met behulp van een zeer goeden tooneelkijker niet bemerken dat zij twee hemellichten waren.



VI TIJD- EN KALENDERREGELING

HET is van algemeene bekendheid dat de omwentelingstijd der aarde om hare as het fundament is waarop onze tijd-, en de omloopstijden van maan en aarde de fundamenten zijn waarop onze kalenderregeling rust. Zij moeten daarop echter *kunstmatig* rusten, ten einde niet met de maatschappelijke orde, ten behoeve waarvan zij in eersten aanleg noodig zijn, in botsing te komen. Het begrip *tijd* houdt in zich het begrip *regelmaat* en nu is de aswenteling der aarde wel volkomen regelmatig, maar wij zoeken tevergeefs naar een weerspiegeling daarvan aan den hemel. Wij vinden daar alleen als een ruwe weerspiegeling van onze aswenteling de schijnbare dagelijksche beweging van *de zon*. Deze beweging is echter *niet* regelmatig, d.w.z. wanneer men met een regelmatig loopend uurwerk nagaat wanneer de zon in den meridiaan staat, dan liggen de afgelezen tijdstippen ongelijke bedragen uiteen. Dit vindt zijn oorzaak zoowel in de omstandigheid dat de loopbaan der aarde geen cirkel is en hare snelheid daardoor nieteenparig, als in het feit, dat de zon zich niet bevindt in het vlak dat loodrecht staat op de wentelingsas der aarde (het aequatorvlak). Het eerste behoeft aan de hand van bldz. 84 nauwelijks nadere toelichting; als de snelheid der aarde in haar baan veranderlijk is, heeft ook de dagelijksche Oostelijke verplaatsing van de zon aan den hemel telkens een ander bedrag,

waardoor de regelmaat in de meridiaansdoorgangen verloren gaat. Het tweede heeft echter een nadere verklaring noodig. De regelmatige aswenteling der aarde¹⁾ is de *eenige* beweging waaraan men voor een tijndeeling een onmiddellijk hoüvast heeft, ja, wanneer de hemelaequator zichtbaar ware als een in uren en minuten verdeelde strook, waarlangs zich het uiteinde bewoog van een door het middelpunt der aarde gaanden en in den aequator gelegen wijzer, dan zou niemand op aarde een uurwerk meer noodig hebben. De ideaal moeder-klok kon ze alle vervangen. Maar noch haar wijzerband noch haar wijzer zijn zichtbaar en het eenige zichtbare dat men bezit, n.l. de zon, die als zij altijd in den

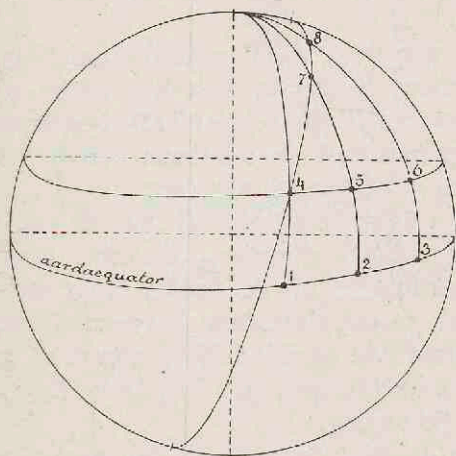


FIG 30.

aequator stond een zeer bruikbare wijzerpunt zijn zou, staat telkens op andere afstanden daarvan en wordt hierdoor voor het beoogde doel onbruikbaar. Regelmatige draaiing der aarde beteekent immers dat als op drie even ver uiteen liggende tijdstippen drie harer meridianen (Fig. 30) hetzelfde vaste punt passeeren, de afstanden 1-2 en 2-3, 4-5 en 5-6enz. *gelijk* zijn, de afstanden 4-7 en 7-8 echter onge-

lijk. De beweging der zon, die de ecliptica doorloopt, kan dus geen aanleiding geven tot een regelmatige tijndeeling. Daarvoor komt, behalve een ster, alleen in aanmerking een hemellicht dat met *eenparige snelheid* den aequator doorloopt; daar een dergelijk hemellicht niet aanwezig is, zoo heeft men zich moeten behelpen met een *denkbeeldig* hemellicht en

1) de omwentelingsduur moet tot op 0.01 sec. dezelfde zijn als in den tijd van Ptolemaeus.

alle uurwerken hiernaar moeten regelen. Voor onze tijdsaandrijvingen geldt dus nog wel de hemelaequator als wijzerstrook, doch de wijzer is fictief, een denkbeeldige (z. g. „middelbare”) zon die met eenparige snelheid schijnbaar den aequator doorloopt. De tijd die verloopt tusschen twee opvolgende meridiaansdoorgangen van deze middelbare zon heet een *middelbare zonnedaag*. Men verdeelt hem in 24 uren middelbaren tijd (M.T.), den dag aanvangende op den middag, dus bij de *bovenculminatie* der middelbare zon, en telt de uren van 0 tot 24 door. De z. g. „*burgerlijke tijd*” is eveneens middelbare tijd, met dien verstande, dat de dag aanvangt te middernacht, bij de *voorafgaande onderculminatie* der middelbare zon en men de uren tweemaal van 0 tot 12 telt. ¹⁾

Zooals reeds gezegd, verschilt deze regelmatige tijdsindeeling telkens met andere bedragen van die welke de beweging der ware zon, de *ware tijd* (W.T.) geeft. De bedragen zijn klein, kleiner dan 17 minuten en ontstaan zooals wij zagen uit de samenwerking van twee invloeden:

1° het verschil, ontstaan door de ellipticiteit van de aardbaan. Dit bedraagt hoogstens 8 minuten. De zon staat ongeveer op 1 Januari het dichtst bij de aarde, loopt daar dus met grootere snelheid, wordt dus door het wentelende meridiaanvlak *later* ingehaald dan de middelbare zon d. w. z. de ware zonnedaag is op 1 Januari langer, op 1 Juli daarentegen korter dan de middelbare zonnedaag.

2° het verschil ontstaan doordat de zon niet den aequator doorloopt. Hierdoor ligt bijv. het midden A van $\mathcal{V}^{\circ} Q$ (zie Fig. 31) niet in denzelfden uircirkel als het midden A' van $\mathcal{V}^{\circ} q$; wanneer dus a. h. w. in \mathcal{V}° de ware zon en de middelbare zon gelijktijdig vertrokken met dezelfde eenparige snelheid, dan zouden zij gelijktijdig aan het einde van een boog van 45° gekomen zijn, maar daar zou de ware zon eerder in den meridiaan komen en wel een bedrag dat overeenkomt met

¹⁾ Zoo had de zonsverduistering van 17 April 1912 astronomisch gesproken plaats op 16 en 17 April.

bg $A_1 A$. Na drie maanden echter komen zij gelijktijdig aan het einde eener boog van 90° d. i. in q en Q , maar daar is hun uurhoek dezelfde en zij zouden gelijktijdig den meridiaan passeeren.

Het verschil bedraagt in maximo (viermaal per jaar) ongeveer 10 minuten.

Het totaalbedrag der sub 1° en 2° besproken invloeden heet de tijdvereffening. Ze is het verschil tusschen

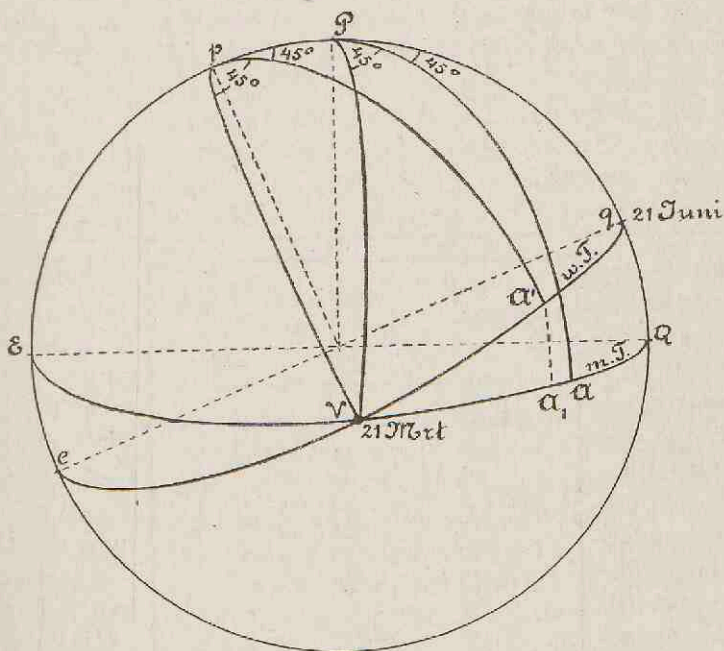


FIG. 31. M.T. EN W.T.

Middelbaren tijd en Waren tijd, en dus *positief* te rekenen als de middelbare klok bij de ware vóór loopt en *negatief* in het tegenovergestelde geval. Onderstaande tabel geeft de gemiddelde waarde der tijdvereffening voor elke 10 dagen van een jaar, gemiddeld omdat ze niet voor elken zelfden datum van verschillende jaren hetzelfde bedrag heeft.

Datum	Tijdvereff. M. T. — W. T.	Max. fout	Datum	Tijdvereff. M. T. — W. T.	Max. fout
Jan. 1	+ 3 ^m 22 ^s	12 ^s	Mei 1	- 2 ^m 55 ^s	4 ^s
11	+ 7 48	10	11	- 3 45	1
21	+ 11 17	7	21	- 3 39	3
31	+ 13 31	5	31	- 2 38	3
Febr. 10	+ 14 24	1	Juni 10	- 1 57	5
20	+ 14 0	3	20	+ 1 9	5
Maart 2	+ 12 26	5	30	+ 3 16	5
12	+ 10 3	7	Juli 10	+ 5 1	4
22	+ 7 10	7	20	+ 6 5	2
April 1	+ 4 7	8	30	+ 6 15	1
11	+ 1 14	7	Aug. 9	+ 5 25	4
21	- 1 12	5	19	+ 3 38	5
			29	+ 1 1	8

Dit is een gevolg van de hierna te bespreken kalenderregeling, die een vierjaarlijkse periode in de waarden op gelijke data doet ontstaan. De getallen in de tabel zijn dan ook verkregen door het

Datum	Tijdvereff. M T — W T	Max. fout
Sept. 8	- 2 ^m 10 ^s	9 ^s
18	- 5 40	9
28	- 9 8	8
Oct. 8	- 12 15	7
18	- 14 40	5
28	- 16 5	3
Nov. 7	- 16 15	2
17	- 15 3	5
27	- 12 27	9
Dec. 7	- 8 40	10
17	- 4 2	12
27	+ 0 56	12

gemiddelde te nemen over 8 opeenvolgende jaren, terwijl in de 3^{de} kolom de fout is aangegeven, die men door het gebruiken van het in de 2^{de} kolom aangegeven bedrag in maximo maken kan.

De tijdvereffening is natuurlijk altijd bemerkbaar voor wie zijn uurwerken kan vergelijken met een gewonen zonnwijzer die uit den aard der zaak *waren tijd geeft*.¹⁾ Voor

¹⁾ In de laatste jaren zijn er onder de namen „*heli*-*chronometer*,” „*zonne-chronometer van Ferguson*” e. a. ook zonnwijzers in den handel gebracht

wie op deze wijze het verschil tusschen M.T. en W.T. niet kan nagaan, is de tijdvereffening alleen te bemerken wanneer zij, in het begin van Januari en in het begin van October, snel naar haar maximum bedrag toeloopt. Terwijl toch 27 Dec. ons uurwerk nog nagenoeg met de zon gelijk loopt, gaat het begin Januari snel vóór loopen, wijst 31 Januari in den namiddag bijv. $5^u 13^m$ aan, terwijl het volgens de zon pas $5^u 0^m$ is; daardoor wordt een *schijnbaar lengen* der dagen teweeggebracht, dat, gevoegd bij het werkelijk langer worden, en als contrast met de laatste Decemberdagen, een opvallenden indruk maakt, die elk jaar opnieuw tot verrassingen aanleiding geeft. Natuurlijk werkt dit verschijnsel bij zonsopkomst in tegengestelden zin, terwijl in het begin van October een opvallend snel korten der dagen is op te merken.

Het regelen van onzen tijd *naar de zon* (zij het dan ook een denkbeeldige) is, zooals wij reeds op bldz. 8 zagen, oorzaak dat ons meridiaanvlak telkens na 24 uur wel door de zon, maar niet door dezelfde ster gaat, omdat wij van de eerste een beweging ten opzichte van de laatste waarnemen van ongeveer 1° per dag (360° in 365 dagen). Fig. 32 moge dit thans nader toelichten: de aarde moge zich op zekeren dag op een bepaald oogenblik in het punt M_1 harer baan bevinden en het meridiaanvlak eener waarnemingsplaats gaan door de zon (Z) en tevens door een ster (S). Het meridiaanvlak heeft echter twee bewegingen. Vooreerst draait het om PP' als as, tengevolge waarvan het zich steeds verder van S en Z verwijderd (de positie PBP' beteekent: o n d e r g a n g van S en Z) en 2° beweegt het zich als deel van de aarde met deze in haar baan in de richting M_1M_2 , waardoor M_2Z een *andere* richting is dan M_1Z . De beide richtingen M_1S en M_2S loopen echter, daar S zich bevindt op een afstand, dien wij practisch oneindig groot kunnen noemen, *evenwijdig* aan elkaar. Het om PP' wentelende meridiaanvlak bereikt dus in den

die middelbaren tijd geven door het mechanisch in rekening brengen der tijdvereffening.

2den stand der aarde eerst (PCP') de ster S en even later (PDP') pas de zon Z. De tijd verloop en tusschen twee culminaties der zon is dus grooter dan die, verloop en tusschen twee culminaties der ster. Ditzelfde geldt voor elk zichtbaar of onzichtbaar punt aan de sfeer, mits het niet de projectie zij van een hemellicht op „eindigen" afstand, dus ook voor het

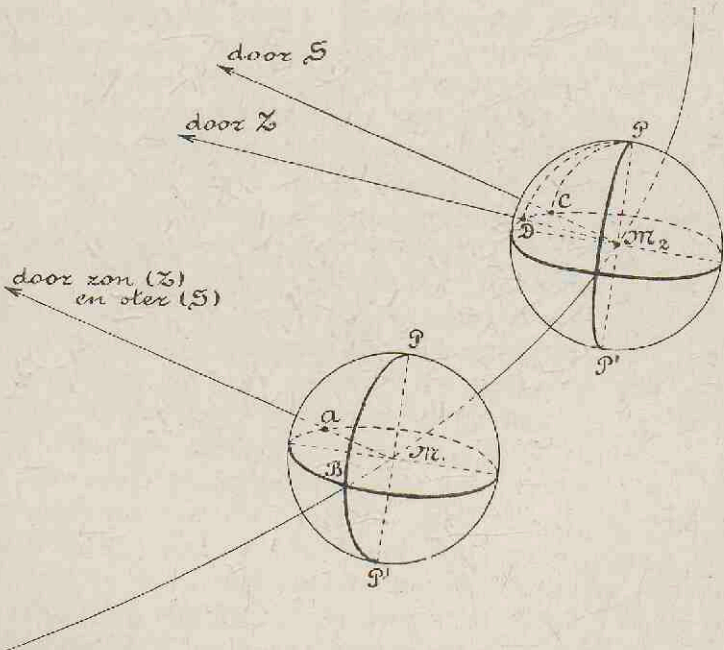


FIG. 32. M.T. EN S.T.

onzichtbare Lentepunt φ , snijpunt van aequator en ecliptica en het is ten opzichte van dit punt dat men het begrip sterretijd (S.T.) heeft ingevoerd. Sterretijd is een tijd, aangewezen door een uurwerk dat zóó geregeld is, dat het $0^u 0^m 0^s$ aanwijst telkens als het punt φ in den meridiaan staat. Hij is dus de *uurhoek van Ariës*; is het 3 u. M.T. dan is de middelbare zon —, is het 3 u. S.T. dan is het punt φ drie uur geleden den meridiaan gepasseerd.

De tijd verlopen tusschen twee opvolgende culminaties van γ heeteen sterredag; de lengte daarvan is gemakkelijk na te gaan. Uit Fig. 32 toch blijkt dat als de aarde een halven omloop heeft volbracht, S en Z diametraal tegenover elkaar staan, het meridiaanvlak dus een halven dag door moet wentelen om van S in Z te komen. Een half zonnejaar telt dus $\frac{1}{2}$ dag S.T. meer dan M.T., een vol jaar dus 1 dag S.T. meer dan M.T. of $365\frac{1}{4}$ dagen M.T. = $366\frac{1}{4}$ dagen S.T.

$$1 \text{ dag} = 24^u 0^m 0^s \text{ M.T.} = 24^u 3^m 56^s.6 \text{ S.T.}$$

$$23^u 56^m 4^s.1 \text{ M.T.} = 24^u 0^m 0^s \text{ S.T.}$$

Een willekeurig interval M.T. wordt door vermenigvuldiging met 1.00274 tot hetzelfde interval S.T. herleid.

Fig. 32 leert ons nog iets; wanneer in den stand M_2 der aarde de ster volgens ons horloge vroeger door den meridiaan is gegaan dan in den stand M_1 , dan is ze ook vroeger opgekomen; is de afstand $M_1 M_2$ een volle dag, dan is ze $3^m 56^s$ (ruwweg 4^m) vroeger opgekomen.

Alle sterren komen dus elken dag 4 min. vroeger in den meridiaan dan den vorigen dag; alle niet-circumpolaire sterren komen tevens elken dag 4 min. vroeger op en gaan 4 min. vroeger onder dan den vorigen dag. Dit lijkt een klein bedrag, maar het hoopt zich met den tijd op; een ster die op 1 April 's avonds 8 u. opkomt, is 1 Mei op hetzelfde uur reeds 2 uur op en aan de kim staan dan weder geheel andere sterren. Zoo verschuift gestadig het hemelgewelf, omdat onze, door de zon veroorzaakte nachten, zich telkens richten naar andere punten van de sfeer, en de snelheid waarmede dit geschiedt, blijft vooral na tijden van langdurige bewolking altijd opvallen.

Evenals die van den M.T. heeft ook de wijzer van den S.T. een regelmatige beweging, ¹⁾ zoodat men een uurwerk ook naar sterretijd kan regelen; elke sterrenwacht bezit

¹⁾ De verschuiving van γ tengevolge der praecessiebeweging, geschiedt voldoende regelmatig om de opvolgende sterredagen tot op 0.001 sec. aan elkander gelijk te maken.

minstens één goed uurwerk dat dezen tijd aanwijst en waarvan de correctie periodiek (bijv. om de 7 à 10 dagen) door waarnemingen aan den hemel bepaald wordt. De formule van bldz. 24 is ons een aanwijzing hoe deze waarnemingen moeten worden ingericht. Wij kunnen daarin nu de benaming „uurhoek \mathcal{V} ” vervangen door S.T. en onze waarnemingen verrichten *in den meridiaan*; de uurhoek van het hemellicht is dan nul en de formule neemt den eenvoudigen vorm aan

S.T. = rechte klimming van het hemellicht, waaruit wij dadelijk zien kunnen welke onze waarneming zijn zal. In een in den meridiaan opgestelden kijker constateert men bij welke aanwijzing van de pendule die sterretijd aanwijst, een ster den meridiaan passeert en aangezien op dat oogenblik de sterretijd uit de bekende rechte klimming der ster volgt, zoo is het verschil van deze en de aanwijzing der pendule de gezochte correctie. Fig. 33 vertoont een hier beschreven waarneming aan den meridiaankijker der Utrechtsche sterrenwacht. (Zie ook bldz. 122). In de practijk neemt men op deze wijze den doorgang van een aantal sterren waar bij verschillende standen van het instrument, om de fouten in zijn opstelling zoo onschadelijk mogelijk te maken.

Zoo verkrijgt men aan een sterrenwacht dus in eersten aanleg de correctie van de S.T.-pendule, en daarna uit vergelijking der beide pendules (S.T. en M.T.) den juisten middelbaren tijd op elk gewild oogenblik, en deze wordt telegrafisch over het geheele land verspreid. Hij ondergaat daarbij nog eene herleiding tot den door de Regeering ingevoerd „officieelen” tijd, waardoor verkregen wordt dat niet alle plaatsen den tijd naar hun eigen, maar naar éénzelfden meridiaan rekenen. Deze is voor Nederland de meridiaan van Amsterdam. Vele andere landen hebben een verdeeling van het aardoppervlak in bepaalde lengtezônes aanvaard, waarvan elk voor zich éénzelfden meridiaan heeft aangenomen, die met dien van de naastliggende zône een vol uur of een vol half uur verschilt. Als nul-meridiaan wordt daarbij die van Greenwich gebruikt. De tijd naar dezen

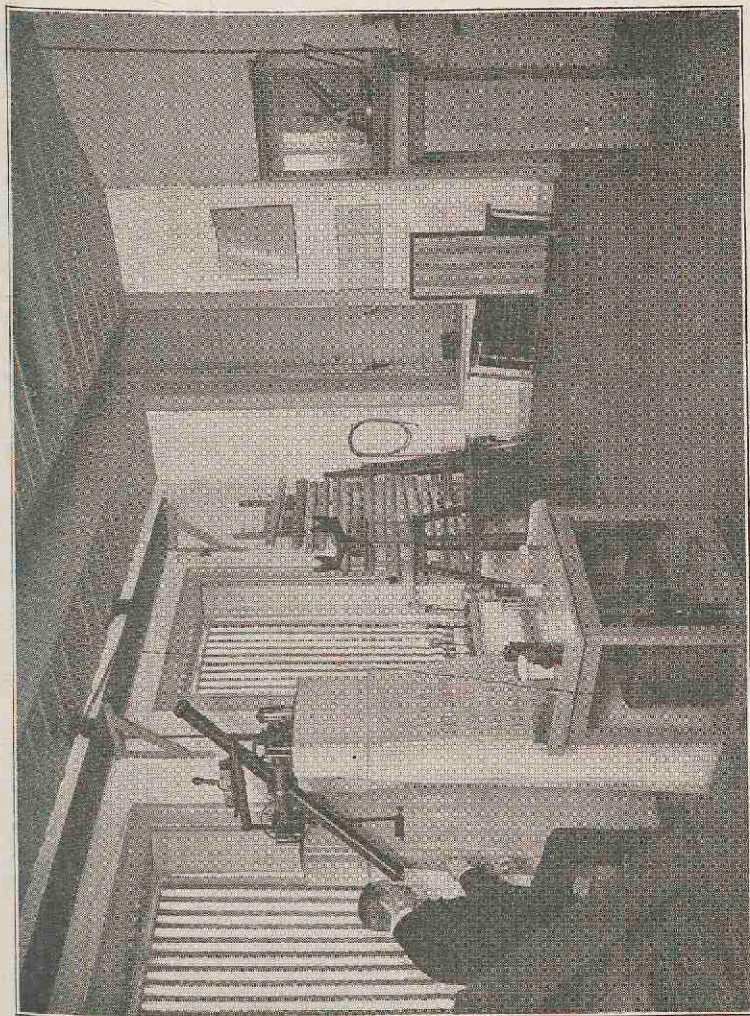
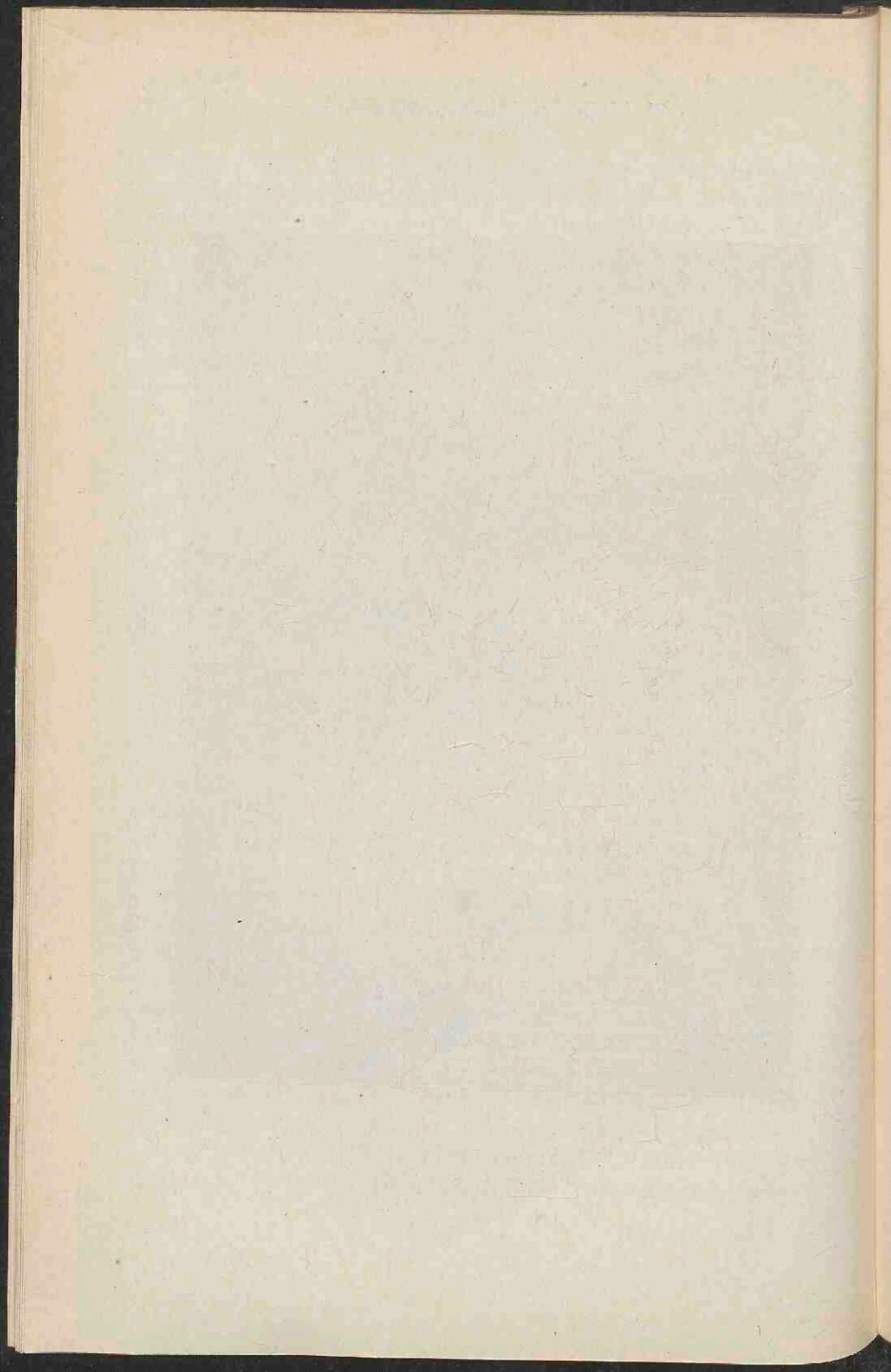


FIG. 33. TIJDBEPALING AAN DEN MERIDIAANKIJKER DER UTRECHTSCHER STERRENWACHT.



meridiaan gerekend heet de *West-Europeesche tijd* (W. E. T.); hij is in gebruik in Engeland, België, Frankrijk en Spanje. IJsland rekent zijn tijd naar den meridiaan van 1^u. W. van Greenwich, ofschoon zijn hoofdplaats op 1^u. 30^m. ligt, en Denemarken naar dien van 1^u. O. van Greenwich, ofschoon deze geheel buiten het land valt. De tijd gerekend naar dezen laatsten meridiaan heet de *Middel-Europeesche tijd* (M.E.T.) en is o. a. in gebruik in Duitschland, Oostenrijk, Hongarije, Italië, Zwitserland, Zweden en Noorwegen. Roemenië, Bulgarije, Egypte en Zuid-Afrika hebben den *Oost-Europeeschen tijd* ingevoerd, (naar den meridiaan van 30° O.L. van Grw.), terwijl Noord-Amerika 5 standaardtijden kent en Australië 3.

Wanneer het te Amsterdam 12^u. 0^m. 0^s. is, is het 11^u. 40^m. 27^s.7. W. E. T. en 12^u. 40^m. 27^s.7. M. E. T.

In *Nederland* geschiedt het overbrengen van den juisten tijd als volgt: In het gebouw der Verificatie van 's Rijks Zeeinstrumenten te Leiden bevindt zich een uitmuntend, naar middelbaren tijd geregeld sterrenkundig uurwerk, dat tweemaal per week vergeleken wordt met de normaalpendule der Leidsche Sterrenwacht, een naar sterretijd geregeld uurwerk, waarvan de correctie door meridiaanpassages van sterren op de bovenbeschreven wijze telkens bepaald wordt. Op de avonden der dagen waarop de vergelijking dezer uurwerken plaats heeft gehad, wordt door de Verificatie langs telegrafischen weg een tijdsein gezonden naar de maritieme tijdinrichtingen te Willemsoord en Hellevoetsluis, de filialen van het Kon. Nederl. Meteor. Instituut te Amsterdam en Rotterdam, de onder dit Instituut ressorteerende tijdinrichting te Vlissingen en de hoofdtelegraafkantoren te Amsterdam, den Haag en Rotterdam. Dit tijdsein bestaat hierin, dat aan de Verificatie te 10^u 0^m 0^s 00 M. T. Amsterdam de sleutel van een Morse-toestel wordt neergedrukt, waarop aan de ontvangstations een hamertje met een scherpen tik op een klokje slaat. Door dit op van te voren afgesproken tijdstippen te herhalen, worden vergissingen in het opteekenen voorkomen.

De genoemde ontvangstations bezitten dus tweemaal per week den juisten tijd en wel met geen grootere onnauwkeurigheid dan 0.^s 2. De maritieme tijdinrichting te Willemsoord en de inrichtingen te Vlissingen, Rotterdam en Amsterdam zijn van uitstekende slingeruurwerken voorzien, waarover twee tijdseinen per week voldoende contrôle houden; zij gebruiken de hierdoor gecorrigeerde aanwijzing dezer uurwerken om *elken* middag te 12^u 0^m 0^s een op verren afstand zichtbaar tijdsein met z.g. „tijdkleppen” te geven, voornamelijk ten behoeve van de scheepvaart. Deze „kleppen” bestaan uit vier ronde, aan de uiteinden van twee loodrecht op elkaar staande stangen verbonden borden, die in gewone omstandigheden horizontaal liggen, doch 5 min. vóór twaalfen als waarschuwingssein verticaal gesteld worden. Met behulp van een lange stang kan de bij het uurwerk geplaatste seingever op de juiste seconde de borden weder horizontaal doen vallen.

De hoofdtelegraafkantoren te Amsterdam, den Haag en Rotterdam bezitten 2^{de} rangs uurwerken, z. g. „tijdbewaarders;” ook over deze houden de tijdseinen der Verificatie voldoende contrôle. Naar de aanwijzing van den tijdbewaarder te Amsterdam worden *elken* ochtend twee tijdseinen telegrafisch afgezonden; het 1^{ste} is bestemd voor 21 over het geheele land verspreide z. g. „toezichtkantoren,” en deze verspreiden het weer naar de andere binnen hun rayon gelegen telegraafkantoren. De nauwkeurigheid waarmede de tijd daar bekend is, is op ongeveer 1 minuut te begrooten.

Het 2^{de} tijdsein uit Amsterdam, een uur na het eerste afgezonden, is bestemd voor de Centraal-Stationen der S.S. (Utrecht) en der H. S. M. (Amsterdam).

DE KALENDERREGELING heeft ten doel de dagen, ten behoeve eener practische *tijdrekenkunde* (chronologie) te groepeeren tot eenheden van langeren duur. Dit is intusschen alleen noodig voor de practijk van het maatschappelijk leven; nagenoeg in alle sterrenkundige berekeningen en in alle gevallen waarin men tijdsverschillen wil afleiden van oogenblikken die ver uiteen liggen,

is men gewoon de dagen eenvoudig door te tellen. Het is daarbij onverschillig welk nulpunt van telling men aanneemt, mits het hetzelfde is voor alle berekenaars; toen bij de regeling van den nieuwen kalender in 1582 door Scaliger betoogd werd dat, rekenende met een periode van 7980 jaren van $365\frac{1}{4}$ dag, verwarring door foutieve tijdrekenmethoden ontgaan kon worden, heeft men deze periode, die hij (naar den voornaam van zijn vader) de „Juliaansche periode” noemde en die op 1 Januari van het jaar 4713 v. Chr. moest aanvangen, algemeen aanvaard, en tegenwoordig rekent men zelfs uitsluitend met de *dagen* dezer periode, die men in de sterrenkundige almanakken vindt opgegeven. Het gemak van een dergelijke methode van werken blijkt reeds uit het eenvoudige voorbeeld van bldz. 85, waar onder het hoofd J.D. het nummer van den Juliaanschen dag is opgegeven.

In het maatschappelijk leven heeft men echter behoefte aan tijdgroepeeringsen, evenals dag en nacht te ontleenen aan *hemelverschijnselen*. Het ligt voor de hand voor deze verschijnselen te kiezen 1°. de wisseling der maanfasen waarin een periode van *ongeveer* 30 dagen en 2°. de wisseling der seizoenen, waarin een periode van *ongeveer* 365 dagen wordt opgemerkt. Maar daarmee is geen kalenderregeling op zuiveren grondslag te ontwerpen; het is n.l. onmogelijk deze perioden aan te passen aan den *dag*, daar noch de eene noch de andere een geheel aantal middelbare zonnedagen bevat en het is eveneens onmogelijk de perioden *aan elkaar* aan te passen, daar zij in een onmeetbare verhouding tot elkaar staan. Er blijft derhalve niets anders over dan slechts één der perioden te aanvaarden, deze zoo goed mogelijk aan te passen aan den dag en de tweede periode met loslating van het astronomisch verschijnsel dat er aan ten grondslag ligt, zoo practisch mogelijk in te deelen. Daar de kalenderregeling haar ontstaan dankt aan de behoeften van den van de seizoenen afhankelijk landbouw, is het duidelijk dat men de 2^{de} periode, *het jaar*, tot grondslag moet nemen, en de 1^{ste} de *maand*, moet loslaten; voor de Mahomedaansche volken, die het nog steeds anders doen en de

1^{ste} periode, den tijd verlopen tusschen twee opvolgende nieuwe manen (den synodischen omloopstijd der maan) tot grondslag der kalenderregeling hebben gekozen, vallen de seizoenen telkens in andere maanden van het jaar (d.w.z. *hun* jaar = 12 maanden = 354 of 355 dagen).

Alle andere volken hebben hun kalender gegrondvest op den omloopstijd der aarde om de zon. Hierbij doet zich reeds dadelijk eene eigenaardige moeilijkheid voor: de werkelijke omloopstijd der aarde (het z.g. „siderische jaar”) is voor een kalenderregeling onbruikbaar. Het op bldz. 22 genoemde verschijnsel der praecessie n.l. verschuift het punt *Ariës* langs de ecliptica; bevindt de aarde zich dus op een gegeven oogenblik in \mathcal{V} , dan is zij na een vollen siderischen omloop volbracht te hebben, wel weer in hetzelfde punt der ecliptica teruggekeerd, *maar dit punt heet nu geen \mathcal{V} meer*. Het punt \mathcal{V} is de aarde tegemoet gegaan; deze is, even vóór het volbrengen van haren omloop, \mathcal{V} gepasseerd. Een kalenderregeling vereischt echter, wil zij op het wisselen der seizoenen berusten, als grondslag een omloop van de Aarde van \mathcal{V} tot \mathcal{V} ; zij moet dus gebaseerd zijn op een jaar dat iets *korter* is dan het siderische jaar. Het is gemakkelijk om ruwweg na te gaan hoeveel korter. De praecessie bedraagt $50''$ per jaar; daar de aarde 360° d.i. $360 \times 60 \times 60''$ aflegt in 365 dagen, legt zij $50''$ af in 0.014 dag d.i. 0.336 uur = $20^m 0^s$. Berekent men dit nauwkeuriger, dan vindt men $20^m 23^s$.

Het hierdoor bepaalde „seizoenenjaar” heet een tropisch¹⁾ zonnejaar; het bevat 365.24222... dagen. Hier ontmoeten wij de tweede moeilijkheid: wij wenschen een groepeerling van een geheel aantal dagen en het hemelverschijnsel levert ons een onmeetbaar getal! Julius Caesar meende (45 v. Chr.) deze moeilijkheid te kunnen overwinnen door het jaar te beschouwen als bevattende 365.25 dagen; een 4-jarige periode zou dan althans een geheel aantal dagen vertegenwoordigen. De door hem

¹⁾ Van *τροπή* = wenden.

ingevoerde (en nog bij de Grieksch-katholieke volken in gebruik zijnde) Juliaansche kalender is daardoor gegrondvest op een groep van 4 jaren, waarvan de 3 eerste 365 dagen bevatten, de laatste 366 dagen.

Het verschil, 0.00778 dag, tusschen het Juliaansche jaar en het tropische jaar is gering, maar het hoopt zich met den tijd op; na 1000 jaar is het 7.78, na 2000 jaar ruim 15 dagen! In het jaar 1582 maakte de sterrenkundige Clavius paus Gregorius XIII opmerkzaam op het feit, dat de zon reeds 11 Maart in ∇ kwam, d.i. 10 dagen vóór het officieele begin der lente, waarop deze een decreet uitvaardigde volgens hetwelk de dag, volgende op 4 October, heeten moest 15 October en niet meer het laatste jaar van *elke* 4 jaarlijksche periode een dag meer zou tellen dan de andere drie. „*Schrikkeljaren*” zouden voortaan n.l. zijn alle gewone jaren, waarvan het jaartal door 4 en alle eeuwjaren waarvan het jaartal door 400 deelbaar is.

Deze „Gregoriaansche” kalender (de z.g. „Nieuwe stijl”; de Juliaansche kalender is dan de „Oude stijl”) heeft ongelukkigerwijze de indeeling van het jaar in maanden klakkeloos van de Juliaansche overgenomen; deze indeeling is een verwaterd overblijfsel van den ouden maankalender en kan, zooals reeds gezegd, met den omloopstijd der maan niets te maken hebben. Nu zij dit tóch niet kan zou het van groot voordeel zijn de kalenderregeling opnieuw te wijzigen en wel naar een in het jaar 1900 door L. A. Grosclaude te Genève gedaan voorstel. Dit luidt als volgt: Voer een jaar in, bevattende vier trimesters van $30 + 30 + 31$ dagen; vang deze nieuwe regeling aan wanneer de Nieuwjaarsdag een Zondag is, dan valt de 31^{ste} eener maand *altijd op Zondag*, zoodat alle maanden evenveel weekdagen hebben. Voer verder in twee „datum- en naamlooze” dagen, den *Nieuwjaarsdag* en den *Schrikkel*dag (eens in 4 jaar volgende op Zondag 31 Juni). Ook het Paaschfeest zou naar dit voorstel op een vasten datum kunnen vallen, en niet zooals thans op elken Zondag tusschen 22 Maart en 25 April (zie Tabel II aan het einde van dit werk).

VII HET GEBRUIK VAN KIJKERS EN DE INRICHTING VAN STERRENWACHTEN

TERWIJL de vorige hoofdstukken zich uitsluitend bepaalden tot het terrein der bloote oog waarnemingen, zullen wij thans ons arbeidsveld vergrooten door het gebruiken van astronomische kijkers, allereerst van zulke, waarin door een lens of lenzenstelsel de daarop vallende lichtbundel verzameld wordt om van de lichtbron een zeer klein omgekeerd beeld van groote lichtsterkte te maken, welk beeld onder een eenigszins samengesteld vergrootglas kan worden bekeken. Zulk een instrument heet een *refractor*; het lenzenstelsel heet het *objectief*, de verzamelplaats het *brandvlak* (bij sterren het *brandpunt*), de afstand daarvan tot het middelpunt van het lenzenstelsel de *brandpuntsafstand*, (*f*) en het samengestelde vergrootglas het *oculair* van den kijker.

Theoretisch is door een dergelijke inrichting de hoeveelheid licht van een bundel die de middellijn *d* heeft van het objectief, verzameld in een veel smalleren bundel, die uit het oculair treedt; de verhouding van *d* tot de middellijn van dezen „uittredenden bundel” is de „vergrooting van den kijker.” Daar de oogpupil van den waarnemer den geheelen uittredenden bundel moet opvangen, mag deze geen grootere middellijn hebben dan die van de gemiddelde oogpupil, d. i. 5 mm, en daarmede is aan de vergrooting van elken kijker voor de practijk een onderste grens gegeven,

n. 1. $\frac{1}{5}$ van de middellijn van het objectief in mm = 2 maal die middellijn in cm = 2 *d*. Een bovenste grens voor de vergrooting wordt gegeven door de omstandigheid dat er, wanneer de uittredende bundel zeer smal wordt, z. g. „buigingsverschijnselen van het licht” (zie ook bldz. 178) optreden die de beeldvorming in het oog bederven. Men neemt aan dat de uittredende bundel geen kleinere middellijn mag hebben dan 0.6 mm, de vergrooting derhalve niet grooter dan $\frac{10}{6} = 1.7$ maal het obj. in mm = 17 *d*. Bij een kijker waarvoor *d* = 10 cm is, heeft het dus geen praktisch nut vergrootingen te gebruiken, zwakker dan 20 en sterker dan 170 en men zal goed doen vrij ver binnen deze grenzen te blijven; sterke vergrootingen zijn alleen bij een zeer rustigen toestand van den dampkring met vrucht te gebruiken, daar de onregelmatigheden daarin mede vergroot worden en de beelden bederven. De theoretische grenzen voor de vergrootingen van den grooten kijker der Utrechtsche sterrenwacht (*d* = 26 cm) zijn 52 en 442, terwijl in werkelijkheid als uitersten gebruikt worden 94 en 294; in een zeer bijzonder geval, als de lucht uitermate rustig is en het er bijv. om te doen is de componenten van een dubbelster gescheiden te zien, teneinde hun afstand te kunnen uitmeten, kan men de theoretische grens zeer dicht naderen en zelfs overschrijden. Zoo heeft men aan den grooten kijker der Leidsche sterrenwacht, waarvoor *d* eveneens 26 cm is, voor dergelijke metingen een vergrooting van 600 kunnen gebruiken en aan den Lick-kijker (*d* = 91 cm) eene van 2600 = 29 *d*, maar dit blijven hooge uitzonderingen.

Men kan de vergrooting van een kijker ook definieeren als het getal, dat aangeeft hoeveel malen de brandpuntsafstand van het objectief grooter is dan die van het oculair; sterke vergrootingen verkrijgt men dus met oculairen van korten brandpuntsafstand. Wie een astronomischen kijker koopt met verschillende oculairen heeft dus in het langste daarvan tevens de zwakste vergrooting en daarmee ook het grootste „veld,” d. w. z. men kan er een grooter deel van den hemel tegelijk mede zien.

Terwijl dus de vergrooting van een kijker afhangt van objectief en oculair beide, hangt de grootte van het beeld, dat met het oculair bekeken wordt, alleen af van het objectief en wel uitsluitend van zijn brandpuntsafstand f , niet van zijn middellijn d . Vervangt men dus het oculair door een fotografische plaat, dan verkrijgt men daarop een beeld van bepaalde grootte dat als regel uiterst klein is. Een dergelijk „brandpuntsbeeld” van de zon bijv. heeft een middellijn die iets kleiner is dan $\frac{1}{100}$ van f , en dus voor den Utrechtschen kijker ($f = 320$ cm) ongeveer 3, voor den grootsten refractor die bestaat (Yerkes Obs. $f = 1900$ cm) 17 cm bedraagt.¹⁾ Men kan echter met behulp van een in den kijker geplaatst bijzonder stelsel van lenzen het effect bereiken alsof de brandpuntsafstand vergroot was; de beeldgrootte wordt dan dus kunstmatig grooter gemaakt, wat vooral bij het fotografeeren van de zon, de maan en de planeten van zeer groot belang is. Zoo heeft o. a. de Nederlandsche Eclipsexpeditie naar Zuid-Limburg in April 1912 een fotografisch beeld der gedeeltelijk verduisterde zon kunnen verkrijgen, dat een middellijn had van 10 cm, terwijl de „werkelijke” brandpuntsafstand van het objectief slechts 3 meter bedroeg; deze werd echter door een dergelijk bijzonder lenzenstelsel tot een „a e q u i v a l e n t e n” brandpuntsafstand van 10 meter vergroot. Wij zullen in het Elfde hoofdstuk zien op welke wijze men er aan één der nieuwste Amerikaansche Observatoria in geslaagd is groote beelden der zon te fotografeeren.

Van een *ster* is practisch het brandpuntsbeeld een punt, en blijft dit bij elke vergrooting; alleen zijn lichtsterkte is aanzienlijk toegenomen en wel theoretisch evenveel malen als de oppervlakte van het objectief grooter is dan die van de oogpupil. Een objectief van 10 cm. heeft een middellijn die 20, en dus een oppervlakte die 400

1) De middellijnen van de zon en haar brandpuntsbeeld verhouden zich als hun afstanden tot het midden van het objectief, dus $M : m = A : f$ of $\frac{m}{f} =$

$$\frac{M}{A} = \frac{1}{109}; \text{ dezelfde verhouding geldt ook voor de maan.}$$

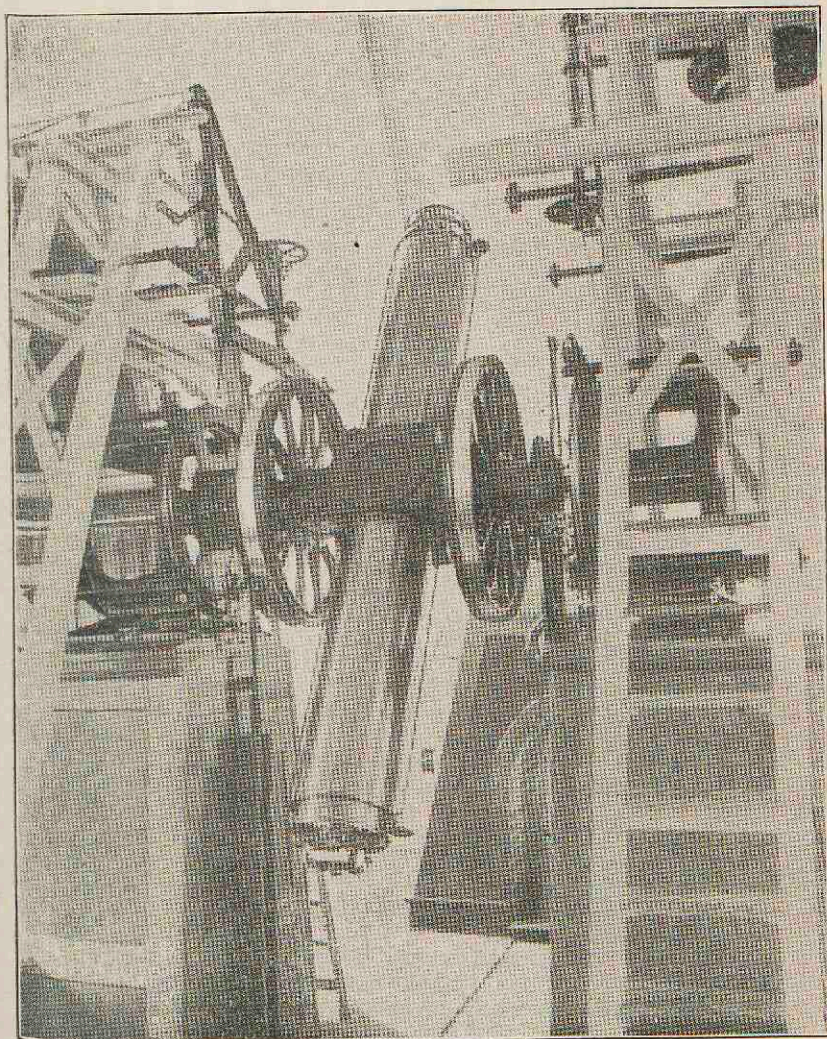
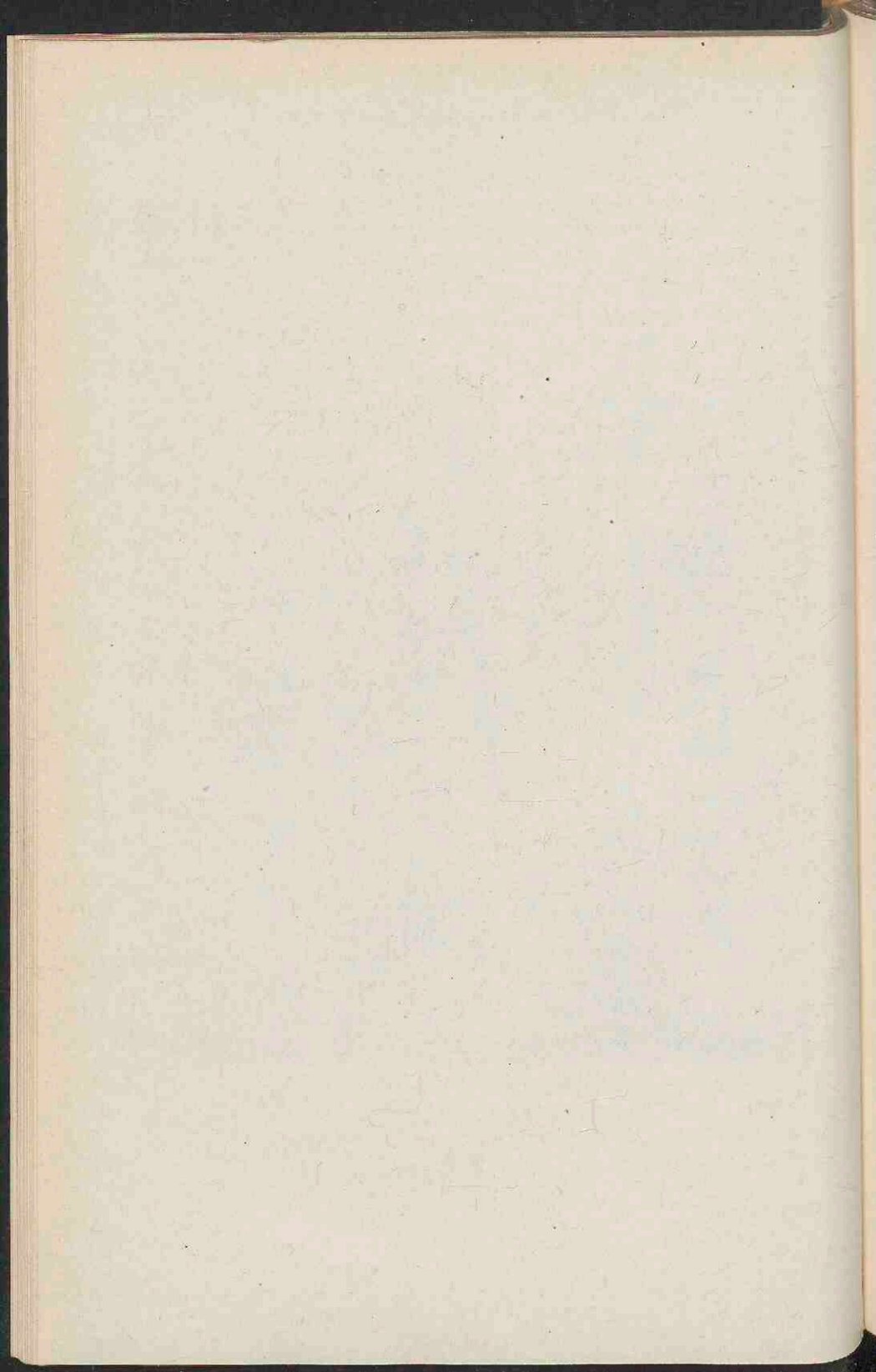


FIG. 34. MERIDIAANCIRKEL.
(Uit: Die Hamburger Sternwarte in Bergedorf.)



maal grooter is dan die van de oogpupil en in een zoodanigen kijker is de lichtsterkte der sterren dus theoretisch 400 maal, practisch echter 20% minder, dus 320 maal groot. Deze 20% zijn het onvermijdelijke lichtverlies in den kijker door absorptie en terugkaatsing.

Bij sterren heeft men alleen met deze „totale” helderheid te maken, bij alle hemellichten die een oppervlakte vertoonen ook met de helderheid per eenheid daarvan. Deze wordt kleiner naarmate men sterkere vergrootingen gebruikt, want men spreidt dan dezelfde hoeveelheid licht uit over een grooter oppervlak. Hetzelfde geldt voor de lichtsterkte van den hemel; richt men overdag een kijker op een heldere ster, dan vermindert bij het gebruik van een sterke vergrooting de „oppervlaktehelderheid” van den achtergrond, waardoor de ster zichtbaar wordt.¹⁾

Het scheidingsvermogen van een kijker kan alleen worden afgeleid uit theoretische beschouwingen betreffende de eigenschappen van het licht. Deze leeren dat twee punten aan de sfeer gescheiden kunnen worden gezien, wanneer hun schijnbare afstand grooter is dan $\frac{11'' \cdot 2}{d}$, d.i. dus voor den Utrechtschen kijker $0'' \cdot 43^2$).

Van de verschillende voor de sterrenkundige waarnemingen in gebruik zijnde kijkers zullen wij thans de voornaamste behandelen.

1. DE MERIDIAANCIRKEL voor absolute plaatsbepalingen (rechte klimming en declinatie) aan de sfeer (Zie Fig. 34). Het is een kijker van middelmatige afmetingen (d meestal ongeveer 15 cm.), welks as altijd zoo nauwkeurig mogelijk in den meridiaan gericht blijft; de buis is daartoe voorzien van een tappen-as

¹⁾ Bij sterke vermindering van „valsch” licht, bijv. door zich te plaatsen op den vloer van een fabrieksschoorsteen of mijnschacht kan men ook met het bloote oog een heldere ster overdag waarnemen.

²⁾ Twee punten die 1 cm. van elkander verwijderd zijn, zouden ermede op een afstand van 5 kilometer gescheiden kunnen gezien worden.

die in de richtingen Oost en West op twee hardsteenen of ijzeren, afzonderlijk gefundeerde pijlers rust. Zij draagt tevens twee groote, zeer nauwkeurig verdeelde cirkels, die elk door vier aan de pijlers bevestigde microscopen met een nauwkeurigheid tot $0''.1$ kunnen worden afgelezen, teneinde uit de zoo verkregen zenithsafstand met behulp der bekende breedte van de waarnemingsplaats de declinatie van het hemellicht af te leiden. De rechte klimming wordt verkregen door in het brandvlak loodrecht op de as van den kijker een dradennet te plaatsen, welks centrum zoo goed mogelijk op die as gelegen is. Even vóórdat een ster den meridiaan gaat passeeren, wordt ze in het veld van den kijker zichtbaar en nu teekent men den tijd aan, waarop zij elk der evenwijdig aan het meridiaanvlak gestelde draden voorbij gaat. Daar de onderlinge afstanden daarvan bekend zijn, heeft men nu zooveel aanwijzingen van het oogenblik der meridiaanpassage als er draden zijn en dus dit oogenblik en daarmede de rechte klimming (zie bldz. 108) nauwkeurig vastgelegd. De correctie van het uurwerk is daarbij als bekend te onderstellen.

Natuurlijk kan men met dit instrument ook omgekeerd uit bekende rechte klimmingen de onbekende correctie van het uurwerk vinden; is het daarom echter alleen te doen, dan kan men, zooals wij reeds op bldz. 108 bespraken, volstaan met een veel eenvoudiger en goedkooper instrument, n. l. met een meridiaankijker. Terwijl voor den meridiaancirkel zoowel de vaste opstelling als de constructie der cirkels hoofdzaak zijn, zijn de laatste voor den meridiaankijker slechts instellingscirkels en behoeft aan de opstelling, hoewel deze zeer stevig moet zijn, niet dezelfde aandacht geschonken te worden als aan die van den meridiaancirkel. De Leidsche sterrenwacht bezit een uitmuntenden, in het jaar 1859 gebouwen meridiaancirkel, de Utrechtsche sterrenwacht bezit slechts een meridiaankijker, voor welks pijlers koning Willem III in 1853 den eersten steen gelegd heeft.

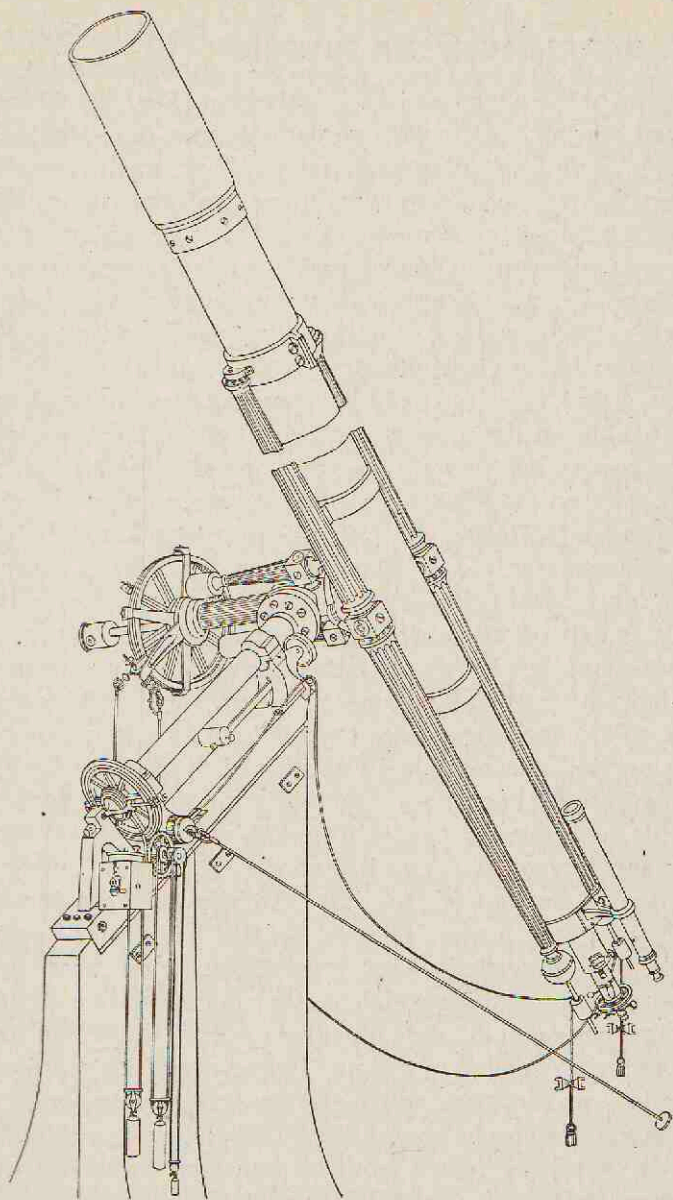


FIG. 35. PARALLACTISCHE KIJKER.
(Uit: L. Ambronn, Handbuch der astronomischen
Instrumentenkunde.)

2. DE PARALLACTISCHE KIJKER (beter: kijker op parallactischen voet, ook wel „het equatoriaal” geheeten (Fig. 35). Deze kan in elken uurhoek gebruikt worden en van de hemellichten alleen de „relatieve” plaatsen meten, d. w. z. de verschillen in α en δ met de sterren waarvan aan meridiaancirkels de *absolute* plaatsen gemeten zijn. De twee pijlers zijn nu vervangen door één, en daarop rust in vaste dragers een as, die naar de pool gericht is en derhalve een helling op het horizontale vlak heeft gelijk aan de breedte van de waarnemingsplaats; aan het ondereinde draagt deze „poolas” een verdeelden cirkel, den uurcirkel, welks vlak loodrecht staat op de poolas en dus den aequator aangeeft. Het boveinde van de poolas heeft twee dragers voor een 2^{de} as, loodrecht op de 1^{ste} en aan haar uiteinde eveneens een verdeelden cirkel dragende. Deze as heet de „declinatie-as,” die cirkel de „declinatie-cirkel.” Beweegt men den kijker *alleen* om de poolas, dan beschrijft het punt aan de sfeer, waarop de kijker gericht is een parallelcirkel, beweegt men hem *alleen* om de declinatie-as, dan beschrijft het een declinatiecirkel; de eerste dezer bewegingen is, daar op den aequator de tijd gemeten wordt, ook te verkrijgen door haar te koppelen aan een regelmatig loopend uurwerk; is dit zoo ingericht dat het den kijker in 24 uur een boog van 360° zou doen beschrijven, dan blijft als men een ster instelt en het uurwerk opwindt, deze ster voortdurend in het kijkerveld zichtbaar; de kijker volgt door de uurwerkbeweging de schijnbare hemeldraaiing. Ook bij dit instrument zijn de cirkels instellings- en geen nauwkeurigheidscirkels; het kan dienst doen voor de bestudeering van de oppervlakte der maan en der planeten, de waarneming van veranderlijke sterren a. a. en zooals reeds gezegd *voor het meten van kleine afstanden aan de sfeer* als: relatieve plaatsen van planeten en kometen, onderlinge posities van de componenten van dubbelsterren, middellijnen van de schijven der groote planeten enz. Dergelijke metingen kan men verrichten naar twee zeer verschillende methoden; men kan 1^o. evenals bij den meridiaancirkel in

het brandvlak van den kijker een dradennet aanbrengen, thans echter voorzien van draden in twee loodrecht op elkaar staande richtingen bevestigd, en enkele daarvan ten opzichte van de andere verplaatsbaar maken met een zoo volmaakt mogelijke schroef, voorzien van een verdeelden trommel. Een dergelijke inrichting heet een *draden micrometer*. Daar twee sterren die bijv. 5 min. in rechte klimming verschillen, ook 5 min. in uurhoek verschillen, zoo kan men het rechte klimmingsonderscheid eenvoudig meten door met een uurwerk, dat naar sterretijd geregeld is, na te gaan wanneer de sterren een bepaalden *evenwijdig* aan den declinatiecirkel gestelden draad passeeren; het verschil der gemeten tijdstippen is

tevens het verschil in rechte klimming. Om het declinatieverschil te meten, doet het stel draden dienst dat *loodrecht* op den declinatiecirkel gesteld is en de bovengenoemde „micrometer-schroef.” Een der sterren wordt op een vasten draad gebracht en de verplaatsbare draad wordt met de schroef op de andere ster gebracht, waarna op den trommel het declinatieverschil wordt afgelezen.¹⁾ Maar men kan ook 2°. het objectief van den kijker in twee helften deelen, die ten opzichte van elkaar langs de scheidingslijn ver-

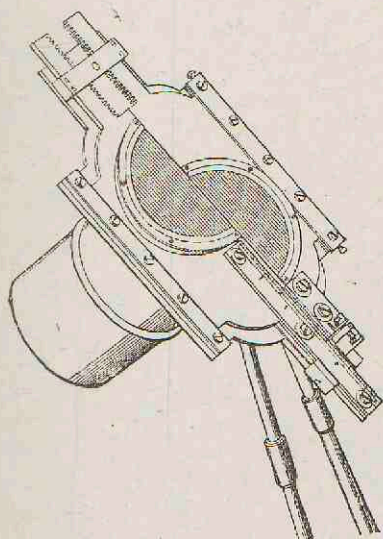


FIG. 36. HELIOMETER.

schuifbaar zijn (Fig. 36). Wil men nu den afstand tusschen 2 sterren meten, dan draait men het objectief in zijn vating, totdat de scheidingslijn der helften valt in de richting van de

¹⁾ Van de componenten eener dubbelster meet men (zie bldz. 390) niet het rechte klimmings- en declinatieverschil, maar den afstand en den positiehoek.

verbindingslijn der sterren en verplaatst dan een der objectief-helften. Van elke ster krijgt men dan twee beelden; zet men de verschuiving zoover voort dat een der beelden der eene ster samenvalt met een der beelden van de andere, dan kan uit een nauwkeurige aflezing van het bedrag dier verschuiving langs een verdeelde schaal, de schijnbare afstand der sterren gemakkelijk worden afgeleid. Deze inrichting heet, omdat zij voor het eerst is toegepast op metingen van de middellijn der zon, een „heliometer.”

Voor een parallactischen kijker kent men in hoofdzaak drie methoden van opstelling en wel:

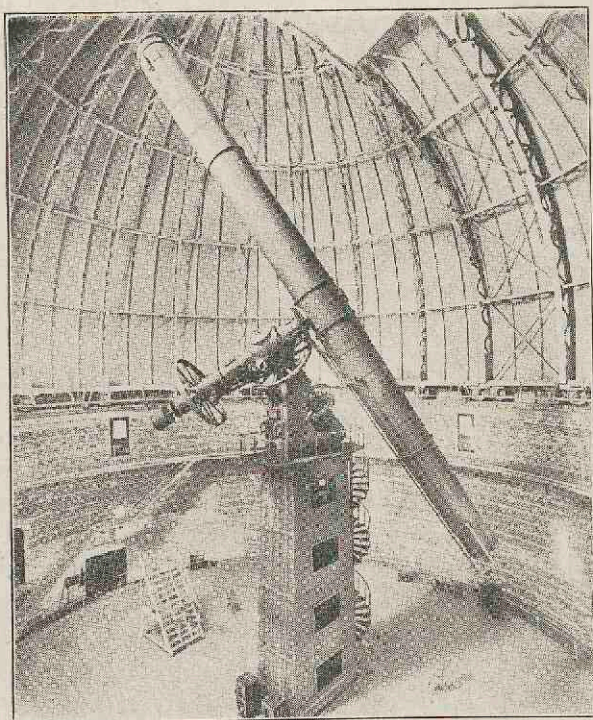


FIG. 37. DE DUITSCHE OPSTELLING OP RECHTEN VOET.
(YERKES REFRACTOR.)

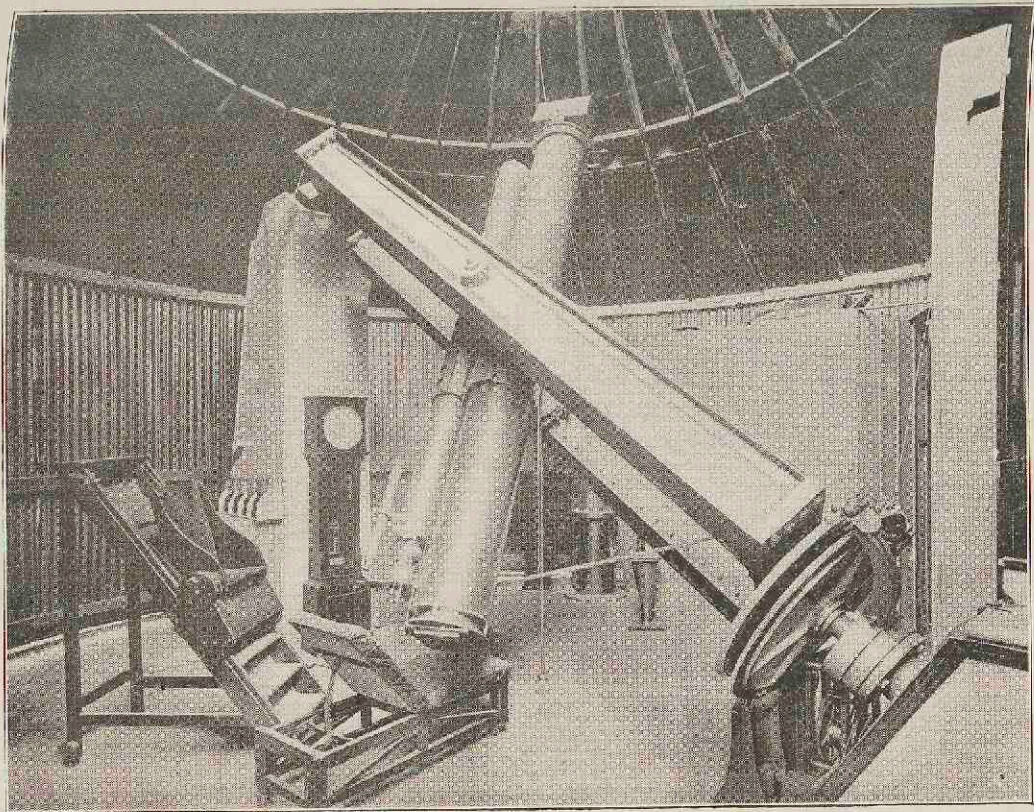
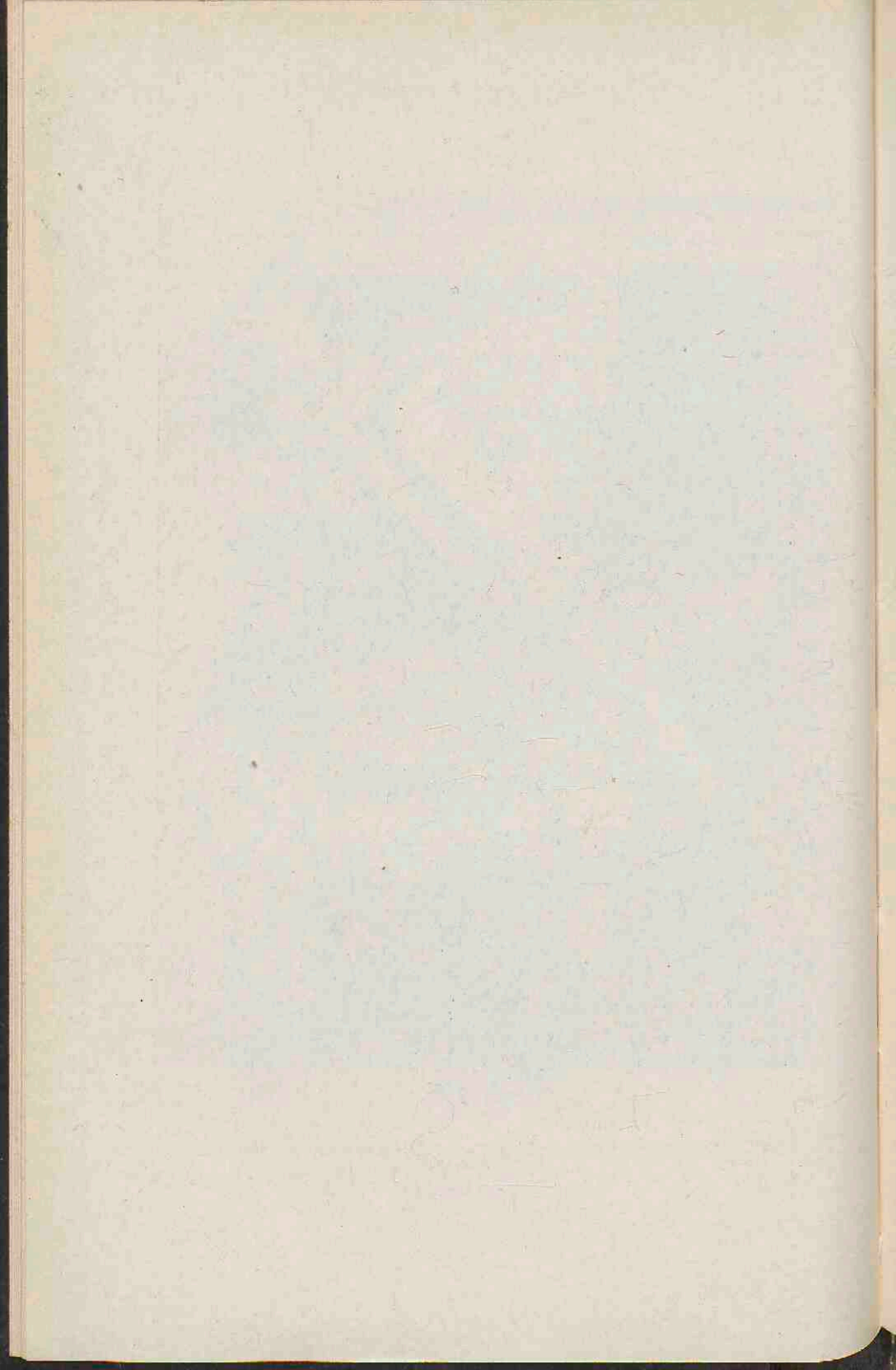


FIG. 38. DE ENGELSCH E OPSTELLING
(Uit: H. C. Russell, Description of the Star Camera at the Sydney Observatory).



a. *de Duitse opstelling*, welke wij zooeven beschreven en die Fig. 37 duidelijk aangeeft. Zij heeft het nadeel dat hemellichten, die nagenoeg in top staan, in één stand van den kijker slechts zeer korten tijd bestudeerd kunnen worden; spoedig stuit de kijker tegen het voetstuk en moet de waarneming onderbroken worden. Vooral voor fotografisch werk met lange belichtingstijden is dit ongewenscht en daarom is men teruggekeerd tot een oudere methode, thans echter in verbeterden vorm, n.l.:

b. *de Engelse opstelling*. Zie Fig. 38. De raamvormige poolas is langer dan de kijker en deze kan daarin, ook in top, een vollen declinatiecirkel beschrijven; de declinatie-as rust in de zijwangen van het raam. Met deze opstelling kan men echter geen hemellichten bij de pool bestudeeren, daar de kijker dan geheel binnen het raam ligt. Ook schijnt de stabiliteit van deze opstelling wel te wenschen over te laten en daarom bouwt men in den laatsten tijd veelal de Duitse opstelling, maar op *gebogen voet* (zie Fig. 39) waardoor ook zenithale waarnemingen verzekerd zijn.

c. *de gebroken opstelling* (equatorial coudé). Het licht komt nu, na het objectief doorloopen te hebben, door tweemalige spiegeling in het oculair (Fig. 40). Dit bevindt zich aan het uiteinde van het vaste, in de poolrichting opgestelde kijkerdeel; het andere deel van den kijker is daaraan met een draaibaren kubus verbonden. Het instrument staat buiten, een dure, draaibare koepel is niet noodig, en de waarnemer zit binnenshuis in een gemakkelijke houding en 's winters in een kamertemperatuur, terwijl hij anders in wind en kou zou moeten werken. Vooral de Franschen zijn liefhebbers van deze opstelling (Parijs, Lyon, Besançon, Nice, Algiers; verder Weenen); als haar nadeel wordt opgegeven het gebruik van dure, lichtabsorbeerende, moeilijk te stellen spiegels, doch uit het feit dat thans aan het groote equatorial coudé der Parijsche sterrenwacht een sterrespectrocoop bevestigd is, waarvan de regeling zeer minutieus moet zijn en die uitstekend schijnt

te voldoen, mag men gereedelijk afleiden dat de genoemde bezwaren wel te ondervangen zijn.

Kleinere kijkers worden meestal niet parallactisch, maar z. g. „in hoogte en azimuth” opgesteld; wil men daarbij een hemellicht in het kijkerveld blijven volgen, dan

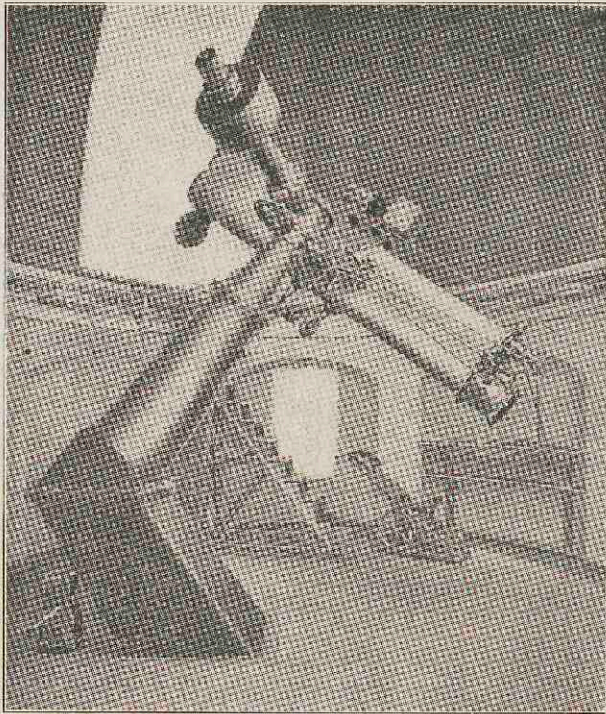


FIG. 39. DE DUITSCHE OPSTELLING OP GEBOGEN VOET.
(DUBBELREFRACTOR TE POTSDAM.)

(Uit: Publikationen des Astrophysikalischen Observatoriums
zu Potsdam. Bd. XV)

moet men den kijker in twee richtingen, meestal met de hand, bewegen. Een op dergelijke wijze opgestelde kijker is op sterrenwachten meestal de z. g. „kometenzoecker,”

een kijker met zeer groot veld, waarmede vooral kort na zonsondergang en kort vóór zonsopgang langs den horizon en langs strooken, evenwijdig daarmede, naar kometen wordt gezocht. Fig. 41 stelt een dergelijke kijker voor.

Behalve een refractor kan een kijker ook zijn een reflector (spiegeltelescoop); de beeldvorming geschiedt dan door terugkaatsing op het gepolijste oppervlak van een hollen spiegel. Dit type van instrumenten heeft ontegenzeggelijk één groot voordeel n.l., dit, dat het verzamelde licht onafhankelijk van de kleur, zuiver in één punt vereenigd wordt, hetgeen bij een refractor niet het geval is, doordat de ver-

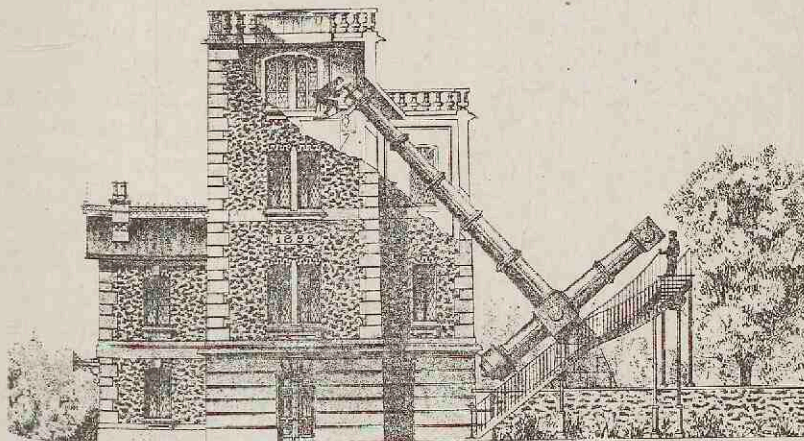


FIG. 40. DE GEBROKEN OPSTELLING.

(Uit: Rapport sur l'état de l'observatoire de Paris pour l'année 1889).

schillende kleuren, waaruit het witte licht is samengesteld, op verschillende wijze gebroken worden. Bij dit voordeel voegt zich nog een ander; afgezien van technische moeilijkheden is er voor de afmetingen der te gebruiken spiegels geen enkele bovenste grens. Uit een „optisch” oogpunt kan men ze steeds grooter maken, en elke vergrooting is winst, want een grooter oppervlak verzamelt meer licht en kaatst dit meerdere licht

nagenoeg onverminderd terug. De objectieven der refractors daarentegen kan men *niet* steeds grooter maken, daar dit

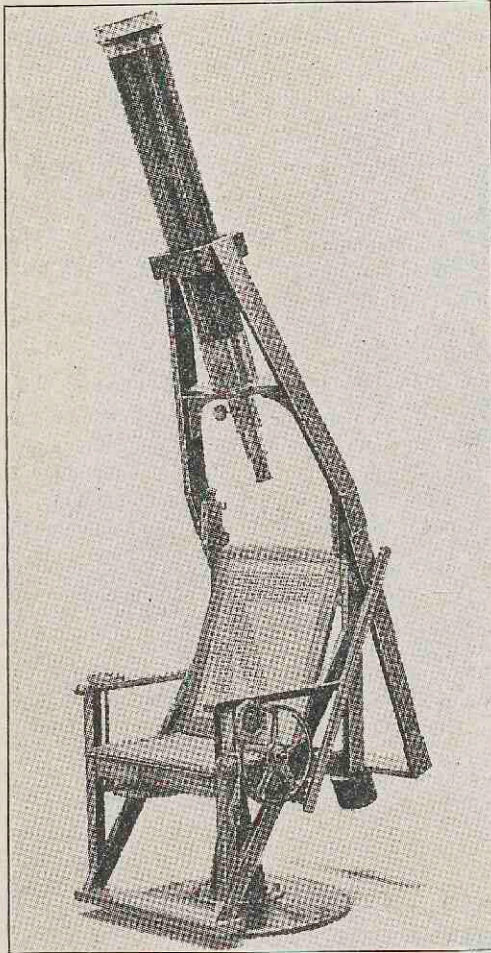


FIG. 41. KOMETENZOEKER.

gepaard zou gaan met meerdere dikte, waarbij het lichtverlies door absorptie in het glas onevenredig snel toeneemt, en het bezwaar van verschillende brandpunten voor verschillende kleuren zich steeds meer gevoelen doet.¹⁾ Het is dan ook niet zeer waarschijnlijk dat de grootste der bestaande refractors, die een objectief van 102 cm. middellijn heeft, en waarvoor Mr. Yerkes te Chicago in 1892 een „unlimited sum” beschikbaar stelde, binnen afzienbaren tijd door een grooteren verdrongen zal worden. Wanneer men dan toch de groote refractors bij tientallen telt, terwijl de spiegeltelescopen slechts sporadisch voorkomen, dan is de oor-

¹⁾ In de Lick-, en Yerkeskijkers verschilt de scherpstelling voor rood en blauw reeds ettelijke centimeters.

zaak hiervoor bijna uitsluitend gelegen in de technische moeilijkheden, verbonden aan het opstellen en in bruikbaren staat houden der groote spiegels. Zij mogen niet door buigen a. a. hun vorm veranderen en moeten beschermd worden tegen temperatuurs- en weersinvloeden, daar de

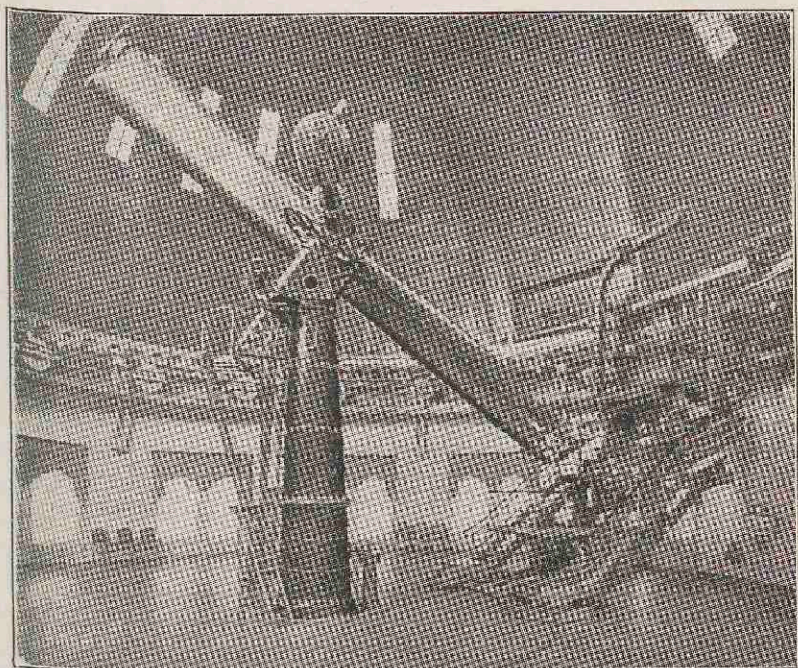


FIG. 42. VASTE VLOER EN BEWEGELIJKE TRAP.

zuiverheid der beeldvorming hiermede *ten nauwste* samenhangt. Op deze, schijnbaar zoo eenvoudige eischen, heeft in de 19de eeuw de techniek der reflectors voortdurend schipbreuk geleden, en eerst in de laatste 20 jaren kunnen een herleving van dit type van instrumenten opmerken. Daar deze echter geheel ten goede komt aan de hemelfotografie, zullen wij ze eerst in het 9de hoofdstuk nader behandelen.

Enkele woorden mogen hier ten slotte gewijd worden aan de inrichting van sterrenwachten. Zooals wij reeds

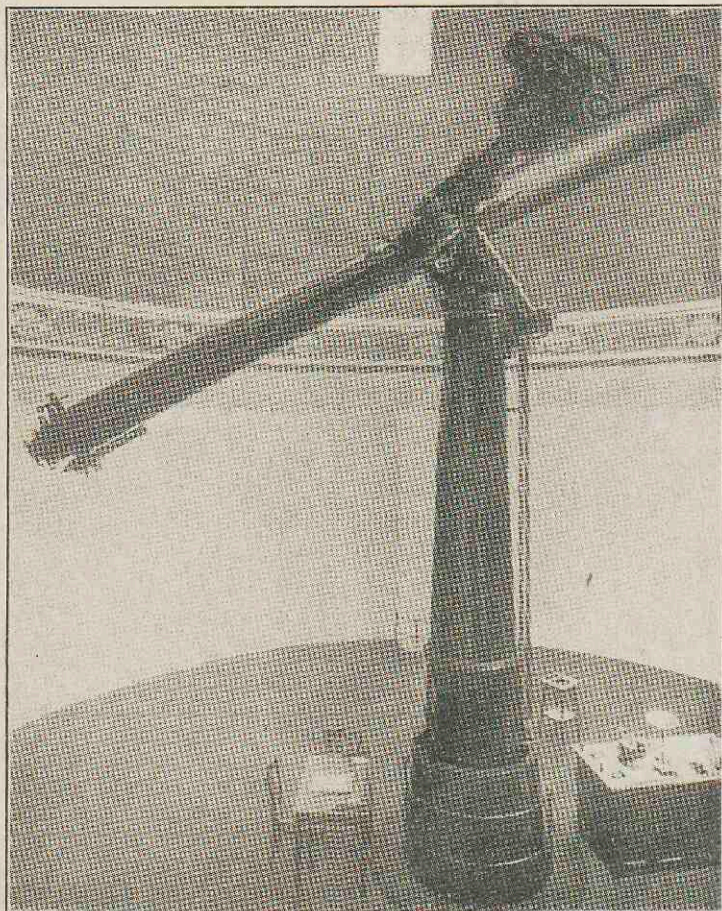


FIG. 43a DE BEWEGELIJKE VLOER.
laagste stand.

(Uit: Die Hamburger Sternwarte in Bergedorf.)

zagen is voor een sterrenwacht het allereerst noodige het bezit van minstens één uitstekend astronomisch uurwerk

en een instrument om de correctie daarvan te bepalen; op elke sterrenwacht bevindt zich dan oock een z. g. „meridiaan-zaal,” waarvan het dak eene opening in de richting Noord-Zuid heeft, en waarin een meridiaancirkel of meridiaankijker is opgesteld. Deze zaal is altijd, om een onwrikbare opstelling van het instrument te verzekeren, zoo laag mogelijk gehouden, terwijl een volkomen vrij uitzicht in den meridiaan

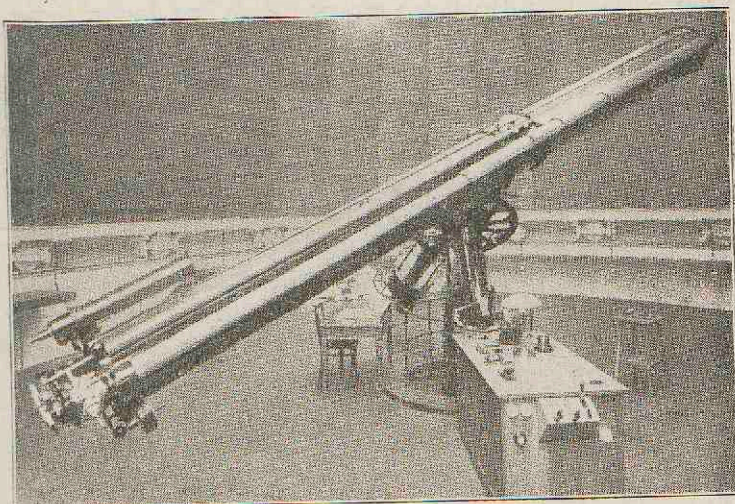


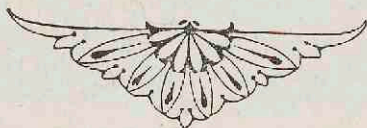
FIG. 43b. DE BEWEGELIJKE VLOER.
hoogste stand.

(Uit: Die Hamburger Sternwarte in Bergedorf.)

gewaarborgd moet zijn. Andere instrumenten kunnen desnoods hooger geplaatst worden om ermede over boomen en gebouwen heen te kunnen zien, maar toch verdient, vooral voor kijkers voor fotografisch werk, een lagere en dus waarschijnlijk vastere opstelling de voorkeur. Voor parallactische kijkers zijn gebogen observatietorens met vasten onder-, en draaibaren bovenbouw algemeen in gebruik; het draaien kan voor een kleinen toren desnoods met eene handraderbeweging geschieden, voor groote torens is dit onmogelijk

en wordt meestal electriche beweegkracht te hulp geroepen. Een toren van 20 Meter middellijn kan daarmede in 5 min. over een vollen cirkel worden gedraaid. De toren wordt geopend door het zijdelings verplaatsen van een of twee gebogen kleppen, welke beweging eveneens electricch geschiedt. Bij groote refractors heeft men voor de waarnemingen van hemellichten die laag boven den horizon staan, hooge stellingen noodig; men bevestigt deze in den vorm van een zware hangende trap aan den toren en maakt ze daarlangs bewegelijk. (Zie Fig. 42).

Ook kan men den geheelen vloer van den toren langs de fundatie van den kijker op en neer laten bewegen, zooals Fig. 43 (*a* en *b*) aangeven; zij stellen den grooten refractor der nieuwe sterrenwacht bij Hamburg voor in de twee uiterste standen van den bewegelijken vloer. De observatiegebouwen eener sterrenwacht moeten rustig gelegen zijn in een doorzichtigen en drogen dampkring. Kunstlicht mag in de omgeving niet zichtbaar zijn. De hoofdinstrumenten moeten elk in een afzonderlijk gebouw of toren zijn opgesteld en de waarnemers moeten allen op de terreinen der sterrenwacht kunnen wonen. De ligging van bijna alle z. g. „Universiteitssterrenwachten” (en Nederland kent geen andere) is dus van het standpunt van den *waarnemer* beschouwd, altijd te veroordeelen.



Het licht plant zich als aethertrilling voort in den vorm van een golfbeweging; de afstand tusschen twee overeenkomstige punten van zulk een golfbeweging heet de „golf-lengte” (λ), de tijd noodig om dien afstand af te leggen heet de „periode” (T). De snelheid van het licht is dus het quotient van deze beide

$$V = \frac{\lambda}{T}$$

Inplaats van de periode T wordt vaak het trillingsgetal (n) gebruikt; dit is het aantal trillingen per seconde en het is dus omgekeerd evenredig met T.

$$V = n \lambda$$

Onder „amplitude” verstaat men de hoogte der golfbeweging; deze is een maat voor de intensiteit (lichtsterkte), het trillingsgetal, de periode, of de golflengte in den vrijen aether bepalen de kleur van het z.g. homogene of monochromatische licht. Groen licht bijv. kan men kunstmatig uit menging van andere lichtsoorten (golflengten) verkrijgen, maar het is dan geen homogeen licht. Homogeen groen is licht van één bepaald golflengtegebied, dat altijd en overal hetzelfde is, en ontleend aan een bestudeering van het zonlicht.

Golflengten worden meestal benoemd in z.g. „Angströmsche eenheden” d. w. z. in tienmillioenste deelen van een millimeter

- 1 millimeter (mm) = 1 duizendste m.
- 1 micron (μ) = 1 duizendste mm.
- 1 millimicron ($\mu\mu$) = 1 millioenste mm.
- 1 °Angstr.eenheid (°AE) = 1 tienmillioenste mm.

Er zijn twee methoden om de verschillende golflengten te „scheiden,” d. w. z. om het samengestelde witte licht te ontleden in zijn kleuren, teneinde deze afzonderlijk te kunnen bestudeeren. Bij beide wordt bij voorkeur de lichtbron bijv. door toepassing van een spleet zeer smal genomen. Deze methoden zijn:

1°. het gebruik maken van de „breking” van het licht bij zijn overgang van de eene middenstof in de andere.

2°. het gebruik maken van de *buiging* van het licht bij zijn weg door een zeer nauwe opening.

Beide deze verschijnselen n.l. zijn voor verschillende golflengten verschillend.

EERSTE METHODE. Indien men wit licht (zie Fig. 44) door eene spleetvormige opening laat gaan, daarna door een lens en dan den lichtbundel, voordat

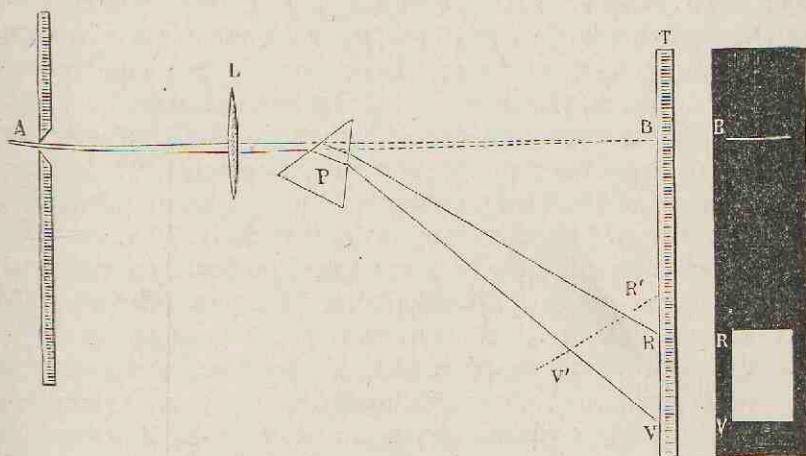


FIG. 44. DE VORMING VAN EEN PRISMATISCH SPECTRUM.

hij een *wit* beeld B van de spleet heeft kunnen vormen, op de zijde van een prisma P opvangt, zal elke golflengte een *afzonderlijk* spleetbeeld geven, omdat ze op één bepaalde, alleen voor haar geldende wijze, door het prisma gebroken wordt. Terwijl dus de lichtbron uit samengesteld (wit) licht bestaat, bestaat het beeld uit een aaneenschakeling van oneindig vele, verschillend gekleurde beelden, die vloeiend in elkaar overgaan. Er ontstaat een z.g. „prismatisch spectrum.”

De kleurgebieden en de golflengten, behorende bij het midden van elk van hen, zijn de volgende:

Rood	$\lambda = 6830$	°A E	Blauw	$\lambda = 4730$	°A E
Oranje	$= 6150$		Indigo	$= 4390$	
Geel	$= 5590$		Violet	$= 4100$	
Groen	$= 5120$				

TWEEDE METHODE. Indien men op een vlak of gebogen stuk spiegelmetaal een groot aantal fijne, vlak bijeen en evenwijdig aan elkaar gelegen groeven snijdt, dan ontstaat een z. g. „*buigings-rooster*;" samengesteld licht zal na terugkaatsing op dit oppervlak in de spectraalkleuren zijn uitgespreid, maar niet als een enkelvoudig spectrum, doch als een aantal z. g. „*buigingsspectra*," die elkaar gedeeltelijk bedekken, een steeds grooter wordende uitbreiding vertoonen, maar tevens snel aan intensiteit verliezen. Door deze laatste eigenschap vooral kunnen zij voor zwakke lichtbronnen geen dienst doen; zij zijn daarentegen van groote waarde bij de bestudeering van de problemen der zon. De samenstelling van een buigings-rooster vereischt een vergevorderde techniek, die voornamelijk door Rowland¹⁾ op een hoog peil gebracht is. Zijn „grote" roosters zijn 14 cm. lang en 5 cm. breed en bevatten ongeveer 6000 groeven per cm.! Daar bij het snijden van deze groeven het maken van een fout, waarvan het bedrag slechts een klein deel bedraagt van den afstand tusschen twee groeven, het te verkrijgen spectrum volkomen zou bederven, moeten tal van bijzondere voorzorgen genomen worden. Zoo werkte Rowland in onderaardsche kelders, die op constante temperatuur werden gehouden; een nagenoeg volmaakte schroef verplaatste de plaat telkens $\frac{1}{6000}$ cm. onder de diamanten snijstift, terwijl de invloed der zeer geringe fouten van de schroef nog automatisch onschadelijk werden gemaakt. Voor de groote roosters werkte dan de machine zes etmalen achtereen door; in de laatste jaren stelt men pogingen in het werk om, ten behoeve van het onderzoek der zon buigings-roosters te verkrijgen van nog grootere afmetingen, tot bijv. een lengte van 50 en een breedte van 35 cm. en ook hiertoe zal de techniek ongetwijfeld in staat blijken te zijn.

Vooral de eerste, de prisma-methode, heeft aanleiding gegeven tot een groot aantal verschillende spectraal-instru-

1) H. A. Rowland (1848—1901) was hoogleraar aan de John Hopkins Universiteit te Baltimore.

menten, die wij hier niet in details kunnen behandelen, maar waarvan wij toch in een paar woorden de algemeene beteekenis willen aangeven.

EEN SPECTROSCOOP dient voor visuëele bestudeering van een ontworpen spectrum. Aangebracht aan een astronomischen kijker, wordt daarvan de oculairbuis vervangen door het volgende samenstel: 1°. een „*collimator*,” d. i. een kijker die inplaats van een oculair een verstelbare spleet heeft in het brandpunt van zijn objectief. Deze wordt met de spleetzijde aan den astronomischen kijker bevestigd, en zoo gesteld dat op de spleet het beeld van het te onderzoeken hemellicht valt. Daar de spleet in het brandpunt van den collimator staat, treedt het licht uit het objectief daarvan in een evenwijdigen bundel uit; deze lichtbundel valt op 2°. een of meer *prisma's*, meestal van glas, waardoor hij verdeeld wordt in talrijke, elk voor zich evenwijdige lichtbundels, welke men opvangt op het objectief van 3°. den *spectroscopkijker*, die het licht thans als spectrum in zijn brandpunt vereenigt, waar het met een oculair bekeken kan worden. Gebruikt men veel *prisma's*, dan wordt het spectrum langer en het wordt dan onmogelijk het in zijn geheel gelijktijdig te bestudeeren. Veel *prisma's* kan men echter doorgaans niet gebruiken, omdat dan door terugkaatsing en opslorping een groot verlies aan intensiteit geleden wordt.

Een spectroscop is afgebeeld in Fig. 45.

EEN SPECTROGRAAF is een spectroscop, waarin het oculair en het oog van den waarnemer vervangen zijn door een fotografische plaat; de fotografische opname van een spectrum heet een „*spectrogram*.”

EEN OBJECTIEFPRISMA is een prisma, dat geplaatst wordt vóór het objectief van den astronomischen kijker, en dezelfde afmetingen heeft als dit, waardoor het zoowel om technische redenen als om economische alleen op kleinere kijkers gebruikt wordt. Het is een eenvoudig middel om vele spectra tegelijk te overzien of te fotografeeren; de op deze wijze verkregen, betrekkelijk zeer heldere,

sterrespectra zijn uit den aard der zaak zeer smal, omdat de lichtbron een lichtend *punt* is, maar men kan ze gemakkelijk eenige breedte geven, vooral bij fotografische opnamen. Men behoeft dan slechts het uurwerk dat den kijker de

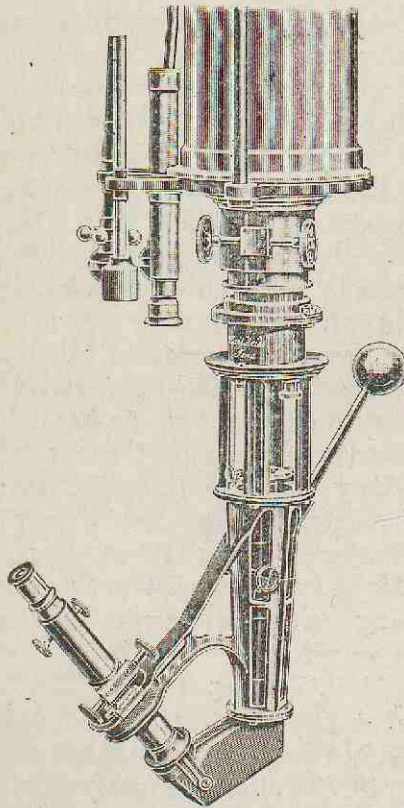


FIG. 45. SPECTROSCOOP.

De sterrenwacht te Utrecht bezit voor den kijker van 11.5 cm. een objectiefprisma voor visueele waarnemingen, de Nederlandsche Eclipscommissie bezit een dubbel objectiefprisma voor fotografische waarnemingen. In navolging van de Engelschen wordt dit instrument meestal *p r i s m a c a m e r a* genoemd.

schijnbare dagelijksche beweging van den hemel doet volgen, een weinig te doen versnellen of vertragen, waardoor het lijnvormige spectrum uitgerekt wordt tot een lintvormig spectrum. Bij visueel werk moet men het spectrum bekijken met een oculair van bepaalde constructie.

Een dergelijke inrichting wordt ook gebruikt om het spectrum van een lijnvormige lichtbron aan den hemel te bestudeeren, zooals deze zich bijv. vertoont wanneer bij eene zonsverduistering de schijf der zon reeds zoover door die der maan bedekt is, dat slechts een zeer smalle gebogen lichtsikkel zichtbaar is. Wat wij bij den spectrograaf de spleet van den collimator noemden, staat dan „in natura” aan den hemel.

Een spectroscop gaat over in een spectrometer, zoodra hij voorzien is van een inrichting om hetzij de onderlinge afstanden van bepaalde plaatsen in een spectrum, hetzij de golflengte uit te meten. Spectrogrammen worden in bepaaldelijk daarvoor uitgedachte instrumenten onder het microscoop uitgemeten; een spectrograaf is dus zelf nooit spectrometer.

EEN SPECTRO-HELIOGRAAF is een instrument waarin eerst een spectrum van de zon ontworpen wordt, daarna een uiterst klein kleurgebied uit dit spectrum verder geleid en ten slotte een fotografisch beeld van de zon ontworpen wordt, tot welks vorming *alleen* het licht uit dit enge kleurgebied heeft bijgedragen. In het Elfde hoofdstuk zal dit instrument uitvoeriger behandeld worden.

Keeren wij thans tot de spectra zelve terug. Van alle voorwerpen die zichtbaar zijn kan men zeggen dat zij een spectrum hebben, maar men moet daarbij twee hoofdgroepen onderscheiden. De eerste wordt gevormd door de zelf lichtgevende (licht *emitterende*) voorwerpen, hunne spectra heeten emissiespectra; het onderzoek dezer spectra betreft in hoofdzaak het meten van golflengten. De voorwerpen der tweede groep zijn niet zelf lichtend, maar zij kunnen zich kenbaar maken doordat zij een deel van het hun toegezonden licht opslorpen (absorbeeren) en daar de lichtsoorten die zij absorbeeren, zoowel als de wijze waarop zij dit doen teekenend zijn voor de stof zelve, zoo beoogt de bestudeering hunner spectra hoofdzakelijk te onderzoeken, welke lichtsoorten geabsorbeerd zijn geworden. Deze spectra heeten daarom absorptiespectra.

Een emissiespectrum kan zijn:

a. continu: het vertoont dan, des te zuiverder naarmate de spleet smaller is, een onmerkbaar in elkaar overgaan der golflengten; de oneindig vele spleetbeelden liggen oneindig dicht naast elkaar; de lichtbron zendt alle golflengten gelijk uit. Welke daarvan voor ons op de eene of andere wijze

zichtbaar worden, hangt van verschillende omstandigheden af. De gevoeligheid van het menselijk oog is het grootst voor geel licht en vermindert vandaar naar beide zijden gelijkelijk, om ten slotte ongevoelig te worden voor golflengten grooter dan 7500°AE en kleiner dan 4000°AE . De gevoeligheid der fotografische platen is in normale omstandigheden het grootst voor blauw of indigo licht, maar vermindert van daar *niet* gelijkelijk naar beide zijden; naar de zijde der grootere golflengten neemt de gevoeligheid zeer snel, naar die der kleinere golflengten zeer langzaam af. Het spectrum dat in deze normale omstandigheden gefotografeerd kan worden, strekt zich ongeveer uit van λ 4700 tot λ 2200, *ongeveer* omdat de belichtingstijd hierbij een groote rol speelt. Door bijzondere technische middelen (het z.g. „sensibiliseeren”) kan aan de fotografische plaat een 2^{de} gevoeligheidsmaximum worden toegevoegd, terwijl de natuurkundige bovendien methoden en instrumenten bezit om de zeer groote en zeer kleine golflengten te kunnen onderzoeken het z.g. „ultra-rood” tot λ 150000, het z.g. „ultra violet” tot λ 1200.

Een continu spectrum wordt uitgezonden door alle vaste en vloeibare lichamen bij hooge temperatuur en door alle gassen onder hoogen druk; het kan ons omtrent de scheikundige samenstelling van een stof niets leeren, wel echter omtrent haar temperatuur; hoe hooger deze is, des te meer wordt het violette deel van het spectrum zichtbaar.

b. een lijnenspectrum. Het vertoont dan (Fig. 46) op grootere en kleinere afstanden van elkaar gelegen heldere lijnen, welke elk voor zich of alle tezamen *eigen zijn aan een bepaalde stof*, zoodat haar optreden in een te onderzoeken spectrum meestal dadelijk kan doen besluiten tot de aanwezigheid van die stof in de lichtbron die het onbekende spectrum heeft uitgezonden. Het is sedert de ontdekking der metalen caesium en rubidium, door Bunsen en Kirchhoff in 1860, het klassieke middel om een nieuw element te vinden. Op velerlei manieren kan men het lijnenspectrum eener eenvoudige stof ontwerpen, zoo door een kleine hoeveelheid in

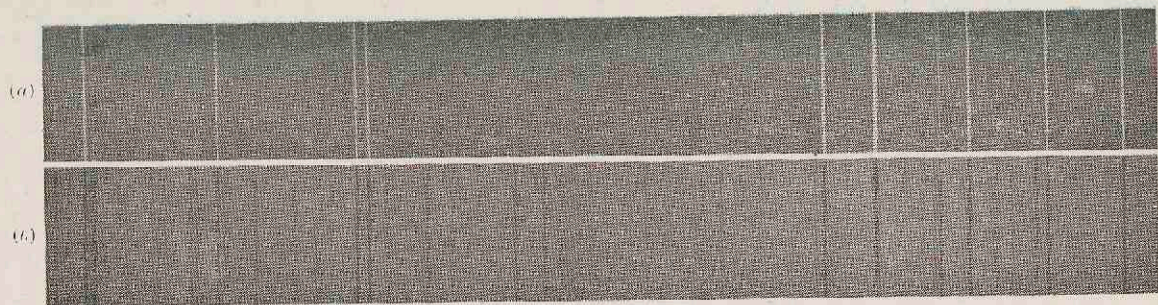


FIG. 46(a) EMISSIE (LIJNEN) SPECTRUM. (b) ABSORPTIESPECTRUM

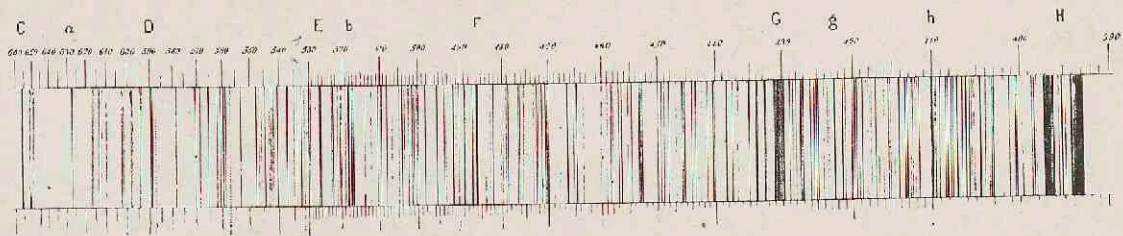
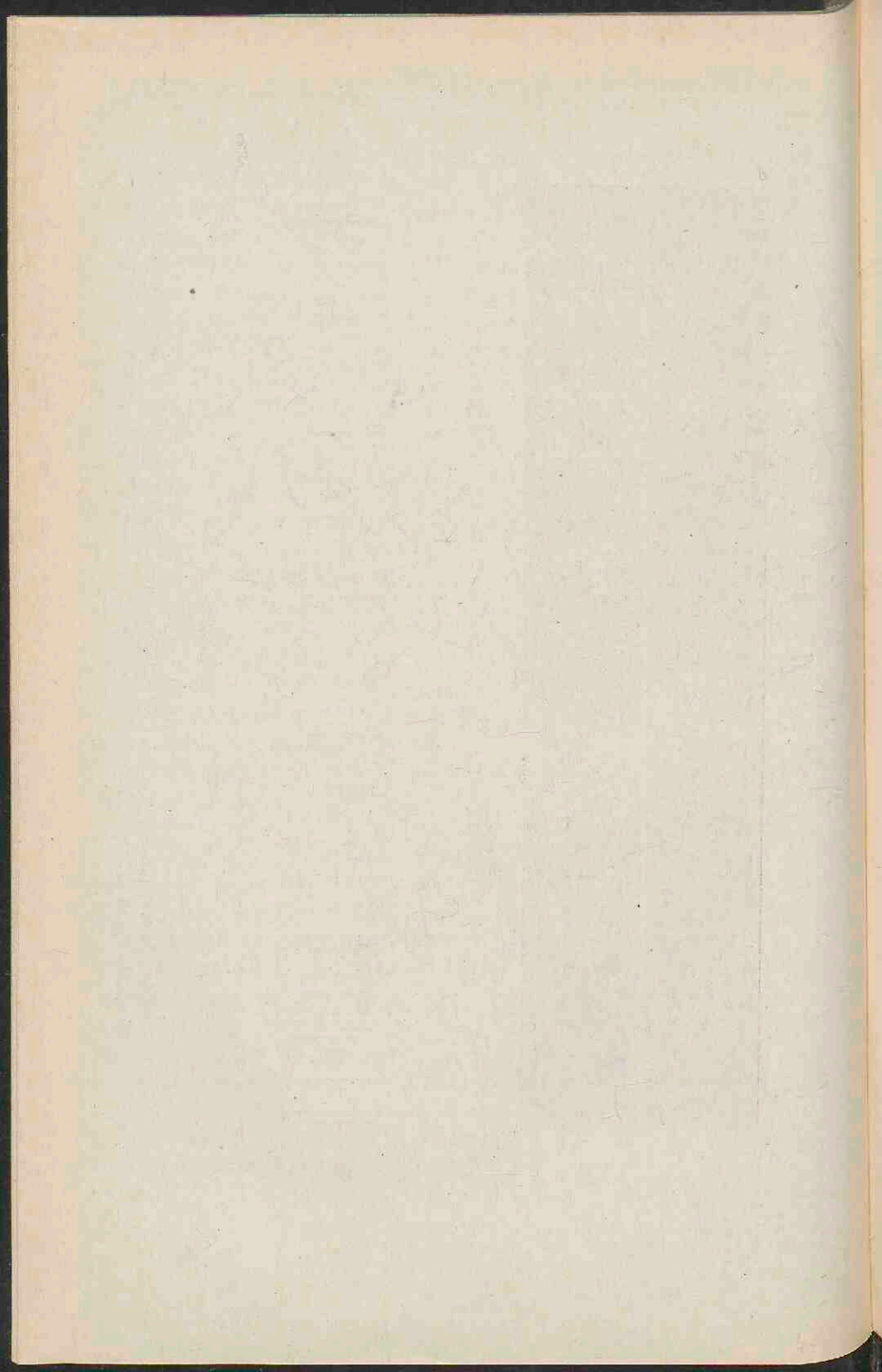


FIG. 47. ABSORPTIE-SPECTRUM DER ZON.

Links: rood; Rechts: violet.

C F en h zijn waterstof-lijnen; D is de dubbele natrium-lijn; de lijnen G en g, en de beide breede lijnen geheel rechts zijn calcium-lijnen; α is een tellurische (waterdamp)-lijn.



een vlam te houden als door het terwille van een hooge temperatuur te hulp roepen van de electriche booglamp (boogspectrum) of electriche ontladingen tusschen de te onderzoeken stof vervaardigde polen (vonkspectrum). Ten slotte ook door gassen in zeer ijlen toestand lichtend te maken door electriche ontlading in een z.g. „Geisslersche buis;” deze methode stelt den onderzoeker in staat om met dezelfde zeer geringe hoeveelheid eener stof telkens opnieuw een spectrum te ontwerpen.

c. een bandenspectrum. Het vertoont dan wazige „strepen;” somtijds treedt daarbij een merkwaardige structuur op, een opeenvolging van strepen, die alle naar de eene zijde scherp begrensd zijn, naar de andere zijde uitvloeien. Bij groote dispersie blijken deze dikwijls te bestaan uit groepen van lijnen, zoo dicht aaneengesloten, dat ze niet of nauwelijks meer afzonderlijk te onderkennen zijn. Vele koolstof-*verbindingen* bijv. geven dergelijke bandenspectra, terwijl ze onder zeer bepaalde omstandigheden van temperatuur en druk ook uitgezonden kunnen worden door enkelvoudige stoffen, bijv. kwik en stikstof.

Al de hier genoemde soorten van spectra zullen wij in de hemellichten terugvinden; onnoodig te zeggen, dat de grondslag der herkenning van bepaalde stoffen in onbekende spectra gevormd wordt door de nauwkeurige meting der golflengten, zoodat de bovenbehandelde spectraalapparaten aan hooge eischen moeten kunnen voldoen.

Wanneer wit licht, dat zooals wij zagen een continu spectrum geeft, op zijn weg naar het spectraalapparaat een gasmassa van lage temperatuur ontmoet, zal de continuïteit van het te voorschijn geroepen spectrum verbroken worden. *Het gas absorbeert n.l. alle golflengten die in zijn eigen lijnenspectrum voorkomen.* Ter plaatse waar in dit spectrum de heldere emissielijnen zouden optreden, treden nu (Fig. 46) donkere z.g. „absorptielijnen” op en het continue spectrum, doortrokken met deze donkere lijnen, heet absorptiespectrum. De zon en vele sterren zenden zulk een spectrum uit,

waaruit men het besluit trekt dat hun kern omgeven is door een gasvormigen dampkring van lagere temperatuur. De absorptielijnen in het zonnenspectrum (Fig. 47) heeten naar hem die ze het eerst in 1814 ten getale van 576 beschreven heeft: de „*Fraunhofersche*” lijnen.

De absorptielijnen (Fig. 46) hebben in het spectrum onder normale omstandigheden volkomen dezelfde plaats, breedte en uiterlijk aanzien als hunne tegenvoeters in het lijnenspectrum en het is voor de uitmeting eener onbekende lijn volmaakt onverschillig of men dit doet in een emissie- dan wel in een absorptiespectrum. Verandering echter van temperatuur en druk heeft grooten invloed op alle lijnen en in het algemeen op het geheele uiterlijk van een spectrum, dat daardoor soms zeer grillige veranderingen kan ondergaan. In *normale* gevallen echter wordt door verhooging der temperatuur de intensiteit en door vermeerdering van den druk de breedte der lijnen vergroot, terwijl in een absorptiespectrum de intensiteit der lijnen afhankelijk is van de diepte der absorbeerende laag. Wij zagen reeds dat onder *zeer* grooten druk een lichtend gas een *continu*-spectrum kan gaan uitzenden.

Uit al het bovenstaande blijkt voldoende van welk groot nut de bestudeering en de interpretatie van spectra voor de sterrenkunde is. De aanwezigheid van bepaalde lijnen en banden doet „im groszen und ganzen” besluiten tot de aanwezigheid van bepaalde stoffen in de verschillende hemellichten. Zoo zijn waterstof, helium, ijzer, natrium, calcium e.a. altijd ontwifelbaar te onderkennen; in de fijnere details van het onderzoek is echter de zekerheid der resultaten vaak minder groot en hier moet de fysicus in zijn laboratorium door een uitgebreid onderzoek naar het gedrag der spectra en spectraallijnen onder de meest verschillende omstandigheden de fundamenteen leveren, waarop de astronoom later het gebouw zijner conclusies zal moeten optrekken. Vooral tegenover het probleem der zon is men in deze richting krachtig werkzaam.

Behalve het onderzoek naar de in de hemellichten aanwezige stoffen, levert de bestudeering der spectra, zooals wij zagen, gegevens om een schatting omtrent de temperatuur te maken. Met bepaaldelijk daarvoor ingerichte instrumenten, z. g. „spectraalfotometers” kan men bijv. van een sterrespectrum de intensiteit der verschillende deelen vergelijken met die van het spectrum eener op constante temperatuur gehouden lichtbron en dan in een grafisch beeld aangeven hoe de intensiteit van het spectrum verandert met de golflengte. Zulk een grafisch beeld heet een „intensiteitskromme.” Doet men ditzelfde voor het spectrum eener andere ster, dan heeft die ster hoogere temperatuur, waarvoor het maximum harer intensiteitskromme meer naar de violette zijde van het spectrum gelegen is.

De spectra der hemellichten hebben echter voor den sterrenkundige ontegenzeggelijk de allergrootste waarde, in zooverre zij de mogelijkheid openen om uit de meting van geringe verplaatsingen der (emissie- of absorptie-) lijnen ten opzichte van haar normale plaats, de snelheid af te leiden waarmede de lichtbron, die het spectrum uitzendt, zich beweegt langs de lijn die haar met den waarnemer verbindt, of met een technische uitdrukking om de „radiale” snelheid, de snelheid „in de gezichtslijn” te meten. Naar het beginsel van Doppler-Fizeau verplaatst zich het spleetbeeld van een lichtbron naar *violet*, wanneer de lichtbron en de waarnemer elkander *naderen*, en naar *rood* wanneer zij zich van elkander verwijderen. Wanneer het in Fig. 47 weergegeven spectrum geldt voor een waarnemer en een lichtbron die zich beide in rust bevinden, dan kan men het effect van eene onderlinge nadering of verwijdering teweeg brengen, door de onder het spectrum geplaatste schaal een klein bedrag naar links of naar rechts te verschuiven. Daar deze verschuiving alleen afhangt van de snelheden van 1° het licht, 2° den waarnemer en 3° de lichtbron, en de beide eerste bekend geacht mogen worden, zoo volgt uit de uitmeting der genoemde lijnverschuiving onmiddellijk de snelheid der lichtbron in de gezichtslijn,

een grootheid die zich niet tegen de sfeer projecteert en die dus zonder dit hulpmiddel, dat het eerst in 1868 door Huggins visueel op *Sirius* is toegepast, onmogelijk te begrooten zou zijn, een hulpmiddel intusschen dat eerst na het invoeren

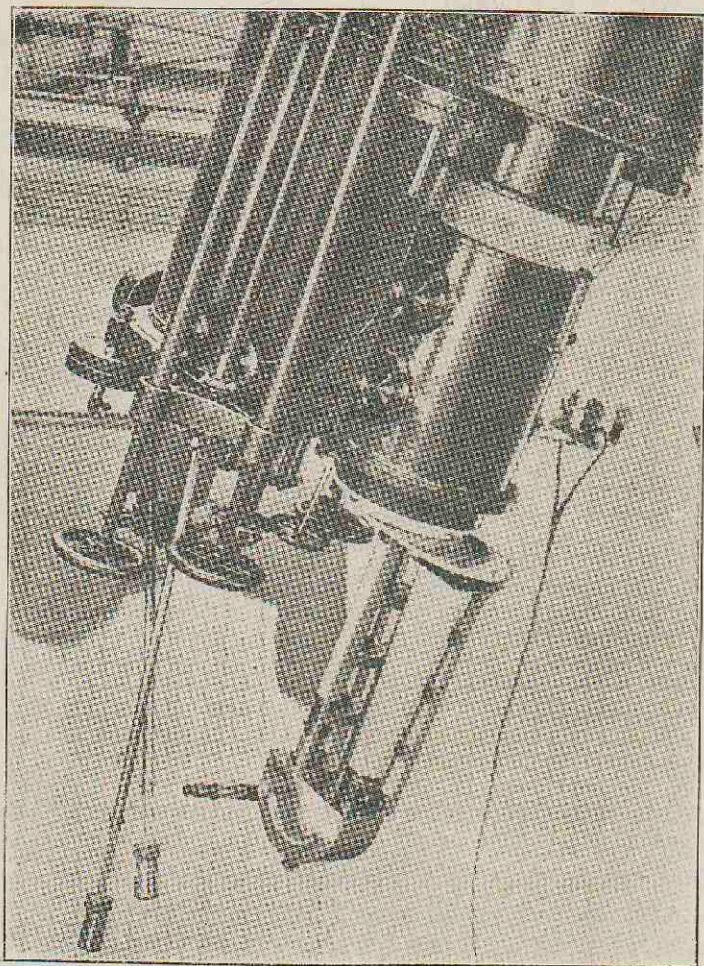


FIG. 48. STERRESPECTROGRAAF.
(Uit: The Astrophysical Journal XI).

van fotografische methoden tot zijn volle waarde is gekomen. Overtalrijk zijn de practische resultaten met deze methode bereikt en groot het aantal ontdekkingen waartoe zij geleid heeft. Snelheden van sterren, bewegingen in den zonedampkring, de beweging van de zon in het Heelal, haar omwentelingsduur en die van enkele planeten, de bouw van den ring van *Saturnus*, het bestaan van dubbelsterren, waarvan de componenten nooit zichtbaar zijn, het karakter van een bepaalde groep van veranderlijke sterren, ja zelfs het al of niet aanwezig zijn van waterdamp in de atmosfeer van *Mars*, op al deze vraagstukken is een antwoord ingekomen op den grondslag van het beginsel van Doppler-Fizeau.

Het bedrag van de hier besproken lijnverschuiving tengevolge van radiale snelheden, moet men zich intusschen als zéér gering voorstellen; zelfs de weinig voorkomende snelheid van 100 KM. per seconde heeft een lijnverschuiving ten gevolge die als men de krachtigste hulpmiddelen aanwendt niet grooter is dan 0.1 mm! Met het verscherpen der methoden is natuurlijk de verbetering der instrumenten en meettoestellen hand aan hand gegaan, waarbij voornamelijk getracht moest worden de stabiliteit en de uitbreiding van het spectrum (de „dispersie”) te vergrooten. Voor sterrespectra doet zich echter het ongerief voor, dat een vergrooting der dispersie een vermindering van de intensiteit der toch reeds lichtzwakke spectra tengevolge heeft.

Als voorbeeld van een model sterrespectrograaf geven wij in Fig. 48 dien van het Astrophysisch Observatorium te Potsdam. De wijdte van de spleet is terwille van de zuiverheid van het spectrum niet grooter dan 0.01 mm. en bijzondere voorzorgen zijn getroffen om het beeld eener ster steeds op die smalle spleet te houden. De 70 cm. lange camera is rechts onder aan haar conische gedaante en lichte kleur te herkennen; de halfcirkelvormige kast bevat drie prisma's en het geheele spectraalapparaat wordt tijdens het gebruik (de exposities duren soms vele uren) door een electriche inrichting met een nauwkeurigheid van 0°.1 op constante temperatuur gehouden.

IX HET FOTOGRAFEEREN DER HEMELLICHTEN

DE fotografie is zonder eenigen twijfel de laatste 25 jaar het machtigste hulpmiddel van sterrenkundig onderzoek, een hulpmiddel dat slechts in enkele bijzondere gevallen voor de visueele waarneming in belangrijkheid onderdoet. Zoo is de oppervlakte eener groote planeet voornog beter te bestudeeren aan een visueelen kijker dan op een fotografisch beeld en naar de meening van enkele selenografen¹⁾ geldt, ondanks de schitterende fotografische opnamen, hetzelfde voor de oppervlakte der maan. Zoo laat ook de fotografie ons in den steek bij alle waarnemingen in de schemering of bij helder maanlicht, zij is ondoelmatig bij eenigszins uitgebreide waarneming van veranderlijke sterren en onbruikbaar bij absolute plaatsbepalingen. *De meridiaancirkel, het standaard-instrument der sterrenkunde, is tot dusverre niet door een fotografischen kijker verdrongen.*

Hiertegenover staan vele belangrijke voordeelen. Doordat de indruk op een fotografische plaat niet, zooals die op ons netvlies, alleen van de *intensiteit* der lichtbron afhangt, maar ook van den *duur* harer werking, verkrijgt de fotografische methode een macht die nauwelijks grenzen kent. Langere belichtingstijden brengen voorwerpen in beeld, welker licht of zoo zwak of van zoo bijzonderen aard is, dat het menschelijk oog ze nimmer zou kunnen aanschouwen,

¹⁾ Maanbeschrijvers (*σελήνη* = maan).

althans niet had kunnen ontdekken. Zoo zijn alle eenigszins zwakke planetoïden en tal van nevelvlekken fotografisch ontdekt, en hetzelfde geldt voor de zeer lichtzwakke wachters van *Jupiter* en *Saturnus*. Zoo zijn er hemellichten, die zoo sterk „actinisch” zijn, d. w. z. die zoo uitsluitend fotografisch werkzame stralen uitzenden, dat hun beeld in verbluffende helderheid op de fotografische plaat verschijnt, maar nooit of nauwelijks langs directen weg op ons netvlies; dit is o. a. het geval met een ster die in het midden van den ringnevel van *de Lier* (bldz. 435) geplaatst is, met den merkwaardigen „*Amerika-nevel*” en vele andere dergelijke hemelverschijnselen.

Maar niet alleen legt de fotografische methode astronomische verschijnselen vast, die zonder haar aan ons onderzoek zouden ontsnappen, zij teekent ze als regel tevens aan met een fijnheid die voor het menschelijk oog onbereikbaar is, omdat het òf te snel vermoeid is, òf het verschijnsel zoo langzaam in zich opneemt, dat de storende invloed eener onrustige lucht inmiddels de overhand krijgt. Zij legt ze ook vast zonder eenig vooroordeel en heeft daardoor op de enkele, bovengenoemde uitzonderingen na, het „*teekenen*” verdrongen, een waarnemingsmethode die behept is met tal van fouten, welke hun oorsprong hebben in het oog van den waarnemer, in zijn teekentalent en meerdere of mindere artistieke neigingen. De hemelfotografie heeft zich verder meester gemaakt van het geheele gebied der zonneverschijnselen, en van dat der spectra en heeft de groote verdienste haar indrukken niet door den tijd te doen verzwakken. Ook mag niet vergeten worden de snelheid en het gemak waarmede zij werkt. Welk menschelijk oog krijgt in den tijd van 1 seconde een behoorlijken, onuitwischbaren indruk van de geheele oppervlakte der maan? En welke visueele waarnemer herkent tusschen het gewemel der zwakkere sterren in het veld van zijn kijker binnen twee uur tijds een drietal nog niet bekende leden van ons zonnestelsel? Hencke heeft, toen er vier kleine planeten ontdekt waren, en het vermoeden geopperd werd, dat er in de ruimte tusschen

de banen van *Mars* en *Jupiter* nog meer kleine planeten zwerven, vijftien jaren lang (1830—1845) visueel gezocht naar een sterretje, dat zich door een betrekkelijk snelle beweging tusschen de andere sterren als planetoïde zou ontpoppen, en tegenwoordig ontdekt men er gemiddeld 20 per jaar langs fotografischen weg.

De hemelfotografie brengt groote hemelgebieden gezamenlijk in beeld, levert daardoor nauwkeurige metingen „en masse” in korten tijd, zoo bijv. 200 sterrespectra op ééne plaat, en 4000 plaatsbepalingen van sterren in ééne week, een aantal dat van de visueele methode enkele jaren van ingespannen arbeid zou vorderen.

Wanneer wij ten slotte nog in herinnering brengen, dat vele fouten van optische en mechanische hulpmiddelen als lenzen, prisma's, spiegels en drijfwerken van kijkers, benevens vele „persoonlijke” fouten van den waarnemer door fotografische methoden ontdekt en bestudeerd zijn geworden, dan is in korte trekken een beeld gegeven van de beteekenis der fotografie op het gebied der sterrenkunde.

Wij zullen thans vluchtig enkele methoden en instrumenten behandelen, om de toepassingen op het fotografeeren van bepaalde hemellichten tot de 2^{de} afdeling uit te stellen. Een fotografisch objectief moet eenigszins anders gebouwd zijn dan een visueel, omdat het laatste de gele, het eerste de violette stralen zoo goed mogelijk in één punt vereenigen moet; dit bereikt men bijna altijd door de lenzen anders te construeeren en ze tot een afzonderlijk z.g. „fotografisch” objectief samen te voegen, en men kan dan ook als regel zeggen dat een fotografische kijker een onbruikbaar visueel-, en een visueele kijker een onbruikbaar fotografisch beeld geeft. Men kan dit euvel o. a. op de drie volgende manieren verhelpen. De eerste bestaat hierin dat men bij den visueelen kijker een losse „correctielens” heeft en deze vóór het objectief plaatst zoodra men van de visueele waarneming op de fotografische overgaat. Volgens de tweede methode maakt men de buitenste lens van bijzonderen vorm en bewegelijk; in den eenen stand vormt zij dan met de binnenste lens een

visueel objectief, keert men ze echter om en verschuift ze een weinig in de richting der kijkeras, dan vormt ze met de binnenste lens een *fotografisch* objectief. De derde methode eindelijk bestaat in het maken van een drielenzig objectief, dat alle stralen nagenoeg in hetzelfde brandpunt vereenigt. Dit is echter tot dusverre slechts voor kleine objectieven eenigszins gelukt; de prisma-camera der Nederlandsche Eclipscommissie (zie bldz. 142) is o. a. van een dergelijke „foto-visueele lens” voorzien.

Nagenoeg algemeen echter werkt men niet met deze correctiemiddelen en doet geen fotografische waarnemingen met visueele kijkers.

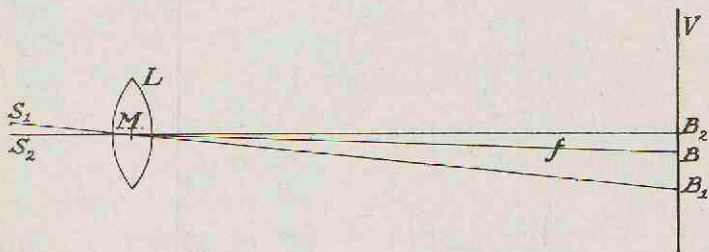


FIG. 49.

De fotografische kijkers zijn in twee groote groepen te verdeelen, n.l. *a.* die welke gegevens moeten leveren voor nauwkeurige *plaatsbepalingen* van sterren a. a., en *b.* die welke slechts *afbeeldingen* moeten geven van hemellichten (kometen, nevels) of hemelverschijnselen (melkweg, meteoren, zodiakaallicht). Een derde groep, die wij onder *c.* zullen behandelen, kan, mits met de uiterste zorg samengesteld, zoowel het werk van groep *a.* als dat van groep *b.* op zich nemen.

a. Een fotografische refractor voor metingen (uitmeten van onderlinge afstanden op de fotografische plaat als grondslag voor het berekenen van hunne bewegingen en hunne afstanden tot de zon, enz.) moet een onwrikbaar vaste opstelling, een betrekkelijk grooten brandpuntsafstand en een uitstekend geregeld drijfwerk bezitten. Een groote

brandpuntsafstand is noodig om te maken dat een kleine boogafstand aan de sfeer door een eenigszins behoorlijken lengte-afstand op de plaat wordt voorgesteld. In Fig. 49 stelt L het objectief, V het brandvlak van den kijker voor. M B is dus de brandpuntsafstand f . Wanneer twee sterren S_1 en S_2 dicht bij elkaar aan den hemel staan, bijv. op een afstand van r' , dan komen hunne beelden in B_1 en B_2 dicht bijeen op de fotografische plaat te liggen. Nu is hoek $B_1 M B_2 = r'$ en de lengte-afstand $B_1 B_2$ is dus uit dezen hoek en f gemakkelijk te berekenen. Hoe groot f , des te grooter $B_1 B_2$. Om later te bespreken redenen echter wil men een bepaalde waarde behouden voor $\frac{d}{f}$ d. i.

voor de verhouding van de middellijn van het objectief tot den brandpuntsafstand, en daar d niet onbegrensd te vergrooten is, kan men dit dus f ook niet. Bij fotografische meet-refractors wordt veelal $f = 10 d$ genomen; bij visueele kijkers is deze factor meestal grooter, n.l. 15 tot 20 ¹⁾.

De kijker moet een uitmuntend geregeld drijfwerk bezitten, dat hem bij lange exposities zoo nauwkeurig mogelijk de schijnbare hemeldraaiing kan laten volgen, waardoor de lichtindruk van een ster desnoods uren achtereen zuiver op hetzelfde punt van de fotografische plaat gevestigd blijft. De beelden worden dan (met inachtneming van de later te noemen voorzorgen) kleine cirkelvormige schijfjes en het meten van de plaats hunner middelpunten zeer nauwkeurig. Hoe goed echter het drijfwerk geregeld is, toch kan men lange exposities niet automatisch doen plaats hebben. Het drijfwerk compenseert n.l. een regelmatige hemeldraaiing en houdt geen rekening met de onregelmatigheden der refractie en de fouten van de opstelling; men is daarom genoodzaakt dit zelf te doen en te zorgen dat het licht eener ster dezelfde plek der plaat blijft treffen, ook al ontruikt de ster zich na enkele uren tengevolge der refractie zeer

1) De Leidsche en Utrechtsche refractors hebben gelijke d , maar verschillende f ; voor den eersten is $f = 15 d$, voor den tweeden $f = 12.3 d$.

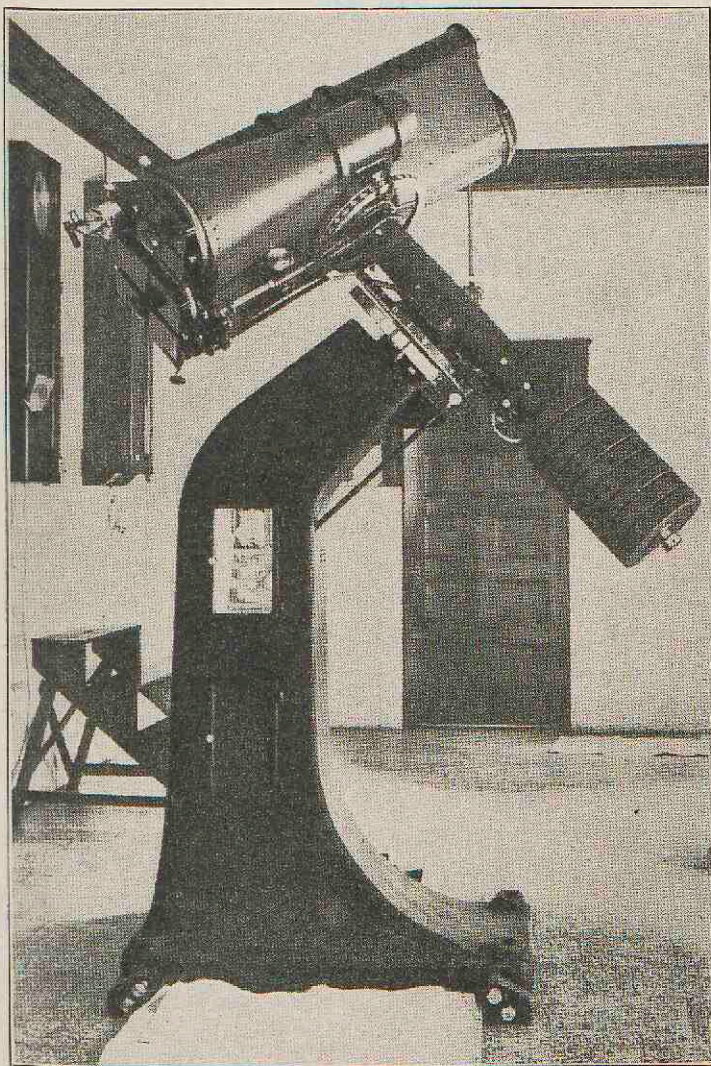
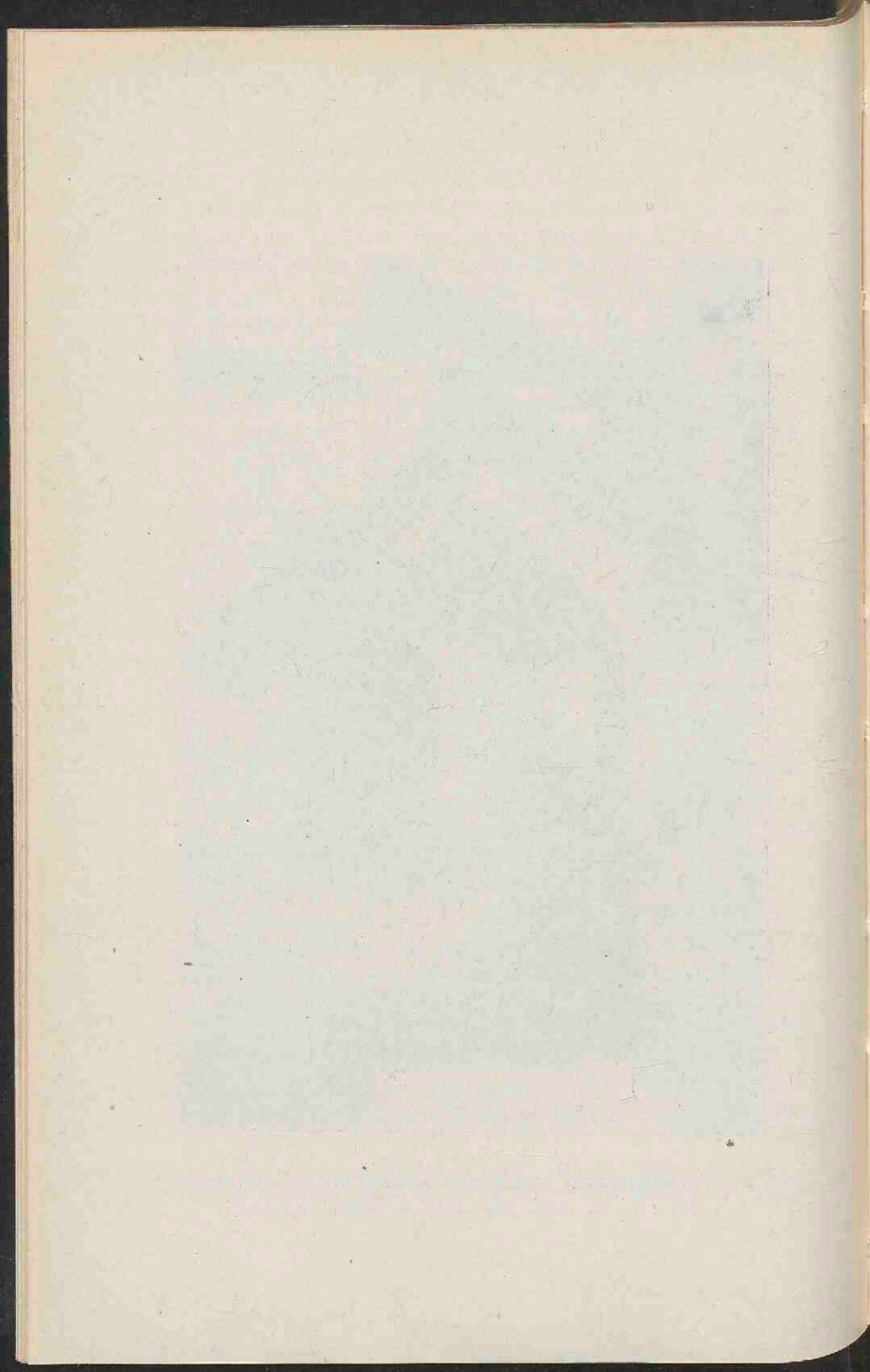


FIG. 50. FOTOGRAFISCHE KIJKER MET KORTEN BRANDPUNTSAFSTAND.
(Uit: G. E. Hale, The study of stellar evolution.)



merkbaar aan de regelmatige hemeldraaiing. Naar het voorbeeld van Henry te *Parijs* bouwt men terwille van dit z.g. „volgen,” een fotografischen kijker als „dubbelrefractor,” d. w. z. men vereenigt een fotografischen kijker en een ongeveer even grooten visueelen kijker zoo stevig mogelijk in één vassing (Fig. 39 en 50) en zóó dat de assen der kijkers zuiver evenwijdig loopen. Men voorkomt door deze koppeling dat de beide kijkers ongelijk doorbuigen, waardoor een correctie aan den volgekijker een ander effect heeft op den fotografischen kijker. Vroeger „volgde” men veelal aan een naast den grooten kijker bevestigden kleinen kijker, een z.g. „zoeker,” zooals ook visueele refractors hebben, een kijker met groot veld en zwakke vergrooting; deze heeft echter een andere doorbuiging en geeft door zijn veel kleinere f een onvoldoende lineaire verplaatsing in het brandvlak waaronder de resultaten noodzakelijk moesten lijden.

Het „volgen” moet aan groote kijkers met veel zorg geschieden; men stelt in den volgekijker de ster die ongeveer op het midden der plaat moet worden afgebeeld, op het kruispunt van twee in het brandvlak gespannen fijne draden en neemt de knoppen der stangen in handen, waarmede men door middel van fijne raderen aan de beweging van den kijker kleine correcties in uurhoek en declinatie kan geven. Bemerkt men een verplaatsing van de ster ten opzichte van het dradenkruis, dan wordt met deze correctieschroeven de kijker zooveel bewogen dat de ster weder zuiver op het kruispunt staat. Het vereischt daarbij eenige oefening om snel te kunnen beoordeelen aan welken invloed de verplaatsing der ster te wijten is; is ze een gevolg van de onrustigheid der lucht, dan behoeft natuurlijk geen correctie te worden aangebracht.

Een paar getallen mogen ten slotte de vereischte nauwkeurigheid bij deze fotografische opnamen kenschetsen. Een fotografische refractor van $d = 34$ cm. en $f = 340$ cm. levert een opname waarop $1'$ aan de sfeer door 1 mm. wordt afgebeeld ¹⁾, en waarop de zwakste sterren, die moeten

¹⁾ Men kan dit uit Fig. 49 gemakkelijk berekenen: $x = 3400 \text{ tg } 1' = 1 \text{ mm.}$

worden uitgemeten, een schijfje vertoonen van ongeveer $3''$ middellijn, dat, wil het voor zeer nauwkeurige meting geschikt blijven, geen grootere vervorming mag ondergaan dan $1''$. Daar $1' = 1$ mm. is, beteekent deze eisch dat het beeld der ster op de plaat geen eenigszins blijvende verplaatsing mag ondergaan grooter dan $\frac{1}{60}$ mm. d. i. 0.017 mm.!

b. De fotografische meet-refractor kan slechts een zeer klein deel van den hemel gelijktijdig in beeld brengen; het „veld” is klein en het deel daarvan, waarin de metingen groote nauwkeurigheid hebben, is nog kleiner. Bovendien is de lichtsterkte wel groot voor sterren en planeten, maar niet voor lichtzwakke oppervlakken van grootere uitgebreidheid als nevelvlekken, kometenstaarten e. d. De verklaring hiervan is (als men alleen geometrische beschouwingen laat gelden) de volgende: voor sterren is de lichtsterkte alleen evenredig met de grootte van het objectief, d. i. met d^2 . Een kijker met $d = 10$ is viermaal lichtsterker dan een kijker met $d = 5$, hetgeen beteekent dat men dezelfde sterren er mede kan fotografeeren in viermaal korter tijd.¹⁾ Voor oppervlakken speelt, behalve d , ook f een rol. Tweemaal grootere f beteekent immers een viermaal grootere afbeelding op de plaat, d. w. z. viermaal minder licht *per eenheid van oppervlak*; de lichtsterkte is dus niet alleen evenredig met d^2 maar tevens omgekeerd evenredig met f^2 . Wanneer men dus twee kijkers van 15 cm. objectief heeft, de eene met een brandpuntsafstand van 225 cm., de andere met een van 90 cm., dan is voor zoover het het afbeelden van sterren betreft, de lichtsterkte van beide theoretisch (de practische resultaten zijn eenigszins afwijkend) dezelfde, maar voor het afbeelden van oppervlakken is de korte kijker met $\frac{d}{f} = \frac{1}{6}$ ruim zes ($\frac{225}{36}$) maal zoo lichtsterk als de lange

1) Met een kijker als de op bldz. 159 beschouwde, verkrijgt men met een belichtingstijd van ongeveer 0.5 sec. alle sterren die voor het bloote oog zichtbaar zijn.

kijker met $\frac{d}{f} = 1/15$, en de belichtingstijden kunnen dus naar evenredigheid korter worden genomen. Zoo heeft, om een greep uit tallooze voorbeelden te doen, Wolf te Heidelberg de nevels, waarin de Pleiaden-sterren gehuld zijn, met een *korten* kijker van 6 cm. objectief in den tijd van 1 uur even duidelijk op de fotografische plaat kunnen afbeelden als Henry te Parijs het gedaan had met een *langen* kijker van 34 cm. objectief na ettelijke uren belichting.

Dit is een niet te onderschatten voordeel; de objectieven kunnen kleiner genomen worden, de kijkers worden vele malen goedkooper en handelbaarder en vereischen geen grooten, kostbaren koepelbouw. Met een korten brandpuntsafstand echter is met de gebruikelijke twee-lenzige objectieven geen groot gezichtsveld te verkrijgen; men construeert daartoe drie- of vierlenzige objectieven, die velden geven tot 200 vierkante graden toe, terwijl voor den fotografischen refractor een veld van 4 vierkante graden uitzondering is.

Zoo ontstaan de kleine, eenigszins wanstaltige fotografische kijkers van den tegenwoordigen tijd, waarvan Fig 50 een kenschetsend voorbeeld is; de verhouding $\frac{d}{f}$ wordt daarbij soms $= 1/3$ genomen.

Aan het plaatsen van de fotografische plaat in het brandvlak van den kijker, moet het zoeken van dat vlak, het z. g. „scherp stellen” (focusseeren) voorafgaan. Dit geschiedt proefondervindelijk; men brengt het drijfwerk van den kijker niet in werking, waardoor de sterren streepjes trekken op de plaat en exposeert verscheidene malen achtereen met verschillende standen van de camera-buis. Ruwweg heeft men zich reeds visueel met behulp van een blauw glas overtuigd hoe de stelling der plaat *ongeveer* zijn moet; men wisselt de zoo verkregen stelling telkens bijv. met 2 mm., beoordeelt de scherpte der getrokken sterresporen, en ontleent daaraan een verbeterde scherpstelling; deze wisselt men wederom, thans telkens bijv. met 0.2 mm. en verkrijgt zóó de focusseering voldoende nauwkeurig.

c. Een derde soort van fotografische kijkers zijn de reeds op bldz. 131 genoemde spiegeltelescopen. Deze hebben, zooals daar gezegd is, het voordeel van volkomen achromasie (zij vereenigen de verschillende golflengten zuiver in één punt) en groote lichtsterkte ($\frac{d}{f} = 1/5$ tot $1/8$) waardoor zij zich ook voor de afbeelding van lichtzwakke oppervlakken leenen, maar zij hebben een klein veld. Wij zagen op bldz. 133 hoe jaren lang de moeilijkheden der opstelling belemmerend gewerkt hebben op de krachtige ontwikkeling van deze instrumenten; daarom mogen aan het slot van dit hoofdstuk enkele bijzonderheden vermeld worden aangaande den bouw van den grooten spiegeltelescoop van het „*Mount Wilson Solar Observatory*.” Deze merkwaardige inrichting, waarheen de astronomen van onzen tijd als om strijd een bedevaartgang ondernemen, ligt in het Zuiden van Californië, 45 KM. van de kust, op een hoogte van 1800 M., nabij de steden Los Angeles en Pasadena. Aan de meteorologische eischen is nagenoeg volkomen voldaan; de hellingen van den berg zijn met bosschen begroeid, die een natuurlijke bescherming tegen de zonnearmte vormen; de nevels uit zee en de lagere wolken blijven als regel onder het niveau der sterrenwacht en de lucht is er behalve zeer doorzichtig, ook langen tijd achtereen helder met nagenoeg onveranderlijken barometerstand en weinig wind. Deze voordeelen zijn in getallen uitgedrukt nog sprekender: in den zomer van 1907 was het 112 dagen achtereen helder en in 3^u.8 verkreeg men er eene fotografische opname der Pleiaden, in details gelijk aan die, voor welke men aan de zooveel lager gelegen Yerkes-sterrenwacht met hetzelfde instrument een belichtingstijd van 9^u.8 noodig had.

Het was in de aan het Mount Wilson Observatorium verbonden „optical shop” dat Ritchey in 1905 de eerste hand legde aan den grooten spiegel van 1.52 Meter (60 inches) middellijn, die in 1907 voltooid werd en waarvan Fig. 51 een afbeelding geeft in nog vlakken toestand. Hij is vervaardigd van 20 cm. dik spiegelglas uit de werkplaatsen van

St. Gobain (Noord-Frankrijk); dit glas moet een zeer regelmatige structuur hebben en zorgvuldig gehard kunnen worden.

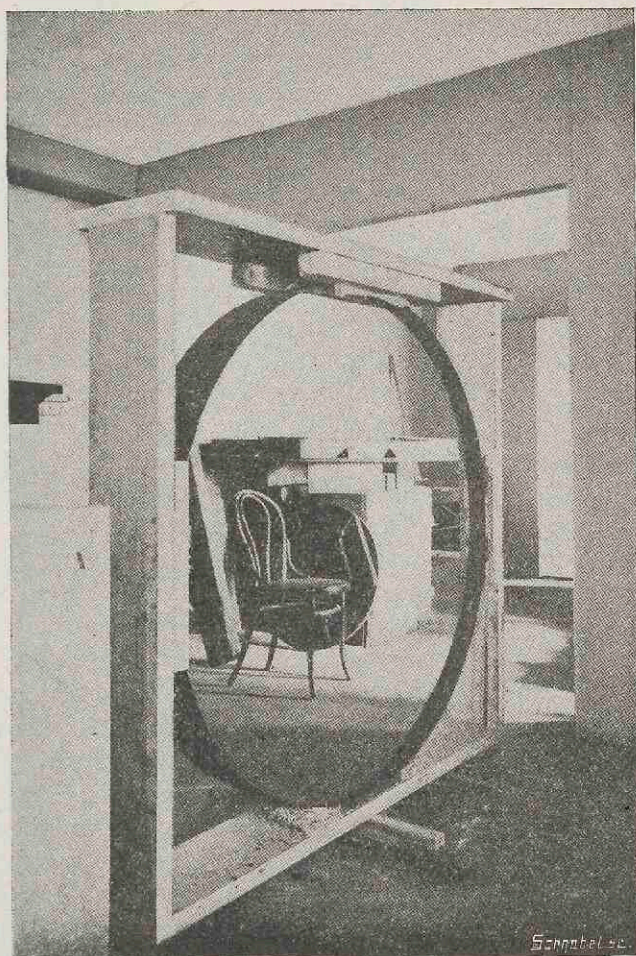


FIG. 51. SPIEGEL VOOR DEN 60 INCH REFLECTOR VAN HET
MOUNT WILSON OBSERVATORIUM
(Uitg. G. E. Hale, The study of stellar evolution)

Voor- en achterzijde worden gepolijst en verzilverd. Het moeilijkste werk is echter het uithollen naar het beloop eener,

om hare as gewentelde, parabool, den eenigen vorm waarbij al het opgevangen licht na terugkaatsing werkelijk in één punt vereenigd wordt. Daartoe is de voorzijde eerst geslepen naar het beloop van een bol met een straal van 17 meter, waarbij alle mogelijke voorzorgen genomen zijn om het krassen van het glas door stofdeeltjes a. a. tegen te gaan. Het aldus verkregen bolvormig beloop wordt a. h. w. „gecorrigeerd” tot een parabolisch beloop. Men kan zich van den aard van dit werk een denkbeeld vormen, als men weet dat het hoogste bedrag van deze correctie 0.05 mm., en voor alle zonae verschillend is. Ettelijke maanden waren met deze bewerking gemoeid en de spiegel werd eerst afgeleverd toen er nergens eene afwijking van den juisten vorm te constateeren viel grooter dan 0.00005 mm.!

Toen deze spiegel in December 1908 werd opgesteld in een expres daartoe ontworpen, zeer solide stalen kijkergeraamte waarin hij niet verbuigen, verschuiven of hellen kan en dat zoo zuiver mogelijk bewogen kan worden door een drijfwerk, welks beweging door middel van een zorgvuldig bewerkt wormrad van 3 meter middellijn wordt overgebracht, bleek hij geen onveranderlijk scherpe beelden te geven, indien de temperatuur der naaste omgeving eene dagelijksche schommeling van meer dan 2° Fahr. vertoonde. Daar in Juni 1909 de kijker aan dagelijksche temperatuurwisselingen van 20° Fahr. blootstond, welke o. a. door hun invloed op de stalen buizen den brandpuntsafstand met een bedrag van 1 mm. deden wisselen, kon derhalve aan fijner werk met dezen nieuwen kijker niet gedacht worden, voordat men er in geslaagd zou zijn hem in een omgeving van nagenoeg standvastige temperatuur te houden. Een tegen de zonnewarmte beschuttend scherm van dik zeildoek bracht in de volgende maand de temperatuurswisselingen en daarmee het veranderen van den brandpuntsafstand tot de helft van hun bedrag terug. Verschillende proeven, voornamelijk bestaande in het omgeven van het spiegelgedeelte van den kijker met een mantel, waarin water circuleerde dat gehouden werd op de te verwachten avond-temperatuur der lucht,

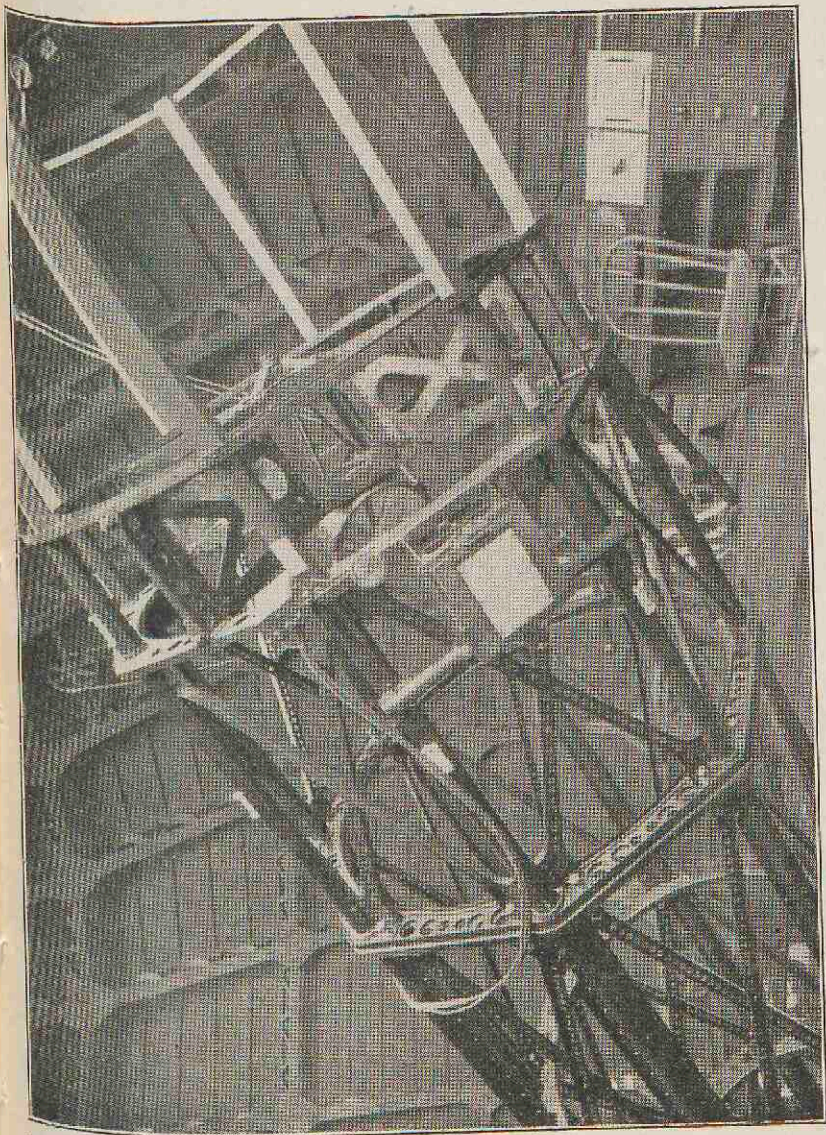
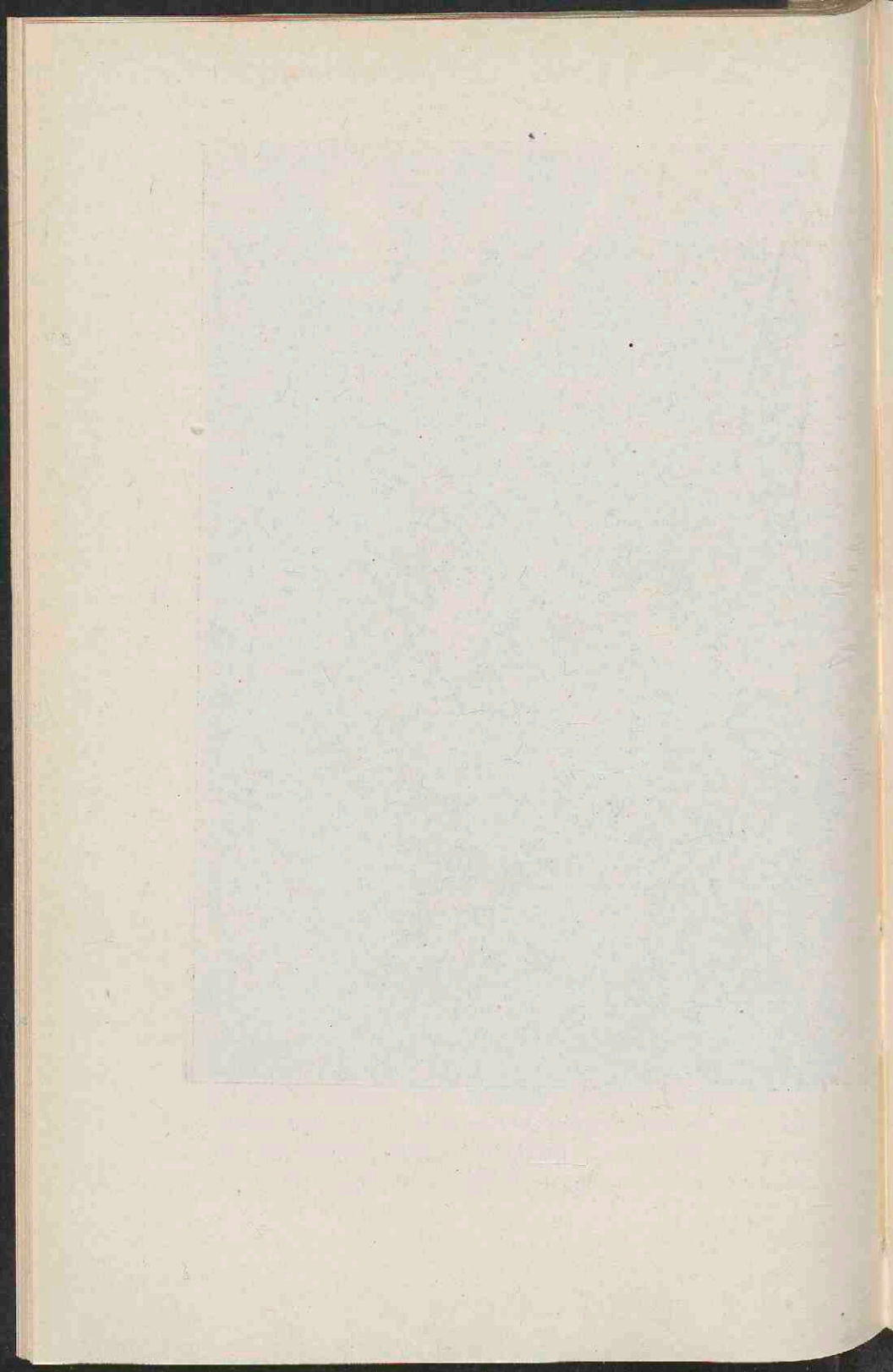


FIG. 52. PLAATHOUDER VAN DEN SPIEGELTELESCOOP VAN 60 INCHES
VAN HET MOUNT WILSON OBSERVATORIUM.

(Uit: Contributions from the Mount Wilson Solar Observatory II.)



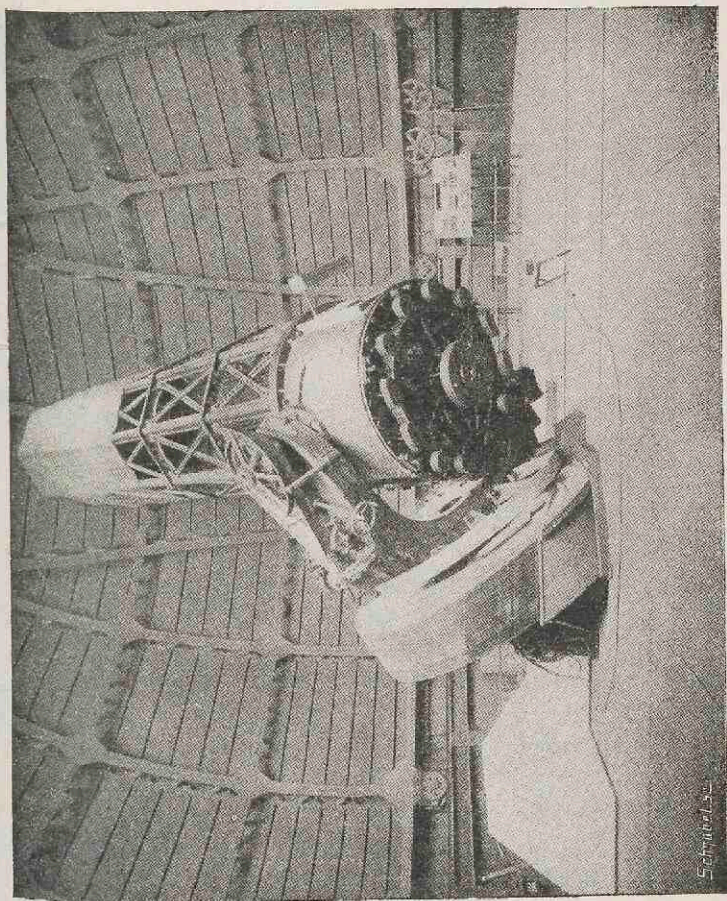
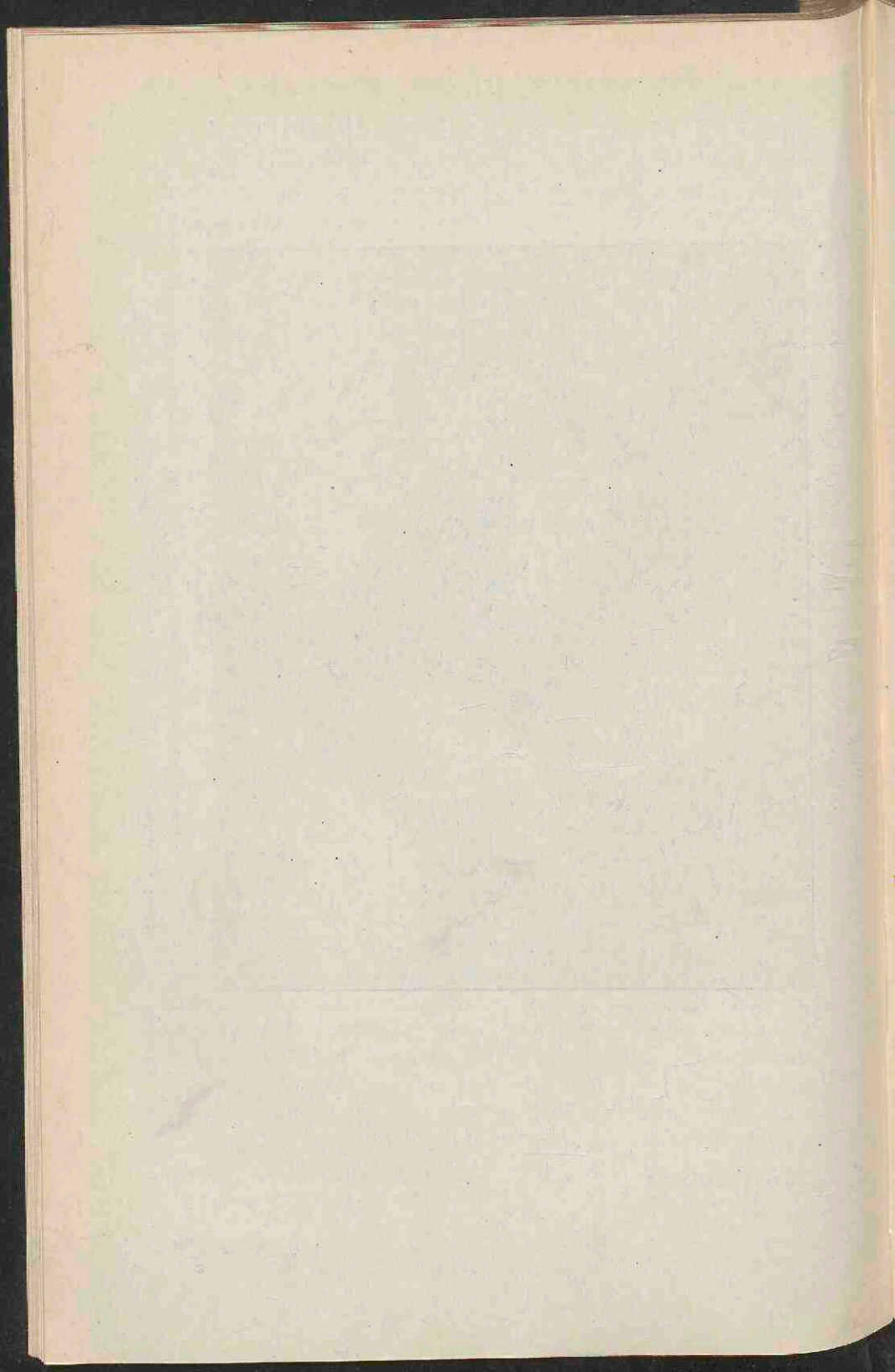


FIG. 53. 60 INCH REFLECTOR VAN HET MOUNT WILSON OBSERVATORIUM.
(Uit: Contributions from the Mount Wilson Solar Observatory II.)



mislukten, doordat de omstandigheid, dat deze mantel niet den geheelen spiegel *symmetrisch* kon omsluiten, groot gevaar voor zijn vervorming door temperatuurs-ongelijkheid medebracht. Daarom wordt nu, na afloop van het nachtelijk werk, de geheele kijker gepakt in een verplaatsbare rechthoekige kamer met geïsoleerde wanden. De vloer van deze kamer bestaat uit 5 cm. dikke matten welke den kijker-voet nauw omsluiten, en alle wanden uit lappen zeildoek, waartusschen vier lagen wol gestikt zijn. Dank zij deze eenvoudige, zeer doelmatige verpakking variëerde in Augustus en September de dagelijksche temperatuur niet meer dan 4° Fahr. en de brandpuntsafstand niet meer dan 0.2 mm., hetgeen wel is waar voor lange belichtingen nog te veel is, maar waarvan de nadeelige invloed door af en toe opnieuw scherp te stellen ontgaan kan worden.

Het door den grooten spiegel teruggekaatste licht wordt door een tweeden kleineren spiegel opgevangen die het zijdelings terugkaast, zoodat het beeld gevormd wordt aan den zijkant van het stalen geraamte, ongeveer op de halve lengte. Daar bevindt zich dus ook de plaathouder (Fig. 52). Hij was aanvankelijk ingericht voor platen van 16×22 cm., thans echter voor kleinere n. l. 9×9 cm. Hierdoor komt het oculair, waardoor men „volgt” dichter bij het midden van de plaat, waardoor eventueële correcties zuiverder zijn aan te brengen. Men heeft nu verkregen, dat zelfs bij exposities van 11 uur de beelden der sterren volkomen rond zijn, hetgeen zooals wij zagen voor nauwkeurige metingen onontbeerlijk is. Om rekening te houden met de veranderlijkheid van den brandpuntsafstand is men gewoon in den voor-nacht elke 25 à 30, in den na-nacht elke 40 à 45 minuten opnieuw scherp te stellen, waarvoor natuurlijk de plaat even verwijderd moet worden. Men kan zoodoende een plaat nachten achtereen belichten en geen grootere fout in de scherpstelling maken dan 0.03 tot 0.05 mm.

De hier beschreven spiegel van 1.52 M. zal niet lang het record meer houden, want, aangemoedigd door de daarmede

verkregen goede uitkomsten is Ritchey aan het werk getogen om een spiegel van 2.54 M. (100 inches) middellijn en 60 cm. dikte te bewerken en deze nadert snel zijn voltooiing. Mr. John D. Hooker te Los Angeles heeft, in rechtmatige bewondering voor den schoonen arbeid op Mount Wilson verricht, meer dan 100.000 gulden voor dezen kijker, waarin de beelden 10 maal lichtsterker zullen zijn dan in den grooten Yerkes-refractor, beschikbaar gesteld. Hij is

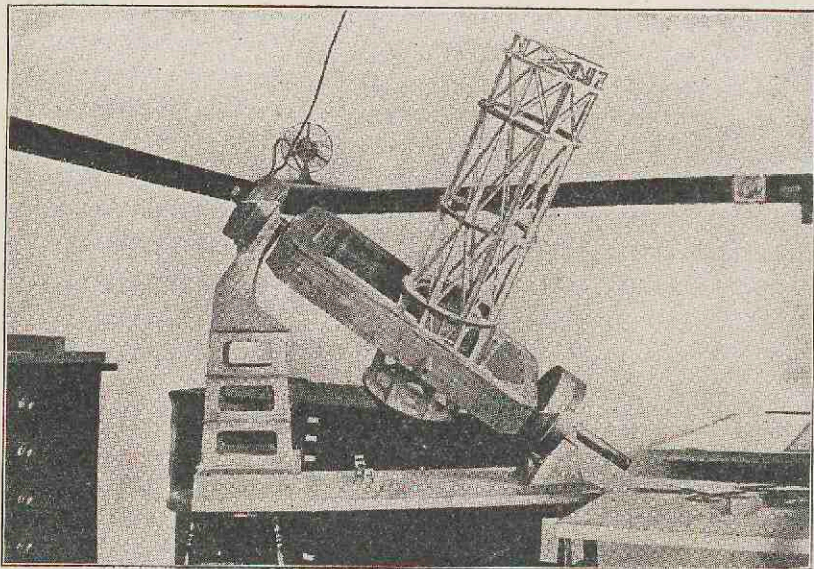


FIG. 54. MODEL VAN DEN 100 INCH SPIEGELTELEScoop VOOR HET MOUNT WILSON OBSERVATORIUM.

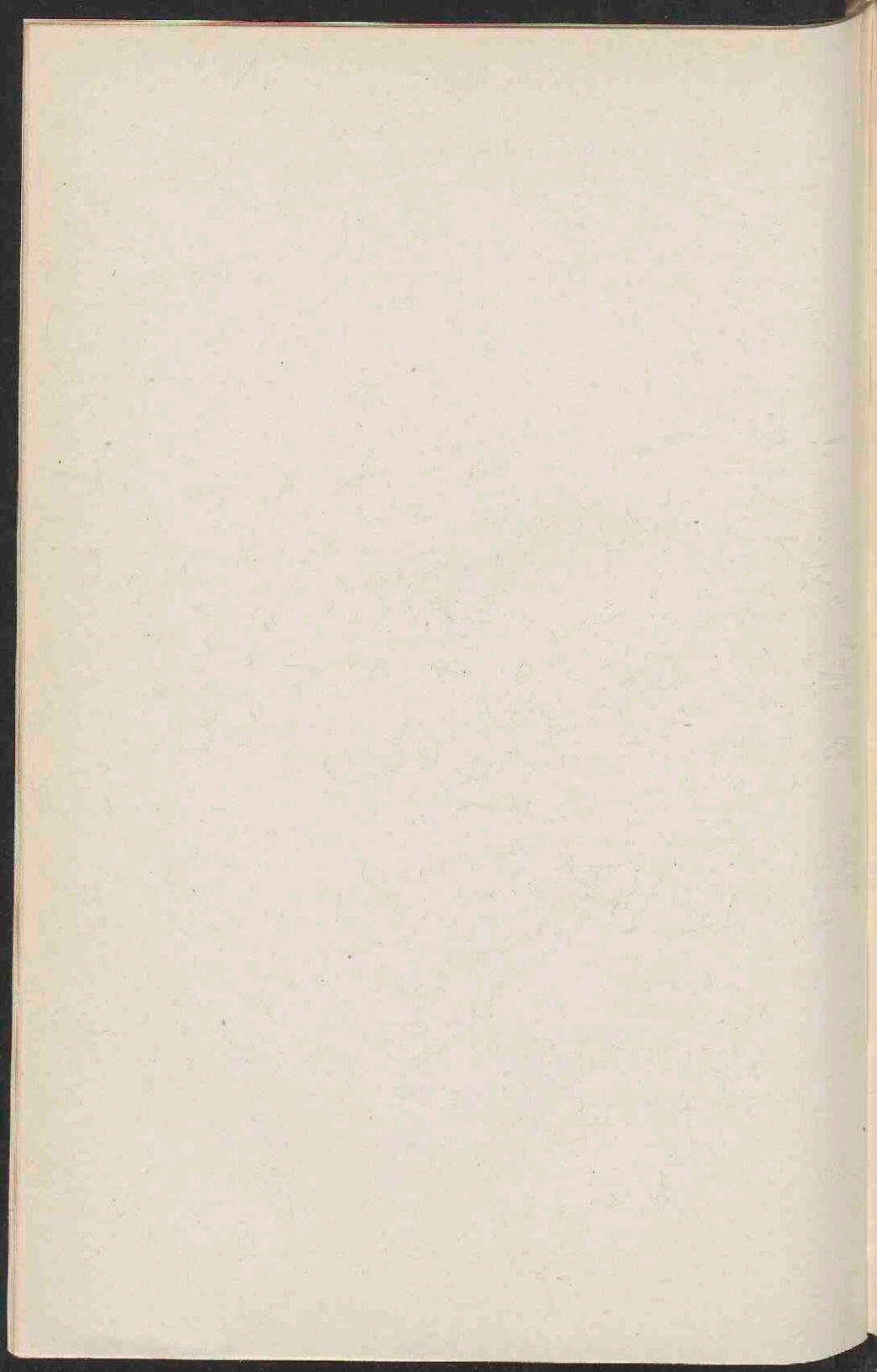
ontworpen voornamelijk met het doel de spectra van zeer zwakke sterren te fotografeeren, bijdragen te verzamelen tot het probleem der sterren-temperaturen en uitgebreide gegevens te verkrijgen omtrent den bouw van (voornamelijk lichtzwakke) nevelvlekken.

Fig. 53 geeft den spiegeltelescoop van 60 inches, Fig. 54

een model van dien van 100 inches. Men herkent aan den laatsten de op bldz. 129 beschreven Engelsche opstelling en kan zich door de op gelijke schaal gemodelleerde stoel, een denkbeeld vormen van de afmetingen van dezen grootsten aller reflectoren.



TWEEDE AFDEELING



X DE ASTRONOMISCHE LENGTE-EENHEID

DE gemiddelde afstand van de aarde tot de zon is als de meest natuurlijke lengte-eenheid in de sterrenkunde ingevoerd. Ware men in staat om een veel grooteren afstand, bijv. dien eener ster, zoowel direct in kilometers als in zijn verhouding tot den afstand aarde-zon te meten, dan zou deze laatste veel kleinere afstand met groote nauwkeurigheid daaruit volgen en als astronomische lengte-eenheid grootere waarde hebben. Dit is natuurlijk, daar wij als eenig uitgangspunt de afmetingen der aarde bezitten, onbereikbaar en zoo is men genoodzaakt de lengte-eenheid af te leiden uit planetaire afstanden, die betrekkelijk weinig grooter zijn dan haar eigen bedrag. Zij volgt daaruit dan ook met minder groote nauwkeurigheid, hetgeen zich, wanneer men nu omgekeerd van het kleine in het groote werkt, wreken gaat in de nauwkeurigheid waarmede ons de afstanden der sterren bekend zijn.

De interplanetaire methoden zijn te danken aan de 3^d wet van Kepler, die zooals wij op bldz. 80 zagen, verband legt tusschen de afstanden en de omloopstijden der planeten. Kent men de omloopstijden, en deze zijn met groote nauwkeurigheid uit waarnemingen te vinden, dan kent men dus ook de verhoudingen der gemiddelde afstanden tot de zon. Daarmede is dan, om een oud beeld te gebruiken, een kaart van het zonnestelsel te ontwerpen, waarin alle afmetingen

correct zijn, maar waarvan de schaal onbekend is. De *directe* meting van één willekeurigen afstand maakt echter die schaal bekend d. w. z. doet elken anderen afstand kennen. De eenige leden van het zonnestelsel, die zich leenen voor een *directe* meting van hun afstand, zijn de planeten *Venus* en *Mars*, benevens de planetoïden, en de verschillende methoden die daarvoor gebruikt zijn en zullen worden, zullen wij in de volgende regels eenigszins uitvoerig nagaan.

Vooraf ga de opmerking dat het gebruikelijk is in de sterrenkunde te spreken van het meten van een *afstand*, dus van een lengte, waar het eigenlijk het meten van een *hoek* betreft; voor de leden van het zonnestelsel is dit de hoek waaronder van uit hun middelpunt de aequatorstraal der aarde wordt gezien. Hij heet de „*parallaxis*” van het hemellicht. Dat men een eigenlijke lengtemeting in de ruimte niet kan verrichten, ligt zóó voor de hand, dat de woorden *parallaxis* en *afstand* door elkaar gebruikt worden, en men bijv. de *directe* meting van de *parallaxis* van *Mars* ook de *directe* meting van den afstand van *Mars* mag noemen, ofschoon deze laatste *indirect* (immers via den bekenden straal der aarde) uit de eerste wordt afgeleid.

De *parallaxis* der zon is een zeer kleine grootheid, de hoek waaronder men op een afstand van 350 meter een dubbeltje zou zien, en deze hoek wenscht men te kennen ongeveer tot op één duizendste van zijn bedrag nauwkeurig! Men vindt dezen hoek aan de sfeer terug in een gering plaatsverschil der zon voor twee bewoners der aarde die resp. zonsopkomst¹⁾ en zonculminatie hebben, maar dit verschil is niet direct te meten omdat de steeds onrustige randen der zon, vooral als zij dicht bij den horizon staat, volkomen ongeschikt voor metingen zijn. Men is daarom aangewezen op het meten der *parallaxis* van andere leden van het zonnestelsel, waarbij zich dit euvel niet voordoet maar ook onder hen is de keuze beperkt, doordat de meeste buitenplaneten zelfs in oppositie, een zeer veel kleinere

1) of zonsondergang.

parallaxis hebben dan de zon, en de nauwkeurigheid der metingen met het bedrag van den te meten hoek kleiner wordt.

Het maximale bedrag van de parallaxis der planeten is in het volgende overzicht aangegeven.

<i>Mercurius</i>	12."5	<i>Jupiter</i>	2."2
<i>Venus</i>	31."	<i>Saturnus</i>	1."1
<i>Mars</i>	23."5	<i>Uranus</i>	0."5
<i>gemidd. planetoïde</i>		<i>ongev. 5" Neptunus</i>	0."3

Venus en *Mars* komen dus, daar de parallaxis der zon 8."8 bedraagt, allereerst in aanmerking. Op tweeërlei wijze kan van een hemellicht de verplaatsing aan de sfeer als gevolg der parallaxis (verschilzicht) gemeten worden: 1°. door op twee waarnemingsplaatsen die veel in breedte verschillen de declinatie der planeet met een meridiaancirkel nauwkeurig te bepalen; 2°. door op één waarnemingsplaats, op tijdstippen die zoover mogelijk uiteen liggen, met een parallactischen kijker den schijnbaren afstand der planeet tot de haar omringende sterren uit te meten. De eerste methode is zoowel op *Mars* als op *Venus* toegepast, op *Mars* reeds in 1680, waarbij het bleek dat de parallaxis der zon zeker kleiner is dan 10", op *Venus* in 1850, zonder bevredigende uitkomst. De 2^{de} methode, veel nauwkeuriger dan de 1^{ste}, is in 1877 door Gill op *Mars* toegepast; terwijl bij de 1^{ste} methode verschillende instrumenten en verschillende waarnemers moeten samenwerken, wordt bij de 2^{de} al het waarnemingswerk verricht door denzelfden persoon met hetzelfde instrument. De aswenteling der aarde veroorzaakt nu de parallactische verplaatsing, terwijl dit bij de 1^{ste} methode door den afstand der waarnemers geschiedt. Gill vond voor de parallaxis 8".78.

Op *Venus* en *Mercurius* is de 2^{de} methode niet toe te passen daar de haar omringende sterren niet zichtbaar zijn. Op gezette tijden ziet men ze echter (verg. bldz. 89) in benedenconjunctie geprojecteerd tegen de schijf der zon en dan levert hun „overgang," hetzij nadat men op twee waarnemingsplaatsen die veel in breedte verschillen de doorloopen koorden gemeten heeft, hetzij nadat men op twee nagenoeg aequatoriale stations, die veel in lengte verschillen, één of meer

contacttijden heeft bepaald, gegevens waaruit de parallaxis der zon kan worden afgeleid. De waarnemingen zijn echter moeilijk en ondervinden bovendien een nadeeligen invloed van den dampkring van *Venus* en van een buigingsverschijnsel

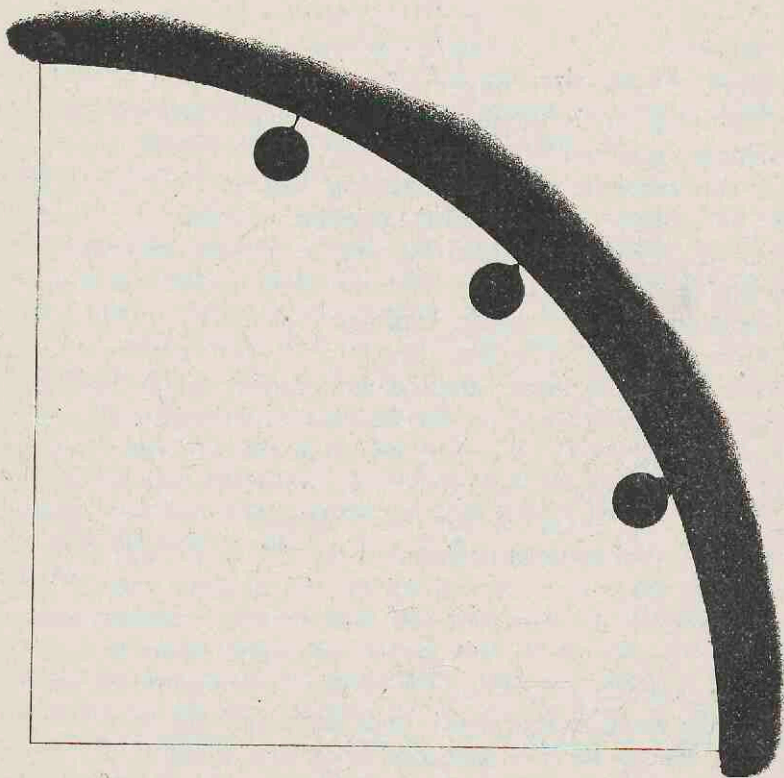


FIG. 55. „BLACK DROP” BIJ DEN VENUSOVERGANG VAN 1874.

van het licht, dat oorzaak is dat de aanraking der randen van *Venus* en van de zon niet als die van twee zuivere cirkels kan worden waargenomen; er vormt zich (Fig. 55) even vóór en na de aanraking een donkere overbrugging, algemeen onder de benaming „black drop” bekend, die ook als men het verschijnsel fotografeert, aanwezig is.

De overgangen van *Mercurius* komen veelvuldig voor, in

de 20^{ste} eeuw bijv. ten getale van 12; de schijf dezer planeet is echter zóó klein en ondergaat bij projectie tegen de heldere zonnenschijf door „irradiatie” een zoo groote schijnbare verandering, dat de contacttijden niet anders dan zeer oppervlakkig bepaald kunnen worden, zoodat dit hemellicht voor de bepaling van de astronomische lengte-eenheid geen bijdrage leveren kan.

De overgangen van *Venus* komen zeer zelden voor; wel is van hare baan de helling op de ecliptica veel

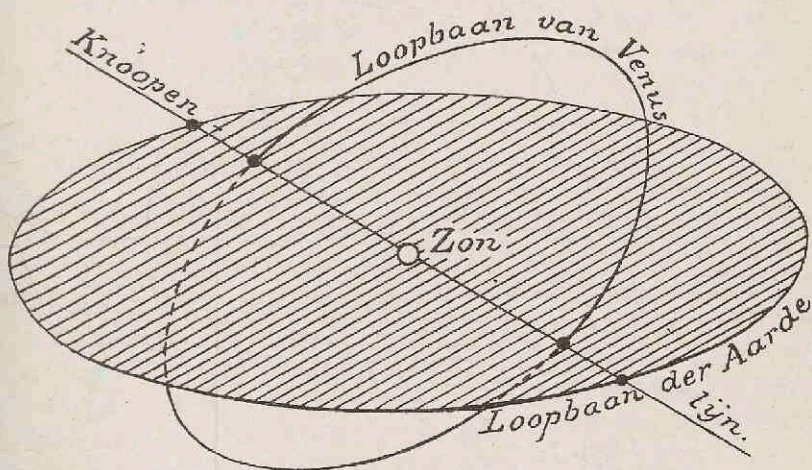


FIG. 56. KNOOPENLIJN DER VENUS-BAAN.

kleiner dan voor *Mercurius*, maar zij staat in benedenconjunctie zooveel dichter bij ons, dat de lijn Aarde-Venus veel grooter kans heeft de zonnenschijf niet te treffen. Om het verschijnsel van een overgang te vertoonen, moet de planeet zich in hare benedenconjunctie tevens bevinden nabij de snijlijn van haar baanvlak met de ecliptica (Zie Fig. 56). Deze lijn heet de knoopenlijn, de punten waar zij de Venusbaan ontmoet, heeten de „knoopen” van die baan. Indien *Venus* zich in benedenconjunctie in den knoop bevindt, ziet de aarde haar een middellijn over de schijf der zon doorloopen; bevindt zij zich zeer nabij den knoop dan

beschrijft zij schijnbaar een *koorde* van de zonneschijf. Dit kan zich voor denzelfden knoop na 8 jaar herhalen, omdat in dat tijdsverloop *Venus* 5 synodische omloopen heeft volbracht, waardoor zij weder in benedenconjunctie

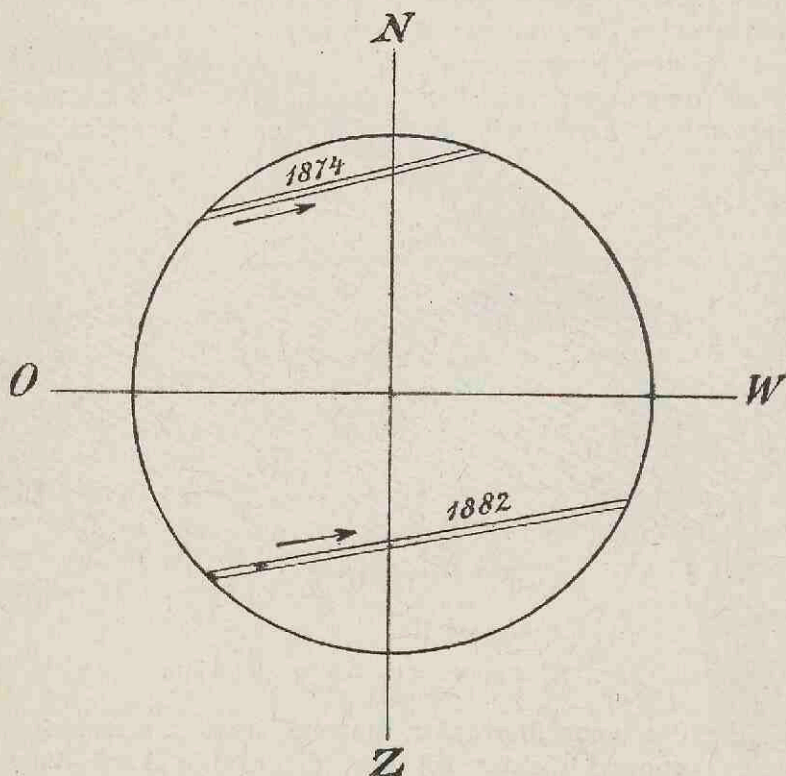


FIG. 57. VENUS-OVERGANGEN VAN 1874 EN 1882.

is, en 13 siderische omloopen, waardoor zij weder in den knoop staat.

$$5 \times 584 = 2920 \text{ dagen} = 8 \text{ jaar.}$$

$$13 \times 224.7 = 2921 \text{ dagen}$$

De producten zijn niet precies gelijk, waardoor de plaatsen der zonneschijf waar de koorde getrokken wordt verder uiteen liggen dan de straal der schijf. (Zie Fig. 57). Had

dus *Venus* bij den 1^{sten} overgang een *middellijn* beschreven, dan zou de 2^{de} overgang niet plaats hebben; dit is echter zoolang de *Venus*overgangen zijn waargenomen nog niet gebeurd, altijd zijn zij paarsgewijze opgetreden, bijv. in December 1874 en December 1882.

De eerstvolgende kans op een herhaling der omstandigheden wordt nu geloopen bij den anderen knoop, maar daar zijn vele jaren mede gemoeid; eerst na gemiddeld 121.5 jaar zijn een geheel aantal synodische omloopen gelijk aan een geheel aantal *halve* siderische omloopen. Wij moeten daarbij de omloopstijden iets nauwkeuriger nemen en vinden dan:

$$76 \times 583.923 = 44378.15 \text{ dagen} = 121.5 \text{ jaar.}$$

$$395 \times 112.350 = 44378.25 \text{ dagen.}$$

Ook bij dezen knoop treden zij dan paarsgewijze met een tusschenruimte van 8 jaar op en weder na 121.5 jaar herhaalt het verschijnsel zich bij den eerstbeschouwden knoop.

Nu is echter de baan van *Venus* geen cirkel, maar een ellips, en haar snelheid krachtens de 3^{de} wet van Kepler veranderlijk; zij legt dus den afstand tusschen de knoopen niet precies in een halven siderischen omloop af. De twee bovengenoemde gemiddelden van 121.5 jaar worden daardoor resp. 8 jaar korter en 8 jaar langer en de volledige lijst der *Venus*overgangen ziet er als volgt uit:

Bij den eenen knoop

Juni 1518
 Juni 1526
 Juni 1761
 Juni 1769
 Juni 2004

Bij den anderen knoop

December 1631
 December 1639
 December 1874
 December 1882

Wij zien hieruit dat het eerstkomende paar nog 91 jaar op zich laat wachten en daar de resultaten der laatst waargenomen *Venus*overgangen niet aan de verwachtingen hebben beantwoord en slechts historische waarde hebben, zullen wij bij deze methode voor de afleiding van de astronomische lengte-eenheid niet langer blijven stilstaan.

Voor het meten der parallaxis-verplaatsingen van *Mars*

heeft Gill met succes van den op bldz. 126 beschreven heliometer gebruik gemaakt; de methode heeft echter het nadeel dat men niet den afstand eener ster tot het *middelpunt* van *Mars* kan meten, maar aangewezen is op metingen tot de *randen* der schijf, om van deze via de afzonderlijk gemeten middellijn en de belichtingsfase op het middelpunt over te gaan. Schuilt hierin reeds eenige onzekerheid, de practische waarneming van het in contact brengen van een lichtend *punt* (de ster) met den rand van eene sterk getinte *oppervlakte*, brengt nog grootere bezwaren mede. Zoo is Gill er toe gekomen de planeet *Mars* als waarnemingsobject te vervangen door een of meer der planetoïden; men krijgt dan wel is waar een véel kleinere parallaxis te meten maar, daar de planetoïden geen schijf vertoonen, heeft men uitsluitend met puntvormige lichtbronnen te maken. De methode blijft overigens dezelfde.

Gill benutte de oppositie der planetoïde *Iris* in 1888 en de opposities van *Victoria* en *Sappho* in 1889. Verscheidene sterrenwachten namen aan de waarnemingen zelfstandig deel en niet minder dan 21 sterrenwachten zorgden voor de juiste plaatsbepaling van de sterren, in welker nabijheid deze planetoïden zich zouden bevinden. De uitkomst werd in 1897 bekend gemaakt: $\text{par.} = 8''.802$. Grootere nauwkeurigheid was met de beschikbare middelen niet te bereiken; in den 3den decimaal bestaat nog een groote onzekerheid en daarmee kleeft de astronomische lengte-eenheid een onzekerheid aan van meer dan 100.000 KM. Eerst wanneer zich bij het voordeel van een puntvormige lichtbron, dat van een *kleinen* afstand, bijv. even klein als die van *Mars*, zou voegen, zou de mogelijkheid bestaan het gezochte bedrag met grootere nauwkeurigheid vast te stellen. Werkelijk werd dit voordeel in 1898 bereikt, toen Witt te Berlijn en Charlois te Nice, nagenoeg gelijktijdig fotografisch zoekende naar een sinds 1889 aan de waarneming ontsnapte planetoïde, een bijzonder lang streepje¹⁾ op de fotografische plaat ontdekten, dat zooals de

¹⁾ Verklaring zie bldz.

berekening leerde door een zeer dicht bij de aarde staande planetoïde getrokken moest zijn. De berekening van de elementen der loopbaan gaf een uitkomst die de verwachtingen ten dezen nog overtrof; een deel van deze loopbaan bleek

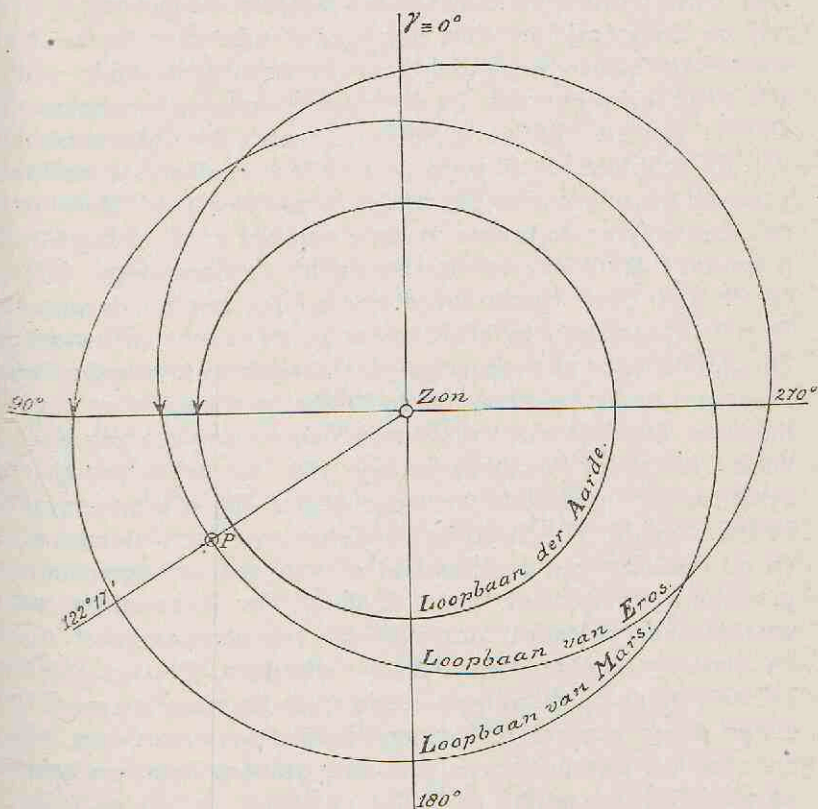


FIG. 58. ONDERLINGE LIGGING DER LOOPBANEN VAN DE AARDE, MARS EN EROS. P = PERIHELUM DER EROS-BAAN.

(Bij 0° staat verkeerdelijk de letter γ inplaats van het teeken γ .)

binnen de Marsbaan te liggen! Fig. 58 geeft de onderlinge ligging der banen van de aarde, van Mars, en van de nieuw ontdekte planetoïde, die Eros geheeten werd. De waarde van deze ontdekking voor het vraagstuk van de bepaling der Sterrenkunde. 13

astronomische lengte-eenheid moge blijken uit het feit, dat in de gunstigste omstandigheden de afstand van *Eros* 0.15 eenheden (aardbaanstralen) bedraagt, terwijl hij voor de planetoïden *Iris*, *Victoria* en *Sappho* 0.83 eenheden was. Dat deze planetoïde niet eerder ontdekt is geworden, terwijl ze zelfs, zij het dan ook gedurende zeer korten tijd, voor het bloote oog zichtbaar kan worden, vindt waarschijnlijk zijn oorzaak in de snelle beweging, waardoor ze slechts korten tijd vertoefde in de onmiddellijke nabijheid van de ecliptica, d. w. z. in de smalle hemelzone waar fotografisch naar nieuwe planeetjes gezocht wordt. Hare ontdekking bewees de groote waarde van het z. g. „fotografisch museum” der Harvard Sterrenwacht te Cambridge (Mass. U. S. A.). Daar wordt sedert jaren elke maand de geheele hemel fotografisch in beeld gebracht, niet met de bedoeling de platen voor nauwkeurige plaatsbepalingen te gebruiken, maar om ze te bewaren als de bladen van een soort hemel-dagboek. De duizenden platen worden zonder grondig onderzoek (hiervoor ontbreken èn tijd èn arbeidskrachten) systematisch geordend en opgeborgen. Bij elk onverwacht hemelverschijnsel echter, het oplichten van een nieuwe ster, de ontdekking van een komeet of van een belangwekkende planetoïde, wordt het hemel-dagboek der Harvard Sterrenwacht doorgebladerd om van dit hemelverschijnsel méér en vooral vroegere gegevens te verkrijgen. Zoo geschiedde het ook na de ontdekking van *Eros*; na lang zoeken werd het spoor dezer planetoïde teruggevonden op platen van 1894 en 1896 en daardoor was een zeer zuivere baanberekening onmiddellijk mogelijk.

De opposities van *Eros* zijn lang niet alle even gunstig; de gunstigste omstandigheid doet zich voor wanneer de planeet zich behalve zoo dicht mogelijk bij de aarde ook zoo dicht mogelijk bij de zon d.w.z. in haar perihelium bevindt. De gunstigste oppositie (zie Fig. 58) is dus die waarbij de aarde een lengte heeft gelijk aan die van het perihelium der *Eros*-baan = $122^{\circ} 17'$. De aarde verkrijgt deze ongeveer 22 Januarij van elk jaar en de gunstigste oppositie

heeft dus plaats in die jaren, waarin *Eros* ongeveer 22 Januari haar perihelium bereikt. De oppositie van 1894 was zeer gunstig en ook die van 1917 en 1924 zullen zeer gunstig zijn; die van 1900 viel op 30 October maar daar de oppositie van 1894 verloren gegaan was, kon begrijpelijkerwijze die van 1901, al was ze dan ook zooveel minder gunstig, niet onbenut blijven. Een te Parijs tijdig bijeengekomen Congres besloot het vraagstuk der parallaxis-bepaling van *Eros*, zoowel visueel als fotografisch krachtig aan te vatten, waarna 58 sterrenwachten, toegerust met zeer goede bepaaldelijk daarvoor aangewezen instrumenten, aan de onderneming hebben deelgenomen. Zoolang de resultaten van dezen *Eros*-arbeid niet verwerkt waren, zou voor de astronomische lengte-eenheid 8."80 internationaal worden aangenomen. Zij komt overeen met een afstand van 149.47 miljoen KM.; deze verandert met een bedrag van ongeveer 170.000 KM. bij een verandering der parallaxis van 0."01.

De zoo grootscheeps opgezette waarnemingen van *Eros* in 1901 hebben niet ten volle geleverd wat men er van verwachtte; de fotografische methoden brengen tal van onverwachte stelselmatige fouten met zich, die voor elke sterrenwacht anders zijn, terwijl bovendien tal van andere fouten, van onbekenden oorsprong, samenwerken om de waarde van een definitief resultaat, verkregen uit een zoo grooten coöperatieven arbeid, merkbaar te verkleinen. Bovendien kan men, gedwongen door de gesteldheid der lucht, de waarnemingen niet altijd verrichten zooals de theorie het eischt; ze kunnen bijv. niet symmetrisch zijn t. o. v. den meridiaan en het is gebleken dat de daardoor ontstane fouten niet door het verwerken van een zeer groot waarnemingsmateriaal onschadelijk zijn te maken.

De eerste voorloopige uitkomst van het werk van 7 sterrenwachten, die 249 platen geleverd hadden, werd door Hinks (Cambridge, Engeland) in 1904 bekend gemaakt. Het luidde:

par: = 8."7966 met een onzekerheid van 0."0047.

Men kan zich van dergelijke metingen op fotografische

platen en de verlangde nauwkeurigheid een goed denkbeeld vormen als men verneemt dat de geheele parallaxische verschuiving van *Eros* zich op de platen afspeelt binnen een cirkeltje van 1 mm. middellijn en dat men ze daarin meten moet met een nauwkeurigheid van 1 op 1000!

De tweede voorloopige uitkomst van het werk van ettelijke sterrenwachten, eveneens door Hinks bekend gemaakt, was:
 $\text{par:} = 8.''806$ met een onzekerheid van $0.''004$.

En ten slotte de einduitkomst, welke echter nog niet als volkomen definitief te beschouwen is

$\text{par:} = 8.''807$ met een onzekerheid van $0.''0027$.

Met al het ingespannen werk en ondanks alle gedane moeite is men derhalve van den 3^{den} decimaal nog volkomen onzeker, maar daartegenover staat dat de oppositie van 1901 zooveel geleerd heeft, zoowel op het theoretische als op het practische gebied der hemelfotografie, en de waarnemers daarbij een zoo goede oefenschool hebben kunnen doorloopen, dat noch de bestede tijd noch de genomen moeite als nutteloos te beschouwen zijn. In 1924 zullen de pogingen ongetwijfeld krachtiger en met gebruikmaking der opgedane ondervinding over de geheele wereld worden voortgezet, *tenzij* intusschen een planetoïde ontdekt mocht worden die nog beter aan de gestelde eischen voldoet dan *Eros*. Dit is evenwel niet waarschijnlijk; wel is in het najaar van 1911 de sterrenkundige wereld in beroering gebracht door de ontdekking te Weenen (ditmaal *visueel* door Palisa) van een planetoïde die de aarde eveneens zeer dicht (0.19 eenheden) naderen kan, maar deze blijft ook in de gunstigste omstandigheden zeer veel zwakker dan *Eros* en leent zich daardoor niet zoo goed als deze voor het bedoelde onderzoek. Toch is ook dit een hoogst belangrijk hemellicht.

Al hebben wij dus in de planetoïden hemellichten die als aangewezen zijn om het vraagstuk van de astronomische lengte-eenheid tot een goede oplossing te brengen, ook andere methoden kunnen daartoe een minstens even belangrijke bijdrage leveren. Vooreerst kan men uit de *storingen* die de beweging der maan van de zon ondervindt, de ver-

houding berekenen van de afstanden zon—aarde en maan—aarde, waarna, daar de laatste voldoende nauwkeurig bekend is, de eerste gevonden kan worden. Deze methode heeft het voordeel dat nu geen hoeken van enkele boogseconden gemeten moeten worden, maar afwijkingen van $2'$; zij heeft echter het nadeel dat de maan een zeer lastig hemellicht voor metingen is. Toch geven verschillende waarnemingsreeksen nauwkeurig dezelfde uitkomst, maar deze is, zonder dat daarvan de oorzaak is na te gaan, iets kleiner dan de *Eros*-uitkomst, n. l. $8''.79$.

Een tweede methode bestaat hierin dat men langs fysichen weg zoo nauwkeurig mogelijk de snelheid van het licht bepaalt en tevens den tijd berekent dien het zonlicht noodig heeft om de aarde te bereiken. De eerste dezer grootheden, de lichtsnelheid, bedraagt 299860 KM., de tweede, de z. g. „lichttijd,” bedraagt 498.7 seconden, en men heeft deze beide getallen slechts met elkaar te vermenigvuldigen om den afstand zon—aarde te verkrijgen. Deze waarde komt overeen met een parallaxis van $8''.80$; daar evenwel de eerste grootheid nog een onzekerheid van 30 KM. heeft, en de onzekerheid in het bedrag van den lichttijd percentsgewijze nog grooter is dan die in het bedrag der lichtsnelheid, is men voorloopig ook door deze methode niet volkomen zeker van den derden decimaal. Verbeterde waarden voor lichtsnelheid en lichttijd zullen dus dadelijk tot een betere waarde voor de astronomische lengte-eenheid voeren.

Er zijn nog meer dergelijke theoretische methoden, die wij echter buiten bespreking zullen laten om ten slotte alleen nog te vermelden dat door Küstner te Bonn in 1904 pogingen zijn aangewend om de zonneparallaxis uit *spectrogrammen* af te leiden. De gedachtengang bij deze methode is de volgende: de wiskundige uitdrukking voor de gemiddelde snelheid der aarde in hare baan bevat de gevraagde parallaxis; deze snelheid toch wordt gevonden door den omloopstijd te deelen op den omtrek der aardbaan d. i. 2π maal den gemiddelden afstand zon—aarde. Een onderzoek naar de

gemiddelde snelheid leert dus dezen gemiddelden afstand kennen. Küstner heeft getracht dit doel te bereiken uit een nauwkeurige spectrografische bepaling van de snelheid der zeer heldere ster *Arcturus*, die zich ook om technische redenen daartoe goed leende. Hare radiale snelheid komt echter, daar ze gemeten wordt ten opzichte van eene zich bewegende aarde, eerst dan zuiver uit de rekening, indien de gemiddelde snelheid der aarde bekend is. Maar men kan ook de snelheid der ster en die der aarde *beide* onbekend onderstellen en door uitmeting van een *zeer groot aantal* spectrogrammen en met bepaalde rekenmethoden beide snelheden gelijktijdig met groote nauwkeurigheid bepalen. Küstner vond op deze wijze voor de gemiddelde snelheid der aarde 29.62 KM. en hieruit $\text{par} = 8.''84$, een waarde die stellig te groot is, maar daarbij moet men bedenken dat het hem uitsluitend te doen was om de methode aan te geven en hij slechts over 18 goede spectrogrammen beschikken kon. Het is niet onwaarschijnlijk dat deze methode, welke oorspronkelijk door Gill is aangegeven, mits toegepast aan grootere spectrografen dan die te Bonn en op een veel grooter aantal spectrogrammen, ten slotte tot een bevredigende uitkomst zal leiden.

Uit al het bovenstaande volgt intusschen, dat het belangrijke vraagstuk van de standaard-lengte van het Heelal nog verre van opgelost is. Het blijft voorloopig een strijd om den 3^{den} decimaal, om het duizendste deel eener boogseconde en om de zekerheid van de tienduizendtallen in den in kilometers uitgedrukten gemiddelden zonne-afstand.



XI DE ZON



ER is geen hemellicht waarvan na de invoering der fotografische methoden de bestudeering zoo ingewikkeld en moeilijk geworden is als *de Zon* en het is dan ook nagenoeg ondoenlijk in een kort bestek op populaire wijze aan te geven wat men van *de Zon* weet en weten wil en hoe men daartoe tracht te komen. Heeft dus dit onderwerp zich feitelijk ontworsteld aan alle boeken die populaire hemelbeschrijving beoogen, het heeft zich niet minder onttrokken aan de leiding der gewone sterrenwachten en hare waarnemers. Daar de temperatuur der *Zon* veel hooger is dan die van elke kunstmatige warmtebron op aarde en de stoffen in de *Zon* daar dus voorkomen onder omstandigheden welke men op aarde niet kent, maar welke men in laboratoria kan trachten te benaderen, daar men eveneens kan trachten door toepassing der theoretisch afgeleide natuurkundige en mechanische wetten op de zonneverschijnselen voor deze een bevredigende verklaring te vinden, daar vele van deze verschijnselen van magnetischen, electrischen of radioactieven aard zijn of kunnen blijken te zijn, en alle nieuwere uitkomsten die op aarde op elk beschouwd gebied gevonden worden, een bijdrage kunnen leveren tot een vermeerderde kennis omtrent de *Zon*, zoo kan men zeggen dat de „zonne-fysica” in de eerste plaats de practische en theoretische natuurkunde, de thermodynamica, de scheikunde en de

mechanica en eerst in de tweede plaats de sterrenkunde bevat. Was men vroeger voor hare beoefening gedeeltelijk op de oogenblikken van totale verduistering aangewezen, tegenwoordig kunnen alle zonneverschijnselen, op een enkele uitzondering na, aan in 't bijzonder daarvoor ingerichte zonne-observatoria bestudeerd worden.

Wij zullen in dit hoofdstuk allereerst nagaan wat de bestudeering der *Zon* geleerd heeft door visueele en fotografische waarnemingen, om daarna enkele beschouwingen, waartoe die waarnemingen geleid hebben, zeer in het kort uiteen te zetten.

a. VISUËELE WAARNEMINGEN.

Het voor het bloote oog zichtbare oppervlak der *Zon*, de z.g. „fotosfeer,” vertoont zich aan ons oog als een scherp begrensde, zuiver cirkelvormige schijf, en ziehier reeds twee feiten geopenbaard, die nog op een algemeen aangenomen verklaring wachten. Waarom vertoont de *Zon*, een gasbol van hooge temperatuur, een scherpe begrenzing? Waarom vertoont zij bij de vrij snelle wenteling om hare as geen spoor van afplatting? Dit zijn reeds twee vragen die gemakkelijker zijn te stellen dan te beantwoorden.

Wil men de fotosfeer met een kijker bestudeeren, dan wordt aan de oculairzijde daarvan eene inrichting aangebracht, waarin het licht bijv. door herhaalde terugkaatsingen onder bepaalde hoeken, een aanzienlijk deel van zijn intensiteit verliest. Het eerste wat dan bij de waarneming opvalt is het feit, dat het licht der *Zon* in het midden der schijf veel intenser is dan aan de randen; bekijkt men verder het beeld met een zeer sterke vergrooting, dan blijkt het (Fig. 59) dat de geheele oppervlakte een snelle afwisseling vertoont van lichte plekjes op een achtergrond van geringer intensiteit. Men heeft dit verschijnsel dat der zonnegranatatie genoemd; de plekjes hebben een schijnbare afmeting van 1" tot 3", d. i. een werkelijke doorsnede van 700 tot 2000 KM.

Reeds met een zeer zwakke vergrooting, ja enkele malen (als de doorsnede grooter dan 40.000 KM. is) met het

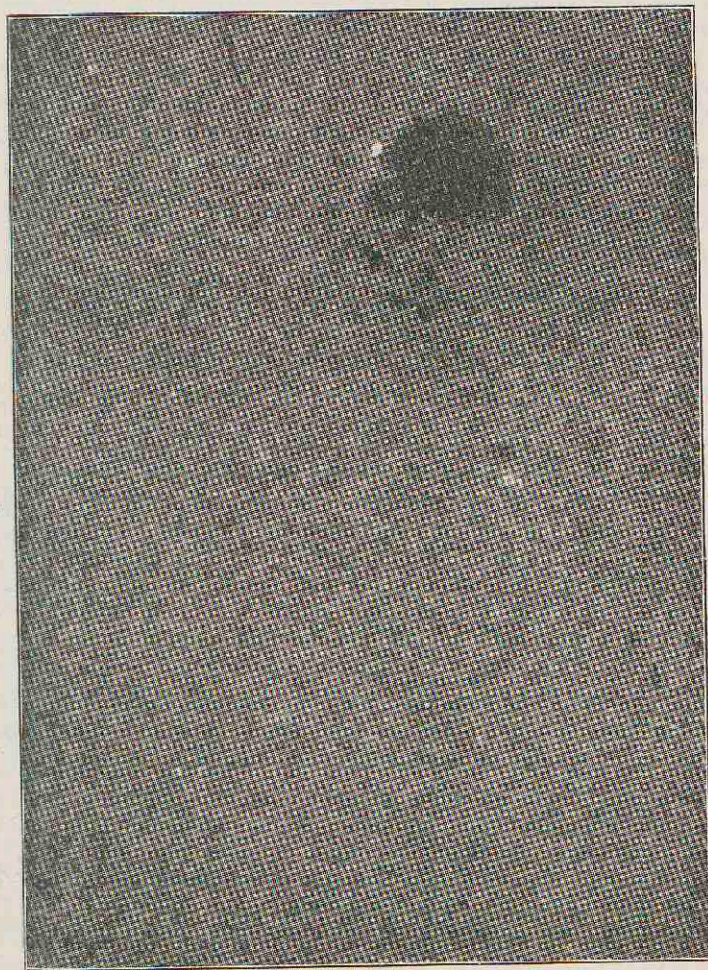
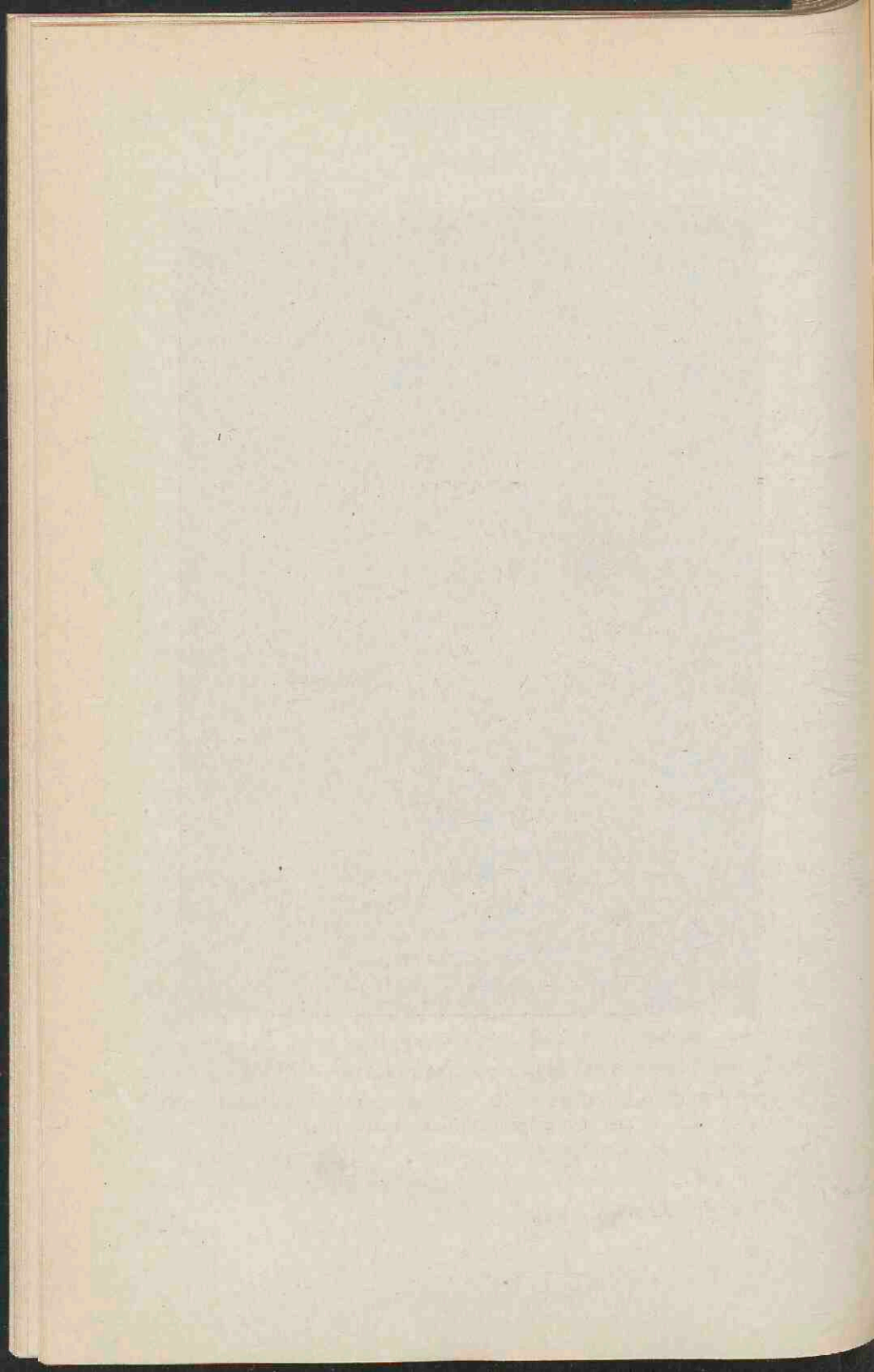


FIG. 59. ZONNE-GRANULATIE.

(Uit: S. Chevalier Contribution to the study of the photosphere
The Astrophysical Journal XXVII.)



bloote oog, bemerkt men op de zonneschijf donkere plekken van onregelmatigen vorm, de z.g. „zonnevlekken.” Zij vertoonen zich als een donker getint veld (de halfschaduw) waarbinnen een of meer zeer donkere plekken (de kernschaduw), een donkerheid die intusschen niet als lichtafwezigheid moet worden opgevat; de lichtintensiteit op de gebieden die men vlekken noemt is zeer aanzienlijk, maar toch zooveel minder dan die der fotosfeer dat ze door contrast donker lijken.

Van deze vlekken leert de waarneming het volgende: de vorming geschiedt in hoofdzaak aan de van de Aarde afgewende zijde der Zon; wanneer dit niet het geval is en men dus de vorming kan waarnemen, ziet men, ter plaatse waar een vlek gaat ontstaan, het zonneoppervlak in sterke beroering, waarna een der vele donkere plekjes tot een kernschaduw wordt uitgebreid. Dan volgt een tijdperk van betrekkelijke rust, maar spoedig treden grillige en voor elke vlek verschillende bewegingen en vormveranderingen op, uit de halfschaduw schieten heldere overbruggingen over de kernschaduw, als voorbode van de overheersching van het fotosfeerlicht, en weldra, na een gemiddelden levensduur van 2 à 3 maanden, is het met de vlek gedaan.

Al vertoonen deze vlekken kleine eigen bewegingen over de zonneschijf, toch kan men uit de gemeenschappelijke schijnbare bewegingen van een zeer groot aantal van hen, met voldoende nauwkeurigheid den omwentelingstijd der Zon, die er de oorzaak van is, afleiden en gelijktijdig den stand van haar omwentelingsas in de ruimte bepalen. Wat de eerste betreft, zoo blijkt er van een eigenlijke omwentelingstijd der Zon geen sprake te zijn; zij wentelt niet als een vast lichaam met gelijke hoeksnelheid voor alle deelen, maar deze is het grootst voor de gebieden aan den aequator en neemt geleidelijk naar de polen toe af. Geheel en al is dit echter niet uit zonnevlekken af te leiden; deze vertoonen zich n.l. bij voorkeur tusschen de 10^{de} en 20^{ste} breedteparallel. Tusschen — 10° en + 10° „heliografische breedte” komen zij evenwel in voldoende aantal voor om ook voor dit gebied de zonne-

rotatie te berekenen, doch op hogere breedte dan 40° zeer zelden. De omwentelingsnelheid der zonnedeelen op hogere breedten is, tot 80° toe, *spectrografisch*, uit het beginsel van Doppler afgeleid.

De vlekkengebieden nu, wentelen in ongeveer 25.4 dagen; dit is de werkelijke (siderische) periode, die zooals wij dit o.a. uitvoerig bij de beweging van *Venus* (bldz. 89) besproken hebben, kleiner is dan de synodische, na welke een bewoner der aarde de vlek weer op hetzelfde punt der schijf terug ziet. Terwijl de vlek roteert, beweegt (Fig. 60) de aarde zich in haar baan van Oost naar West ($A_1 A_2$) en aan deze beweging doet, wat wij „het middelpunt der schijf”

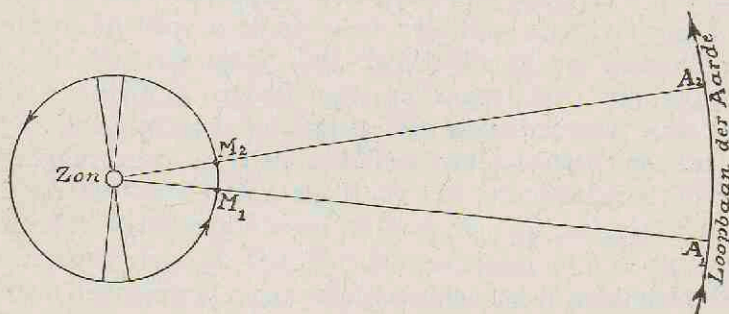


FIG. 60.

noemen, mede. De vlek, die eveneens van Oost naar West loopt, bereikt het nieuwe middelpunt M_2 der schijf ongeveer twee dagen later dan het oude M_1 . Men kan deze bewegingen zeer duidelijk waarnemen als men (Fig. 61) aan het oculaireinde van den kijker, loodrecht op de richting van haar as, een projectiescherm aanbrengt en op het projectiebeeld der *Zon* elken dag de richting Oost—West (bewegingsrichting der *Zon* over het scherm) en de plaats der vlek aanteekeut; heeft men dit voor een 10-tal dagen gedaan, dan kan men als regel door de verschillende plaatsen, die de vlek innam, eene strakke, gebogen kromme lijn trekken, die de projectie is van de „heliografische” breedteparalel, die de vlek door

de zonnerotatie beschrijft. Slechts tweemaal in het jaar, wanneer de aarde zich bevindt in het aequatorvlak der Zon, is die projectie een *rechte lijn*; dit is het geval op 3 Juni en 5 December.

Behalve de vlekken, ziet men op de Zon ook veelvuldig zeer heldere plekken, die men *fakke ls* genoemd heeft; ook deze komen het meest voor in de vlekkengebieden en dan

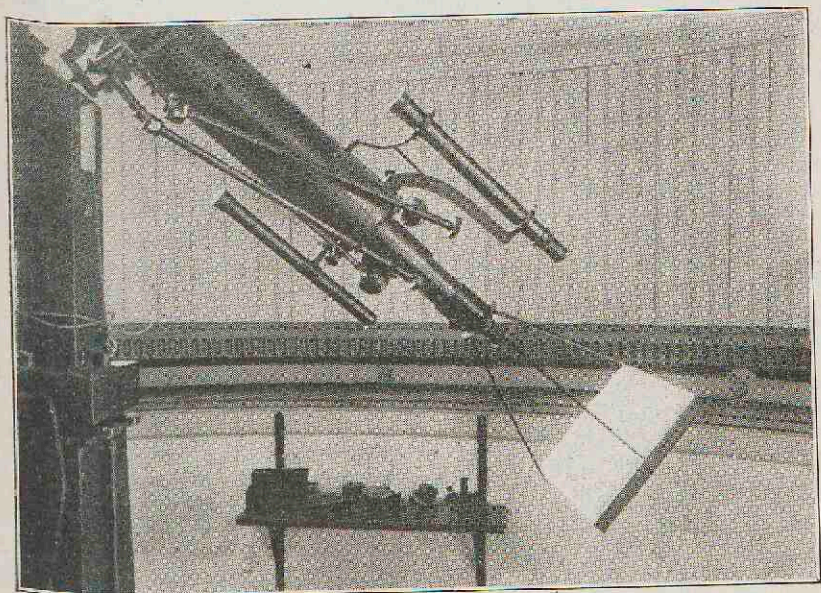


FIG. 61. PROJECTIESCHERM VOOR ZONNEWAARNEMING, AAN DEN KIJKER VAN 11.5 CM. DER UTRECHTSCHER STERRENWACHT.

dikwijls in de onmiddellijke nabijheid van vlekken, maar zij vertoonen zich in tegenstelling met deze ook op hogere breedten. Hunne helderheid blijft, in tegenstelling met die van de fotosfeer, nagenoeg dezelfde, zoodat men ze bij den rand der Zon veel duidelijker te zien krijgt dan op het midden der schijf. Ook zij zijn aan snelle en grillige vormveranderingen en bewegingen onderhevig; toch geven de

fakkels nagenoeg dezelfde uitkomsten voor de rotatie der *Zon*; het lijkt echter alsof de zoo gevonden perioden voor de verschillende gebieden, met een klein, maar stelselmatig bedrag kleiner zijn.

Uit de waarnemingen van den apotheker Schwabe, die van 1828 tot 1868 op elken dag dat de *Zon* zichtbaar was, vlekkenwaarnemingen verrichtte, bleek voor het eerst dat de *Zon* op gezette tijden veel en daartusschen in weinig of geen vlekken vertoont, en sedertdien is deze „periodiciteit der zonnevlekken,” welke ook voor de fakkels geldt, een onderwerp van uitvoerige bestudeering geweest. Daarbij is gebleken dat de periode gelegen is tusschen 7.3 en 10.1 jaren met een gemiddelde van 11 jaren en dat binnen die periode het verschijnen der vlekken op een bepaalde regelmatigige wijze in de vlekkengebieden plaats heeft. Verder houden nog andere, later te bespreken zonneverschijnselen met deze periode verband en enkele verschijnselen op aarde o. a. de veranderlijkheid van het aardmagnetisme, de z. g. „magnetische stormen” (niet altijd), de verschijningen van het Noorderlicht en *misschien* het heerschen der tropische cyclonen.

Verdere visueele waarnemingen waren eertijds alleen bij totale zonsverduisteringen te verrichten. Daar (toevallig?) de schijnbare middellijn van de zon en de maan gemiddeld even groot zijn; kan de nieuwe maan, wanneer zij zich behalve in de maansbaan, zeer dicht nabij of in het vlak der aardbaan bevindt, de *Zon* schijnbaar geheel bedekken; wat wij als zonneoppervlakte zien, is dan geheel en al aan ons oog onttrokken, maar gelijktijdig openbaren zich nieuwe zonneverschijnselen van ongekende pracht, welker bestaan het zoo felle licht der fotosfeer voor ons verborgen hield. Deze zijn de roode zonnevlammen (protuberansen = uitwassen) die nu eens in grooten getale, dan weder sporadisch op de meest grillige en fantastische wijze te voorschijn treden uit een roodachtig getinten, om de fotosfeer gelegen helderen ring, waaraan men den naam *Chromosfeer* (gekleurden ring) gegeven heeft, en daarbuiten een zilverwitte

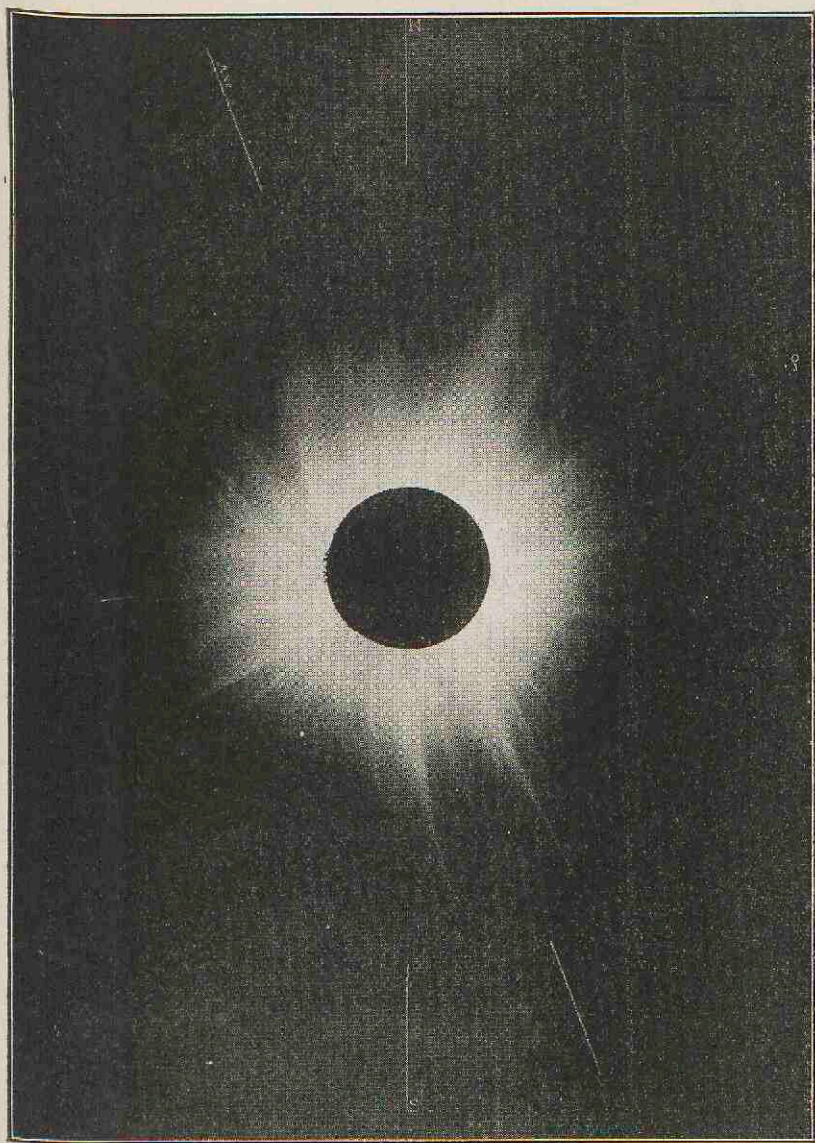
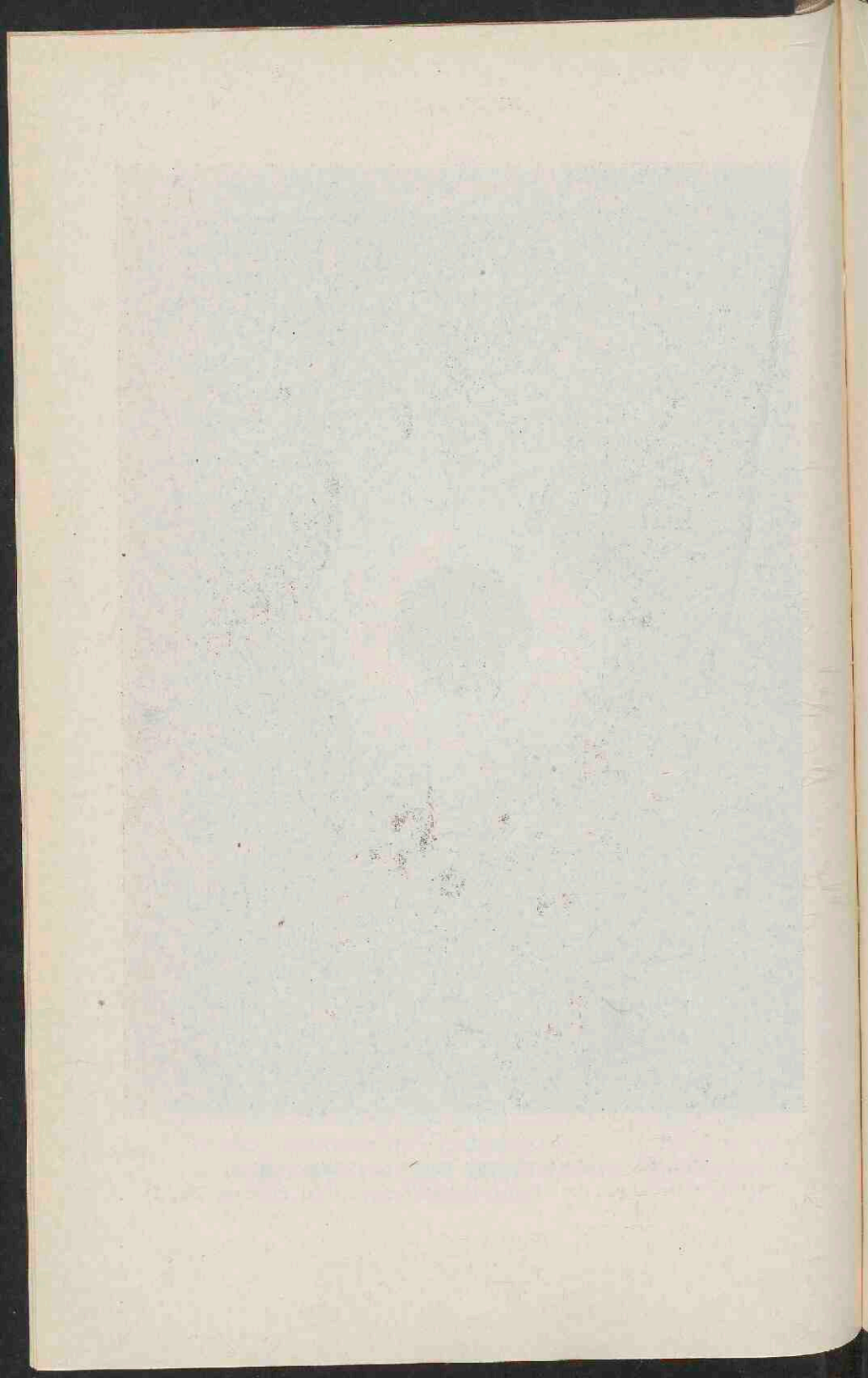


FIG. 62. CORONA TIJDENS EEN VLEKKENMAXIMUM.
(Uit: Mitteilungen der Nikolai-Hauptsternwarte zu Pulkowo Bd. I)



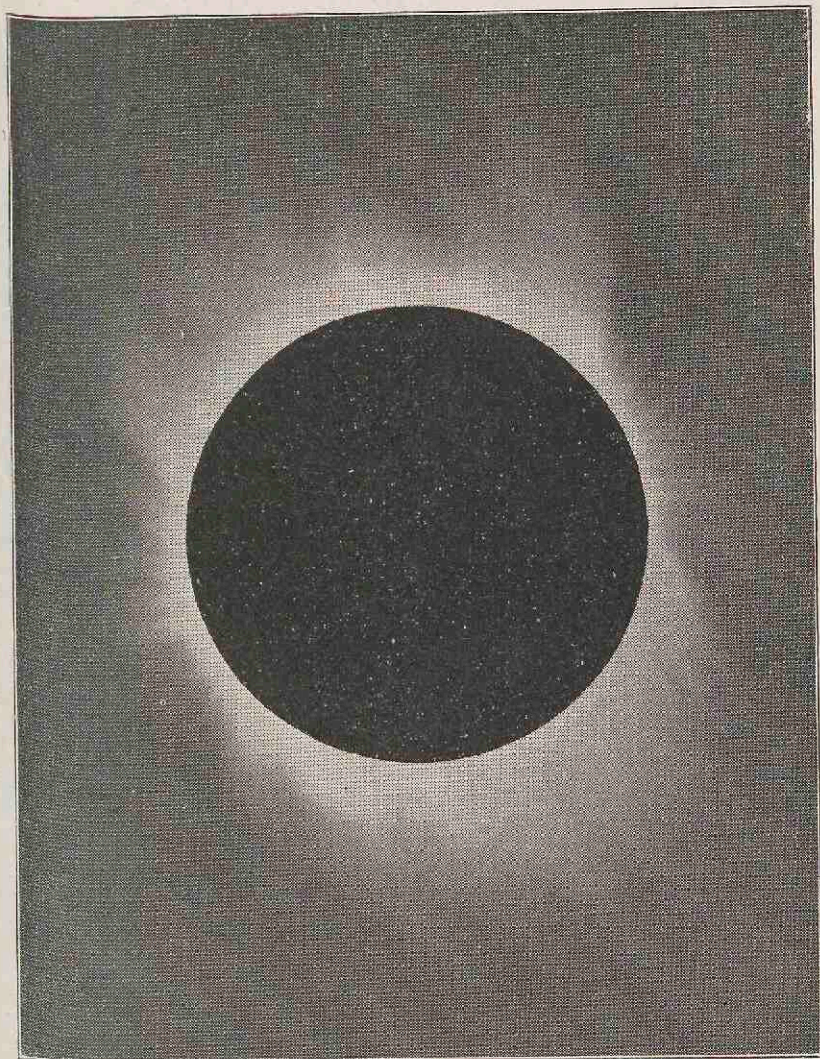
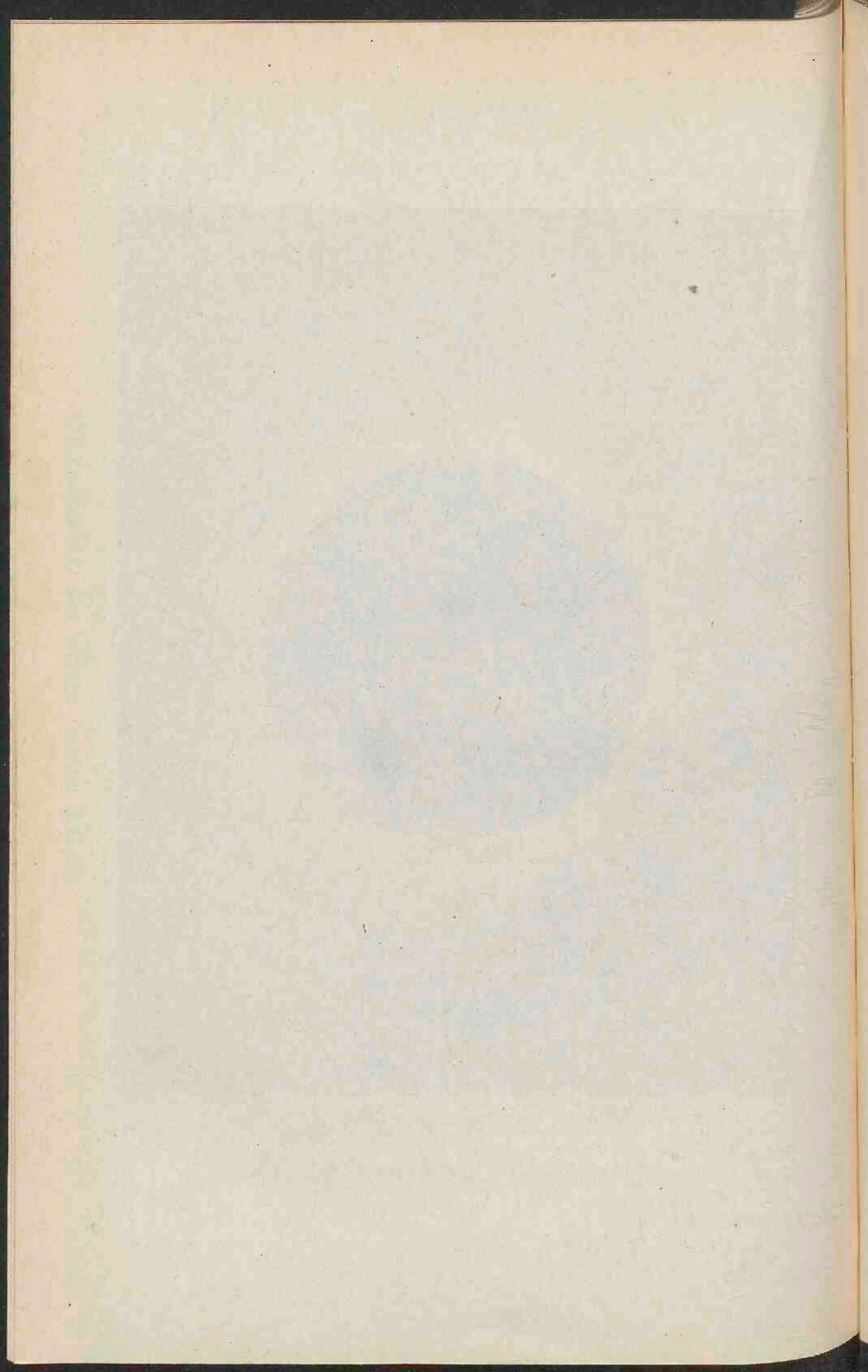


FIG. 63. CORONA TIJDENS EEN VLEKKENMINIMUM.



stralenkrans, de corona, die bij elke eclips andere intensiteiten en andere vormen heeft. Zij bestaat uit den eigenlijken corona-ring en de corona-stralen, uitloopers die een lengte van twee maal de zonnemiddellijn kunnen bereiken. De vorm der corona hangt (Fig. 62 en 63) samen met de periode der zonnevlekken.

Van deze buitendeelen der *Zon* is tegenwoordig alleen de corona niet zichtbaar buiten eclips; chromosfeer en protuberansen kunnen op zeer ingenieuze wijze (zie bldz. 209) altijd zichtbaar gemaakt worden.

Het spectrum van de fotosfeer is een continu absorptiespectrum, dat van de chromosfeer een emissiespectrum; tusschen deze beide bevindt zich een (bij totale eclips waarneembaar) gebied, waar de donkere absorptielijnen der fotosfeer overgaan in de heldere emissielijnen der chromosfeer. Dit gebied heet de „omkeerende laag;” zij is zeer smal, smaller dan 3" (2000 KM.) en bij totale eclips slechts enkele seconden zichtbaar, waarom het spectrum van dit gebied algemeen met een Engelsche uitdrukking „flash” spectrum (Fig. 64) genoemd wordt.

Al de boven vermelde benamingen zijn ingevoerd in samenhang met een bepaalde voorstelling over het wezen der *Zon*, zooals men zich die uit de eerste opgangmakende waarnemingen gevormd heeft. Dit is echter een voorbarige daad geweest en de benamingen die er verband mede houden zijn overijld ingevoerd. Over het wezen der *Zon* heerschen nog geen volkomen duidelijke, onaanvechtbare voorstellingen, en hoe dieper men in het vraagstuk doordringt, hoe verder wijkt het te bereiken doel terug in een doolhof van moeilijkheden. Om echter niet van de eene voorbarigheid in de andere te vervallen en omdat men toch ten slotte benamingen moet ontleenen aan een of andere voorstelling, blijft men de reeds ingevoerde benamingen behouden. Aan welken gedachtengang zij ontsproten zijn en waarom deze niet meer bevredigt, zullen wij op bldz. 223 in het kort behandelen, doch wij zullen eerst na moeten gaan wat het spectroscopisch onderzoek der *Zon* geleerd heeft.

Het spectrum der fotosfeer leert, zooals op bldz. 148 duidelijk gemaakt is, uit de plaats der *Fraunhofersche* (absorptie) lijnen de stoffen kennen die zich bevinden in het buitenste deel van den gasbol. Er zijn 19 elementen waarvan door dit middel de aanwezigheid in de Zon niet is vastgesteld; deze zijn Goud, Kwik, Fosfor, Stikstof, Zwavel, Antimoon, Arseen, Bismuth, Boor, Selenium, Caesium, Rubidium, Indium, Thallium en Praseodymium; verder Argon, Krypton, Neon en Xenon. Van enkele andere, waaronder zuurstof, is de aanwezigheid niet met zekerheid aangeduid. Dit wil intusschen niet zeggen dat al deze elementen werkelijk ontbreken. De elementen komen n.l. in den zonnedampkring waarschijnlijk in innige menging voor en dan liggen de voorwaarden van zichtbaarheid door lichtuitzending binnen tamelijk enge grenzen, die weer èn van den aard der lichtopwekking èn van de concentratie van het mengsel afhangen; bovendien spelen daarbij de drukking, de dichtheid en de temperatuur een groote rol. Men kent bijv. reeds van kalium en eenige andere elementen twee spectra die geen enkele lijn gemeen hebben; zoo ergens dan doet zich hier de moeilijkheid gevoelen van de niet in laboratoria op te wekken zonnetemperatuur.

Fig. 47 geeft een globaal overzicht van het fotosfeerspectrum. Behalve de lijnen die ontstaan door absorptie in den dampkring der Zon, vertoont het lijnen (o.a. *a*) voornamelijk in het uiterste rood, die ontstaan door absorptie in den dampkring der aarde, in hoofdzaak door waterdamp en zuurstof. Deze z.g. „tellurische lijnen” zijn herkenbaar aan twee eigenschappen welke de zonnelijnen *niet* bezitten. 1°. zijn ze voor een lage zon veel intenser dan voor een hooge, omdat het licht eener lage zon ons door diepere lagen van onzen dampkring bereikt, en 2°. hebben ze een onveranderlijke plaats in het spectrum, terwijl de zonnelijnen zich tengevolge der zonnerotatie verplaatsen; de eene rand is een ons naderende lichtbron, de andere is er een die zich van ons verwijderd en lijnverschuivingen zijn daar (Fig. 65a) krachtens het beginsel van Doppler het gevolg van. Omgekeerd geeft

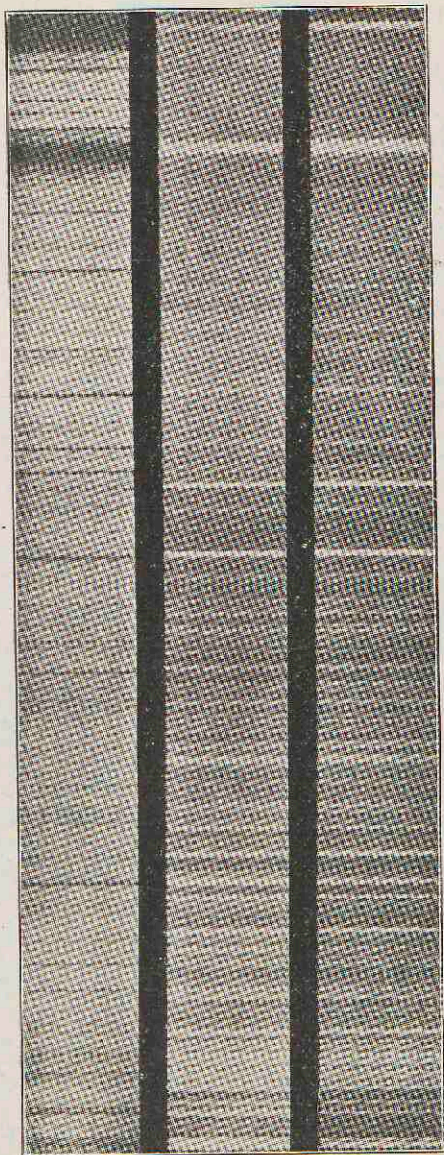


FIG. 64. BOVEN: FOTOSFEERSPECTRUM
ONDER: „FLASH“ SPECTRA VAN OLIJKEN EN WLIJKEN ZONNERAND.
(Uit: Report of the Expeditions to observe the Total Solar Eclipse of
1898 January 22, London 1899)

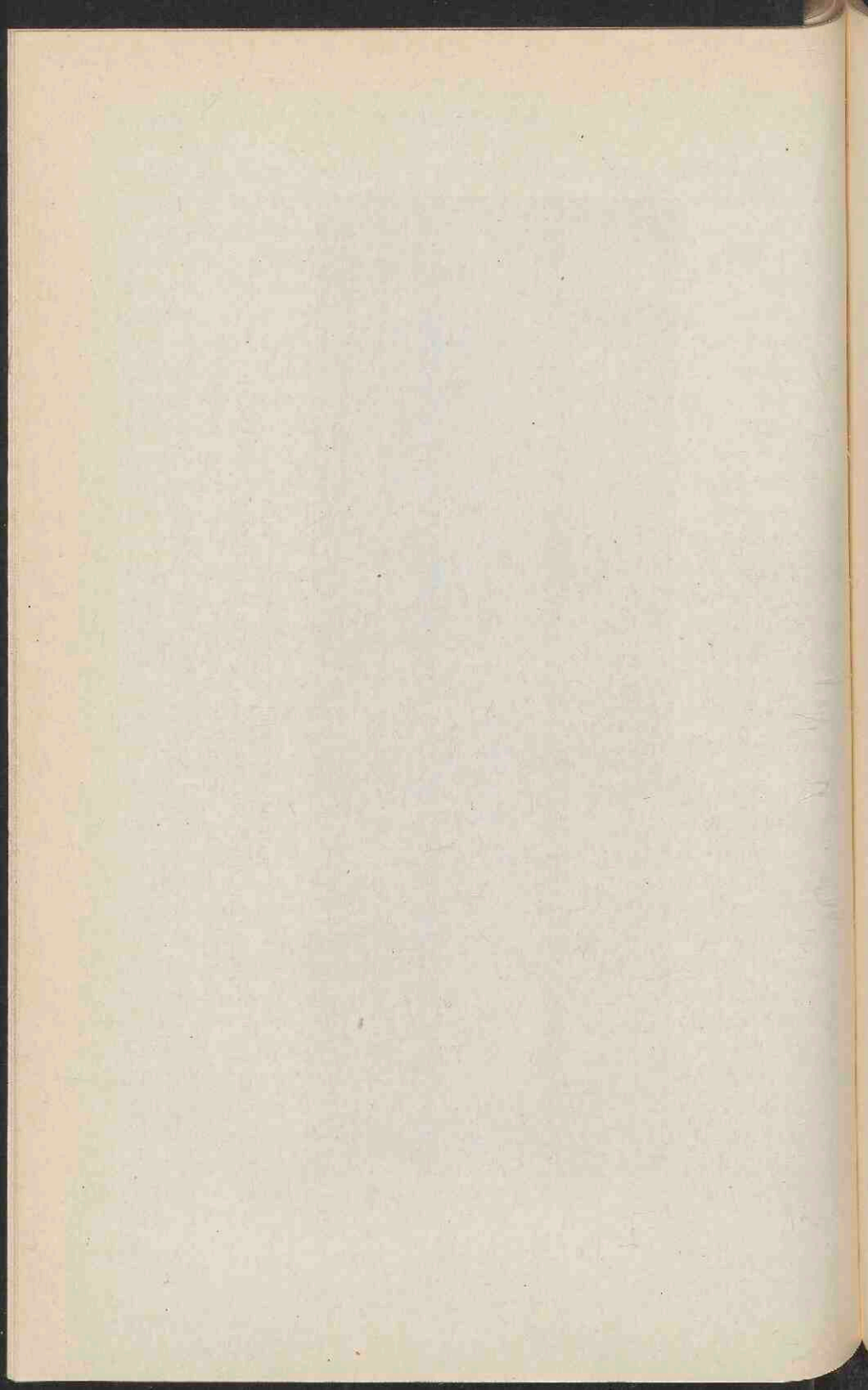
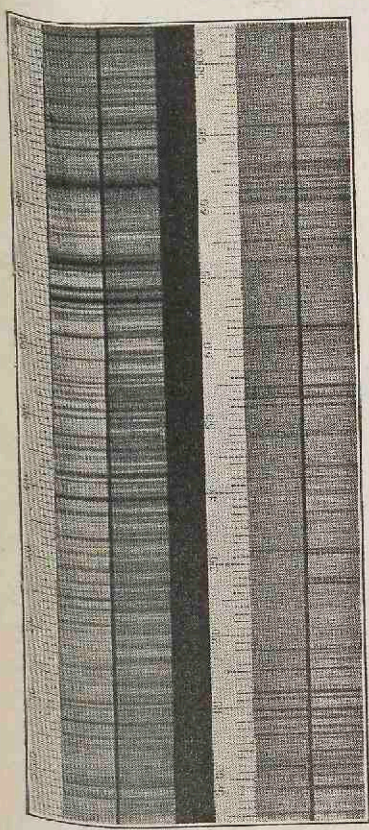
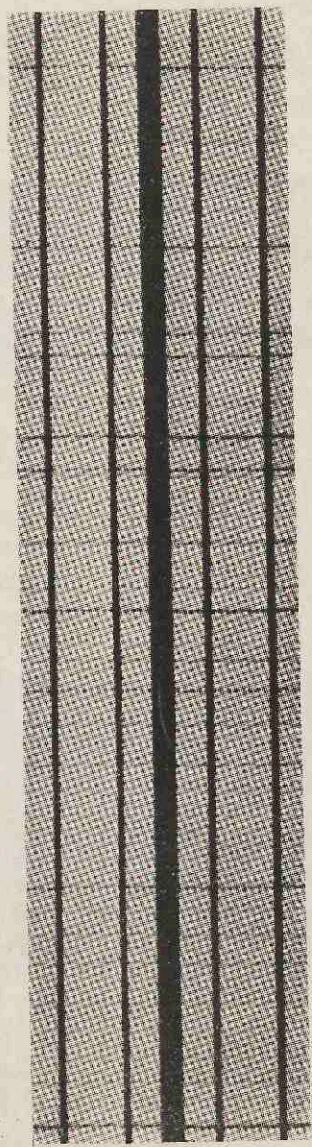


FIG. 65. I FOTOSFEERSPECTRUM
 II VLEKSPECTRUM.
 (Uit: G. E. Hale: The study
 of stellar evolution).

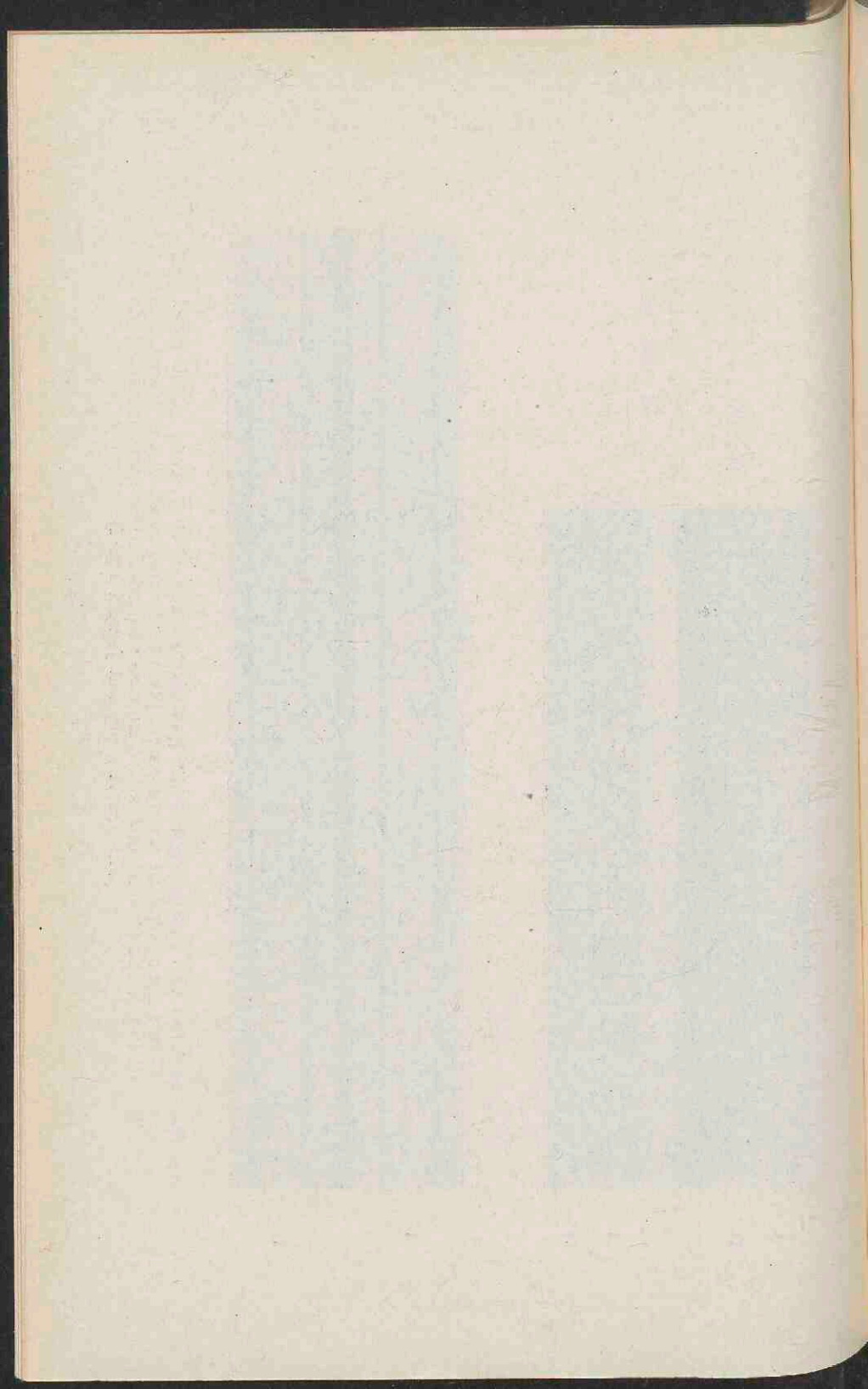


I
 II
 I
 II



I
 II

FIG. 65a. SPECTRA VAN HET MIDDEN EN DE RANDEN DER ZONNESCHIJF, (VAN λ 5370 TOT λ 5425)
 I. HET MIDDEN EN DE WESTRAND; LIJNVERSCHUIVING NAAR VIOLET (LINKS).
 II. HET MIDDEN EN DE OOSTRAND; LIJNVERSCHUIVING NAAR ROOD (RECHTS).
 (Uit: The Astrophysical Journal XXXI).



het meten van die verschuivingen een middel om de wentelingsnelheid der *Zon* af te leiden, een zeer moeilijk onderzoek, waarvan de uitkomsten nog steeds niet volkomen bevredigen.

Het spectrum der zonnevlekken is als dat der fotosfeer een absorptiespectrum op continuen grond, die dan echter als regel minder helder is dan die van het fotosfeerspectrum.

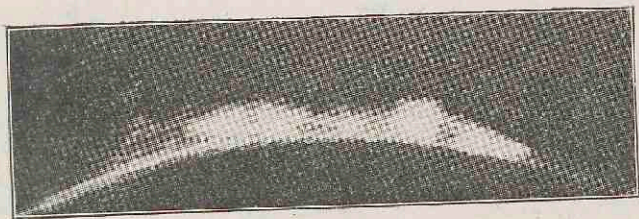


FIG. 66. ZONNE-WOLKEN (METALLISCHE PROTUBERANSEN).
(Uit: Mitteilungen der Nikolai Hauptsternwarte zu Pulkowo Bd. II.)

Maar de absorptielijnen hebben in vele gevallen een plaats en een gedaante, die een weinig verschilt van die in het fotosfeerspectrum; enkele bredere lijnen vertoonen nu en dan een heldere kern en een aantal lijnen en banden van

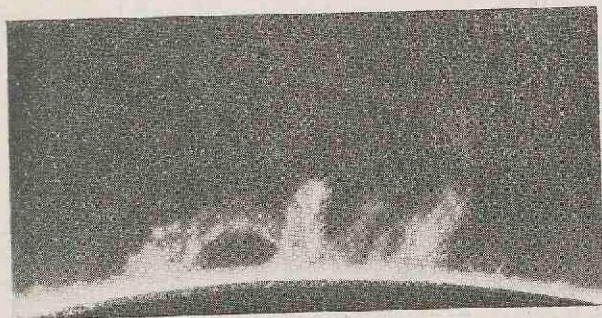


FIG. 67. ZONNE-UITBARSTINGEN
(WATERSTOF-PROTUBERANSEN).

het vlekspectrum komt in het fotosfeerspectrum zelfs in het geheel niet voor. Zie Fig. 65.

Het spectrum der chromosfeer vertoont altijd 10 lijnen van bekende elementen, n.l. 5 van Waterstof, 3 van Helium, 2 van Calcium en 1 van IJzer. Het element Helium is op aarde pas gevonden (Ramsay 1895) nadat een heldere lijn in het chromosfeerspectrum zijn bestaan verraden had! Behalve deze steeds opvallende lijnen zijn nog enkele honder-

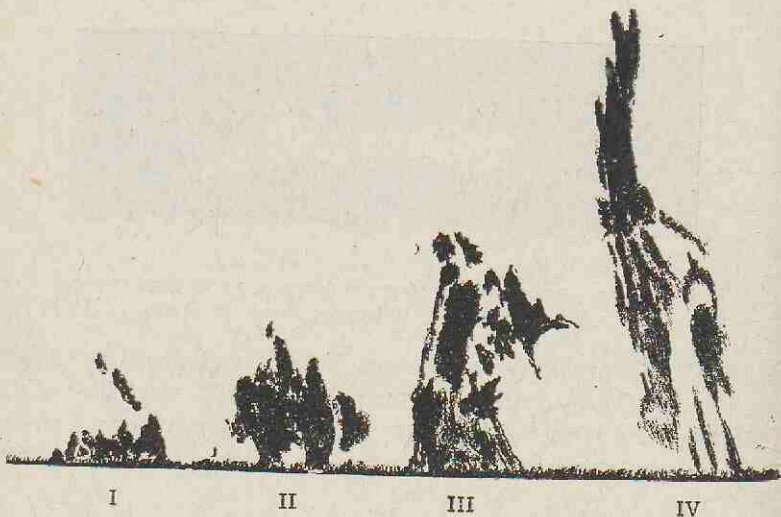


FIG. 68. TEEKENING VAN EEN ZONNE-UITBARSTING.

I te 1 ^u 18m	snelheid	33	km/sec.
II te 1 ^u 23m	"	80	"
III te 1 ^u 29m	"	73	"
IV te 1 ^u 39m	"	276	"

(Uit: Publicationen des Haynald-Observatoriums VIII Heft)

den chromosfeerlijnen uitgemeten, waarvan 20% onbekend zijn en enkele nooit in het fotosfeerspectrum als absorptielijnen zijn waargenomen. Alle chromosfeerlijnen zijn breed nabij den zonnerand en worden smaller naarmate het beschouwde chromosfeer-niveau verder daarvan verwijderd is.

Het spectrum der protuberansen is in hoofdzaak gelijk aan dat der chromosfeer, een spectrum van heldere lijnen van een 18-tal elementen, voornamelijk van Calcium, Waterstof, Helium en Titanium. Men is daarbij gewoon de protu-

beransen naarmate het 1^{ste} of 2^{de} der genoemde elementen overheerschend is, te verdeelen in twee klassen, de Wolken of metallische protuberansen (Fig. 66) en de Uitbarstingen of waterstof-protuberansen (Fig. 67). Deze klassen zijn intusschen niet scherp van elkander gescheiden, maar gaan met eenige tusschenschakeeringen in elkander over.

Het spectrum der uitbarstingen vertoont groote en grillige lijnverplaatsingen en lijnvervormingen, die men steeds aan enorme snelheden in de gezichtslijn heeft toegeschreven, ook omdat de waarneming van den tijd waarin een bepaalde verwijdering van den zonnerand plaats heeft, tot dergelijke groote snelheden loodrecht op de gezichtslijn voerde, snelheden die tot 800 KM./sec. gaan. Daar van een zich in de gezichtslijn bewegende lichtbron alle spectraallijnen verschoven zijn, terwijl dit in het protuberansenspectrum doorgaans alleen met de lijnen van Calcium, Waterstof en Helium het geval is, zou dit beteekenen dat deze gasmassa's zich met snelheden van gemiddeld 500 KM. per sec. verplaatsen door een *in rust blijvende* omgeving van andere gasmassa's. Dit is zeer onwaarschijnlijk. Fig. 68 geeft een merkwaardige teekening van een zonneuitbarsting, die een schijnbare snelheid van 276 KM. per sec. bereikt heeft.

Men kan met den spectroscop behalve het *spectrum* der protuberansen ook hun *vorm* bestudeeren, door een groote dispersie aan te wenden en de spleet van het instrument wijd open te zetten. Door de groote dispersie wordt het continue licht van den hemelachtergrond sterk verzwakt, maar het emissie-spectrum der protuberansen ondergaat daardoor geen intensiteitsvermindering. Wel wordt de lineaire afstand tusschen de lijnen grooter, maar zij blijven even helder en worden dus door de vermindering van het contrast zichtbaar.

Het spectrum der corona is alleen tijdens een totale verduistering te bestudeeren en dus minder goed bekend; het is een spectrum van heldere lijnen op zwak continuen achtergrond. De lijnen corresponderen echter, wat hunne plaats betreft, *niet* met Fraunhofersche lijnen van het fotosfeer-

spectrum en onder hen bevindt zich ééne lijn (λ 5303 in het groen) die nog in geen enkel spectrum van een aardsche lichtbron is opgetreden en die men (wellicht evenzeer voorbarig) de *coronium*-lijn genoemd heeft, als zou zij eigen zijn aan een element dat *alleen* in de zonnecorona voorkomt.

b. FOTOGRAFISCHE WAARNEMINGEN.

Om het oppervlak der *Zon* te kunnen bestudeeren op een fotografische opname, moet men allereerst zorgen voor een beeld van behoorlijke afmetingen. Daar dit, zooals wij op bldz. 156 zagen, verkregen kan worden door vergrooting van den brandpuntsafstand, hetgeen echter boven een bepaalde grens den kijker onhandelbaar en vatbaar voor trillingen maakt, zoo huldigt men sedert de laatste 10 jaar algemeen het beginsel van *vaste opstellingen* voor zonnefotografie. Men kan dan den kijker zoo stevig mogelijk fundeeren, men kan zelfs de geheele kijkerbuis laten vervallen en den brandpuntsafstand nagenoeg onbegrensd lang maken. Inplaats van een parallaxische *kijkerbeweging* kan dan een soort parallaxische *spiegelbeweging* gelijken tred houden met de schijnbare hemeldraaiing. Zulk een spiegelinstrument heet een *coelostaat* (coelum = hemel) of *siderostaat* (sidus = ster) naar gelang de poolas al dan niet met het vlak van den spiegel evenwijdig loopt. Ook de waarnemingen met de Nederlandsche prisma-camera (bldz. 142) worden met een dergelijk hulpinstrument verkregen. Van welke richting nu ook het zonlicht op den spiegel moge invallen, steeds heeft het na terugkaatsing *dezelfde* richting. Vooral op het zonneobservatorium op Mount Wilson is hiervan op groote schaal partij getrokken; de eerste opstelling aldaar bestaat uit een coelostaat (Fig. 69) die het licht naar een gebogen spiegel van 20 Meter brandpuntsafstand zendt en die, daar hij draaibaar is, een zonnebeeld (van 18 cm. middellijn) kan vormen *in elke gewenschte richting*. Zoodoende behoeft men niet verschillende toestellen (camera, spectroscop etc.) met elkaar te verwisselen, maar kan ze alle op afzonderlijke fundaties houden. De gebogen spiegel is gemakkelijk weg

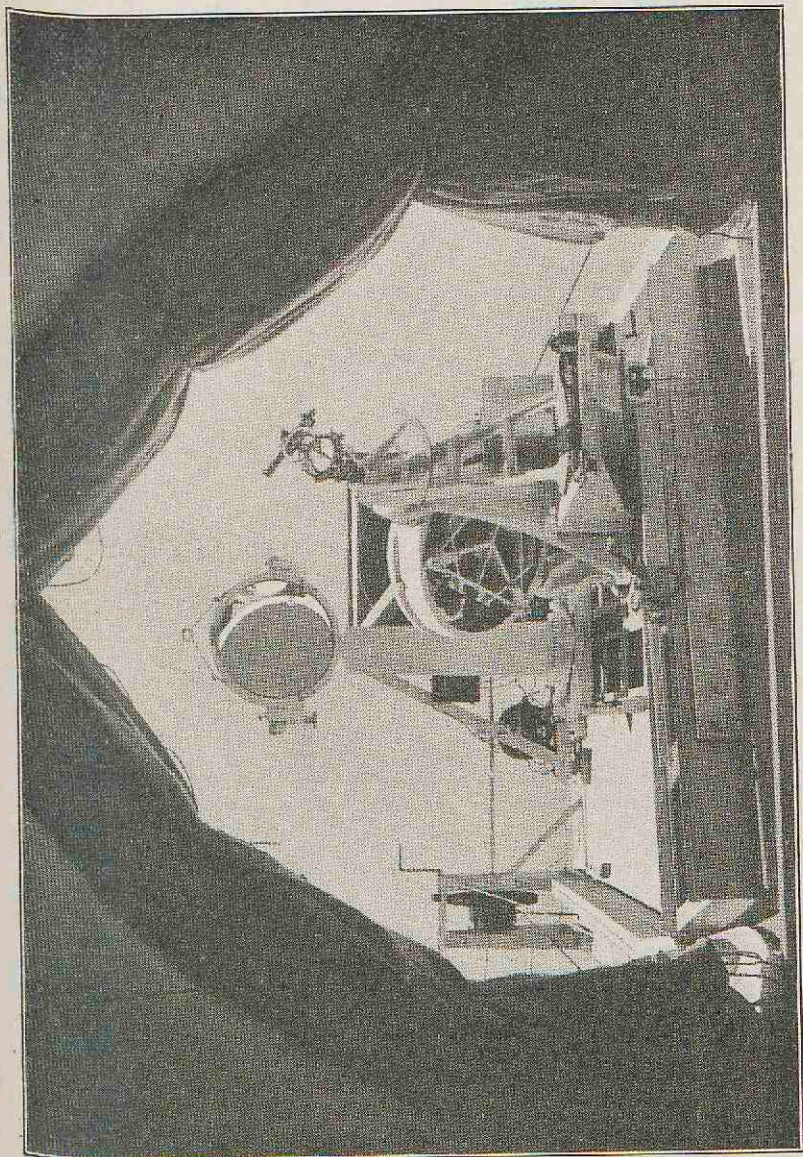
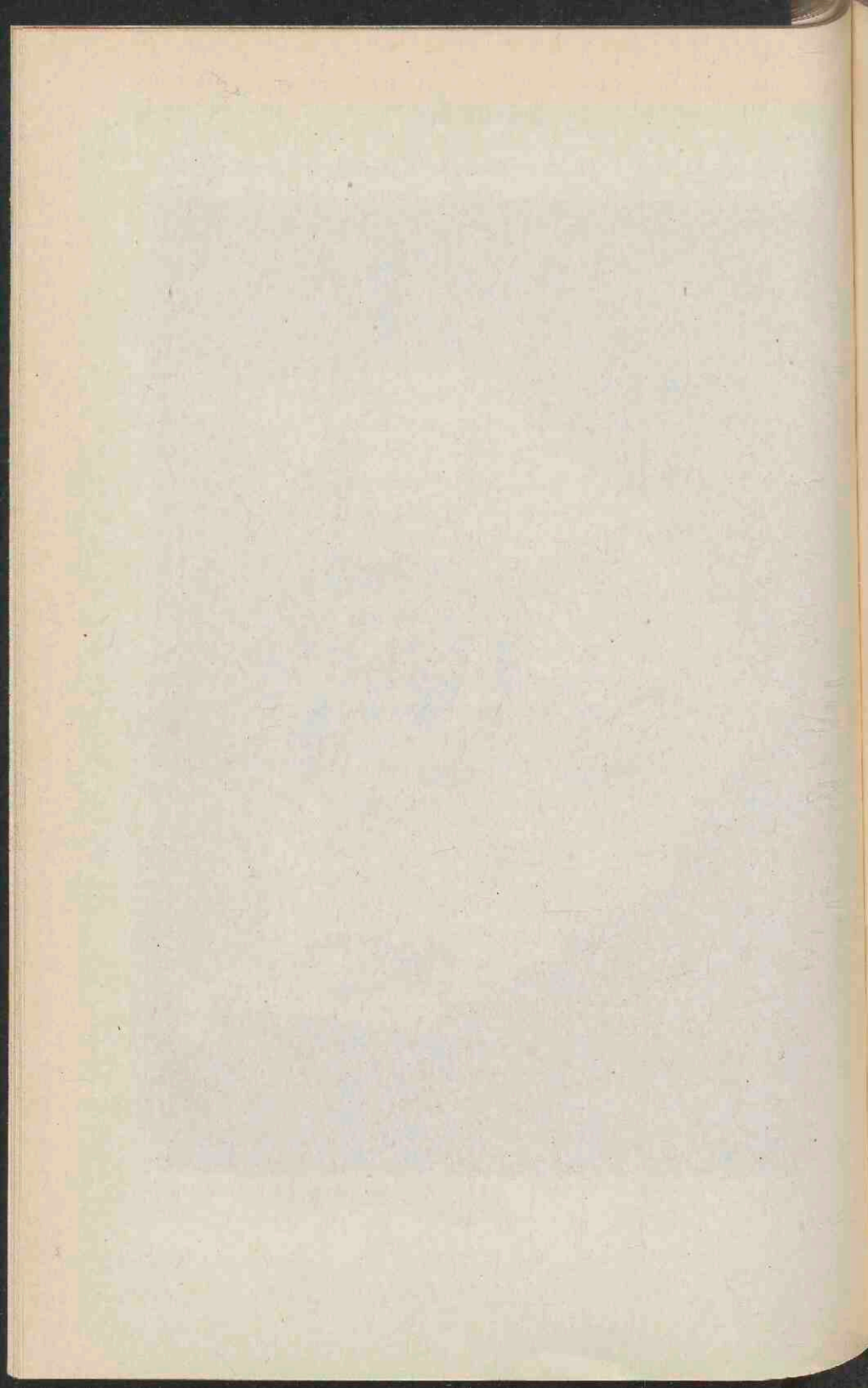


FIG. 69. COELOSTATSPIEGELS, MOUNT WILSON.
(Uit: G. E. Hale, The study of stellar evolution).



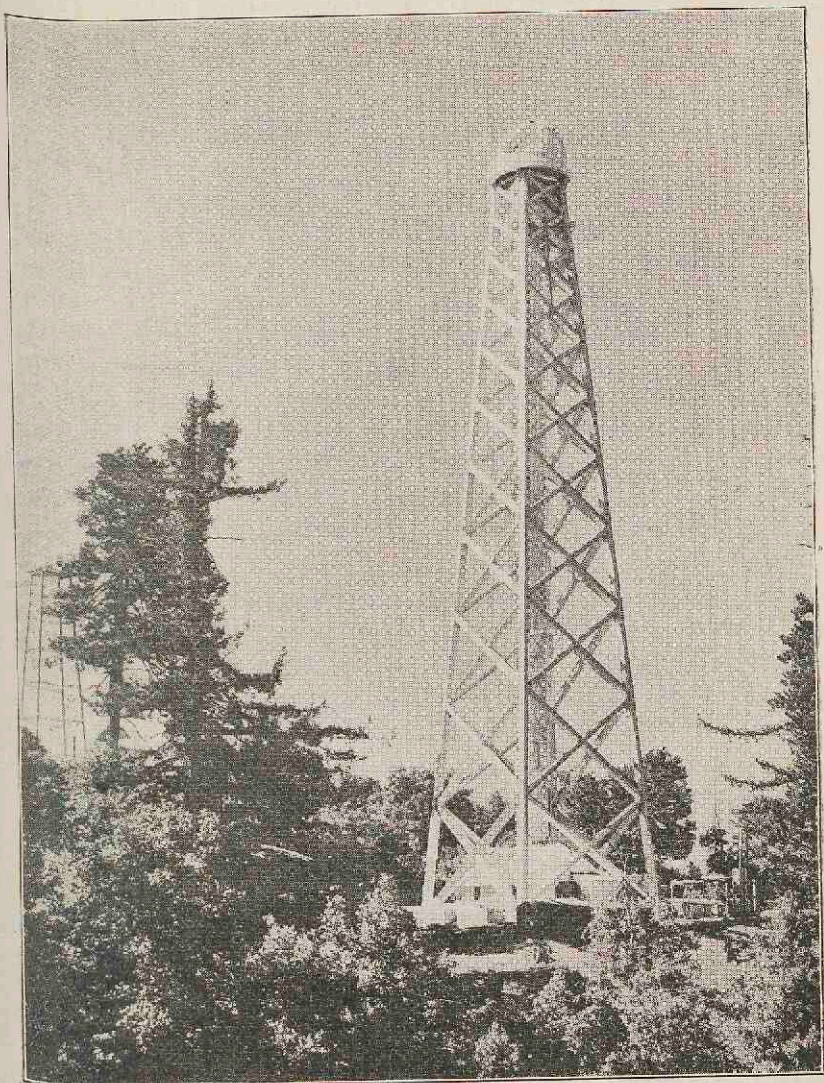
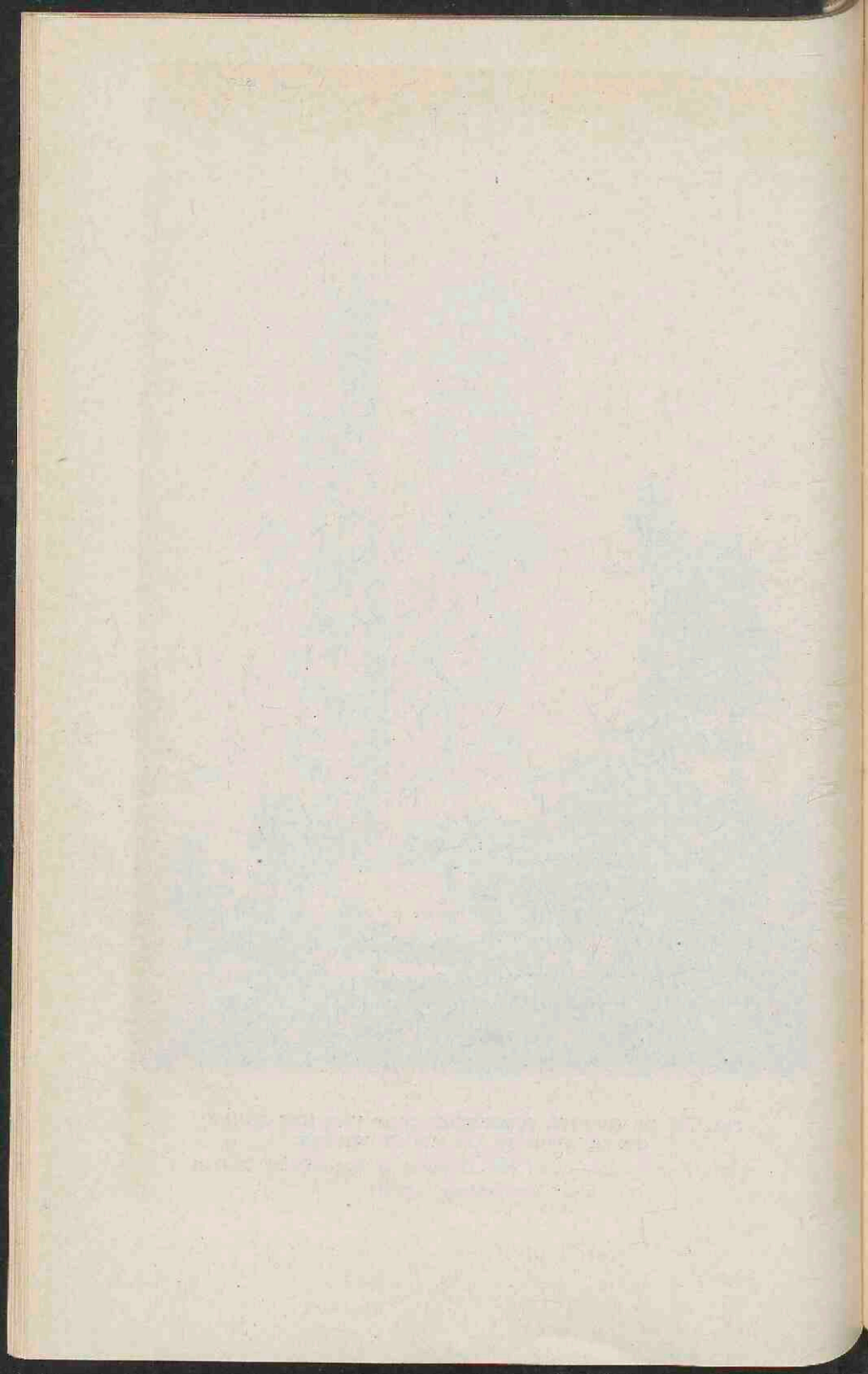


FIG. 70. DE GROOTE TORENTELESCOOP VAN HET ZONNE-OBSERVATORIUM OP MOUNT WILSON.

(Uit: Annual Report of the Director of the Mount Wilson Solar Observatory 1910).



te nemen en te vervangen door een anderen die $f = 48$ M. heeft en een zonnebeeld van 44 cm. middellijn ontwerpt! Bij een dergelijke inrichting, zegt Pringsheim in zijn uitnemend werk over zonnefysica¹⁾, neemt de klassieke astronomische toren geheel en al de gedaante van een kegelbaan aan.

Deze eerste inrichting bleek het nadeel te hebben dat de coelostaatspiegel, op geringen afstand boven den grond geplaatst, den nadeeligen invloed van ongelijkmatig verwarmde luchtstroomen ondervindt en daarom heeft men bij twee nieuwere inrichtingen den stralengang *verticaal* gemaakt. Zoo ontstonden de kleine en groote toren telescoop die men met de op bldz. 162 behandelde reflectoren als de meest moderne en machtigste hulpmiddelen voor astronomisch onderzoek beschouwen kan. De „kleine” toren is een open geraamte van 20 M. hoogte dat den coelostaat draagt, die het licht door een foto-visueel objectief (bldz. 155) verticaal omlaag zendt, waar zich in een put van 9 M. diepte de spectroscopische instrumenten bevinden. De „groote” toren (Fig. 70) is 45 M. hoog, bevat een vrij van het geraamte gefundeerde binnenbuis en is geplaatst over een put van 24 M. diepte, waar de instrumenten tegen alle temperatuurs- en trillingsinvloeden volkomen beschermd zijn. Het zonnebeeld heeft ook hier een middellijn van 44 cm.

Behalve dat een groot beeld den onderzoeker in staat stelt de bijzonderheden van het zonne-oppervlak nauwkeuriger te bestudeeren, geeft het ook een groot gemak wanneer men de spleet van den spectrograaf *precies* rakende aan het beeld wil houden, en daar dit van het grootste belang is bij het fotografeeren van het chromosfeerspectrum buiten eclips, zijn de daartoe aangewende pogingen eerst na gebruikmaking van bovengenoemde opstellingen (1909) volledig geslaagd.

Het tevens aanwenden van een zeer groote dispersie stelde Hale, den directeur van het Mt. Wilson Observatorium, in

¹⁾ E. Pringsheim: Vorlesungen über die Physik der Sonne. Berlin 1910. Sterrenkunde, 15

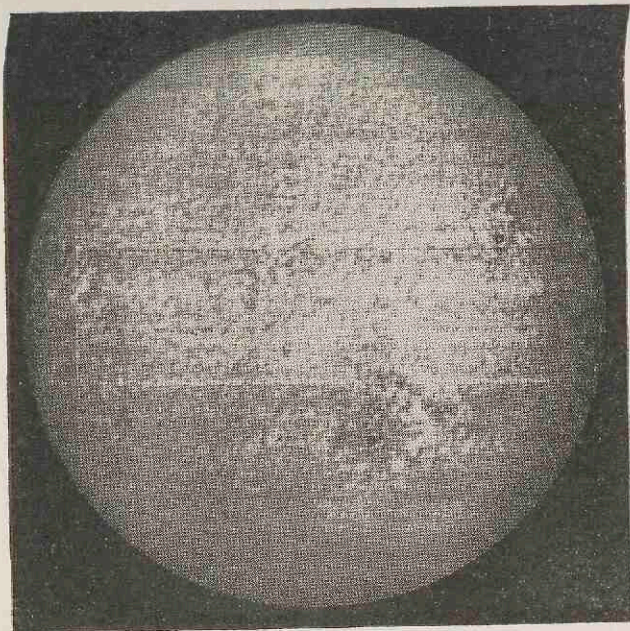
staat bij enkele lijnen in het spectrum der zonnevlekken een splitsing waar te nemen, zooals die naar theoretische en practische onderzoekingen van onze landgenooten Lorentz en Zeeman op moet treden wanneer de te onderzoeken lichtbron *in een magnetisch veld* zetelt. De zonnevlekken moeten na deze ontdekking voorloopig beschouwd worden als gebieden waar de zonne-gassen een wervelbeweging hebben; de rondwentelende electricch geladen deeltjes wekken dan een magnetisch veld op, dat echter vergeleken bij de in laboratoria opwekbare velden (tot 40.000 eenheden) zeer zwak is (in maximo 3000 eenheden).

Een groote dispersie is voor alle detail-onderzoek van groote waarde; een atlas van het fotosfeerspectrum, met groote dispersie verkregen, hebben reeds Thollon (Nice) en Rowland (zie bldz. 140) samengesteld, doch voor het vlek-spectrum ontbrak hij tot dusverre. Ook deze taak heeft het Mt. Wilson Observatorium op zich genomen; daar is een fotografische atlas in 100 bladen van het vlek-spectrum in bewerking waarin 1° AE een lengte van 1 cm. heeft. De totale lengte van het spectrum tusschen λ 7200 en λ 4600 is dus 26 Meter!

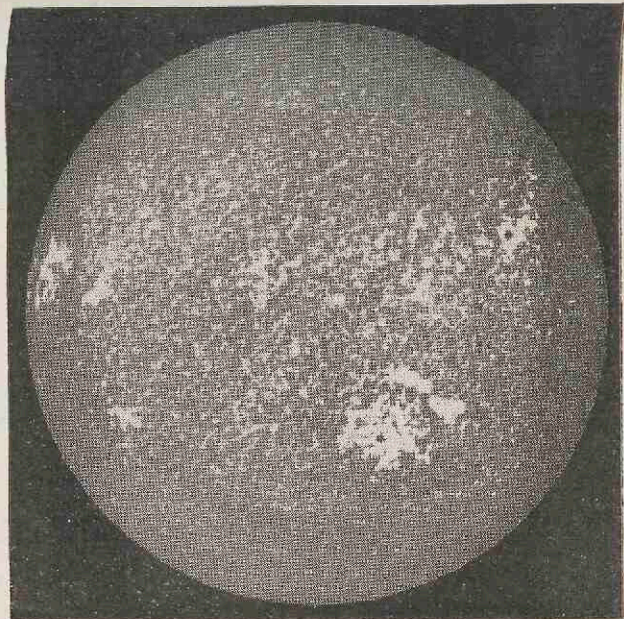
DE SPECTROHELIOGRAFISCHE METHODE.

krijgt, door een fotografische plaat op te stellen daar waar het spectrale beeld gevormd wordt, en dat men tenzij de dispersie zéér gering is, niet het geheele spectrum, maar slechts een bepaald spectraal gebied gelijktijdig in beeld kan brengen. Men kan dit spectraalgebied nog verkleinen door vóór de fotografische plaat een scherm te plaatsen met een smalle opening, die bijv. alleen het zuiver groene gebied doorlaat. Wanneer men nu echter het door den kijker op de spectrograaf-spleet ontworpen beeld over die spleet heen beweegt, behoort het doorgelaten groene gebied telkens bij een ander deel der zonneoppervlakte. Kan men de fotografische beelden van die groene gebieden *naast elkaar* op de plaat krijgen, dan heeft men daarmede een „kleuren-

Wij zagen in het Achtste hoofdstuk dat men een zonnenspectrogram ver-



I



II

FIG. 71. SPECTROHELIOGRAMMEN DER ZON.
I. DE ZON IN WATERSTOFLICHT, II. DE ZON IN CALCIUMLICHT.
OP BEIDE OPNAMEN ZIJN DEZELFDE ZONNEVLEKKEN ZICHTBAAR.
(Uit: G. E. Hale, The Study of stellar evolution).

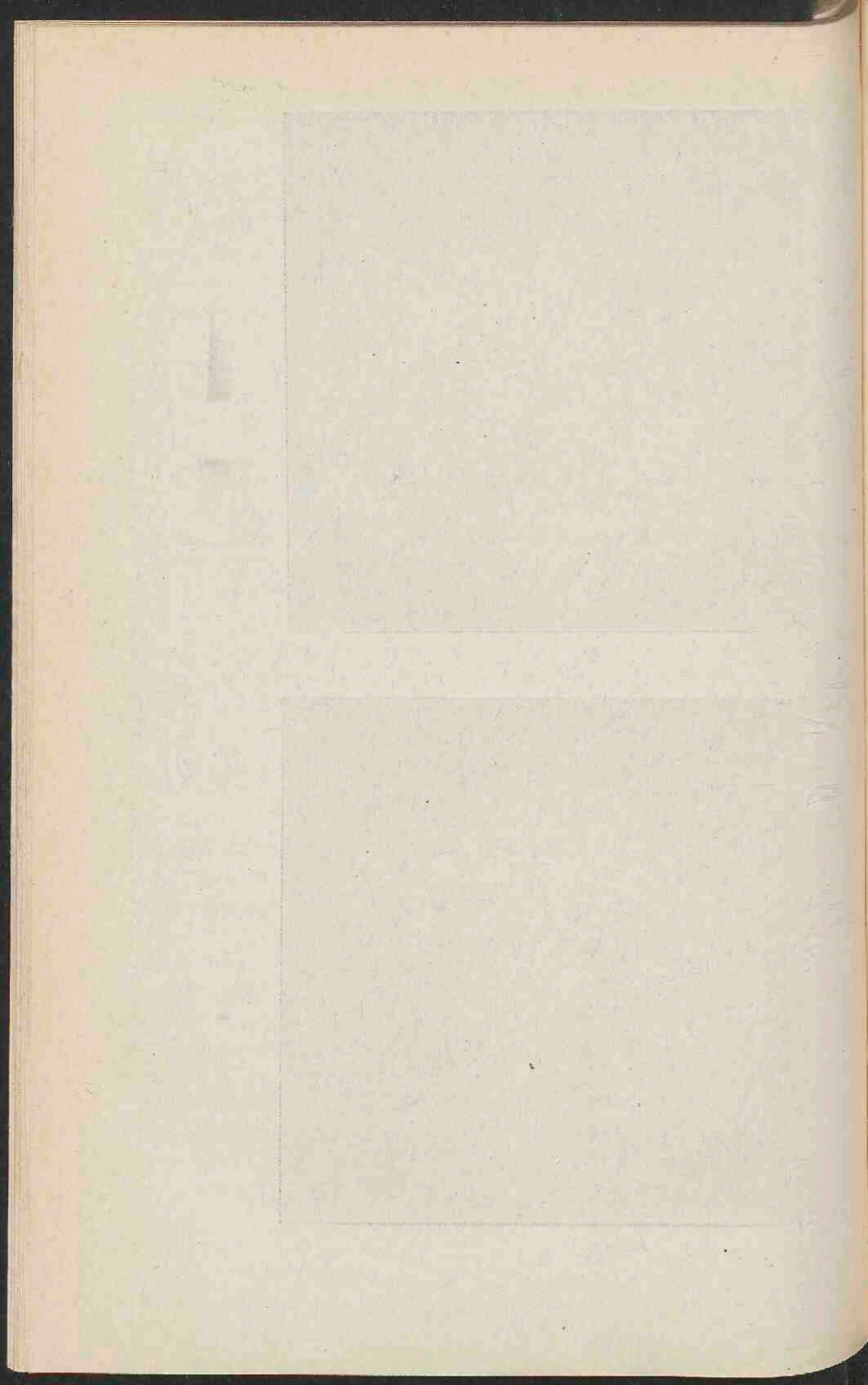
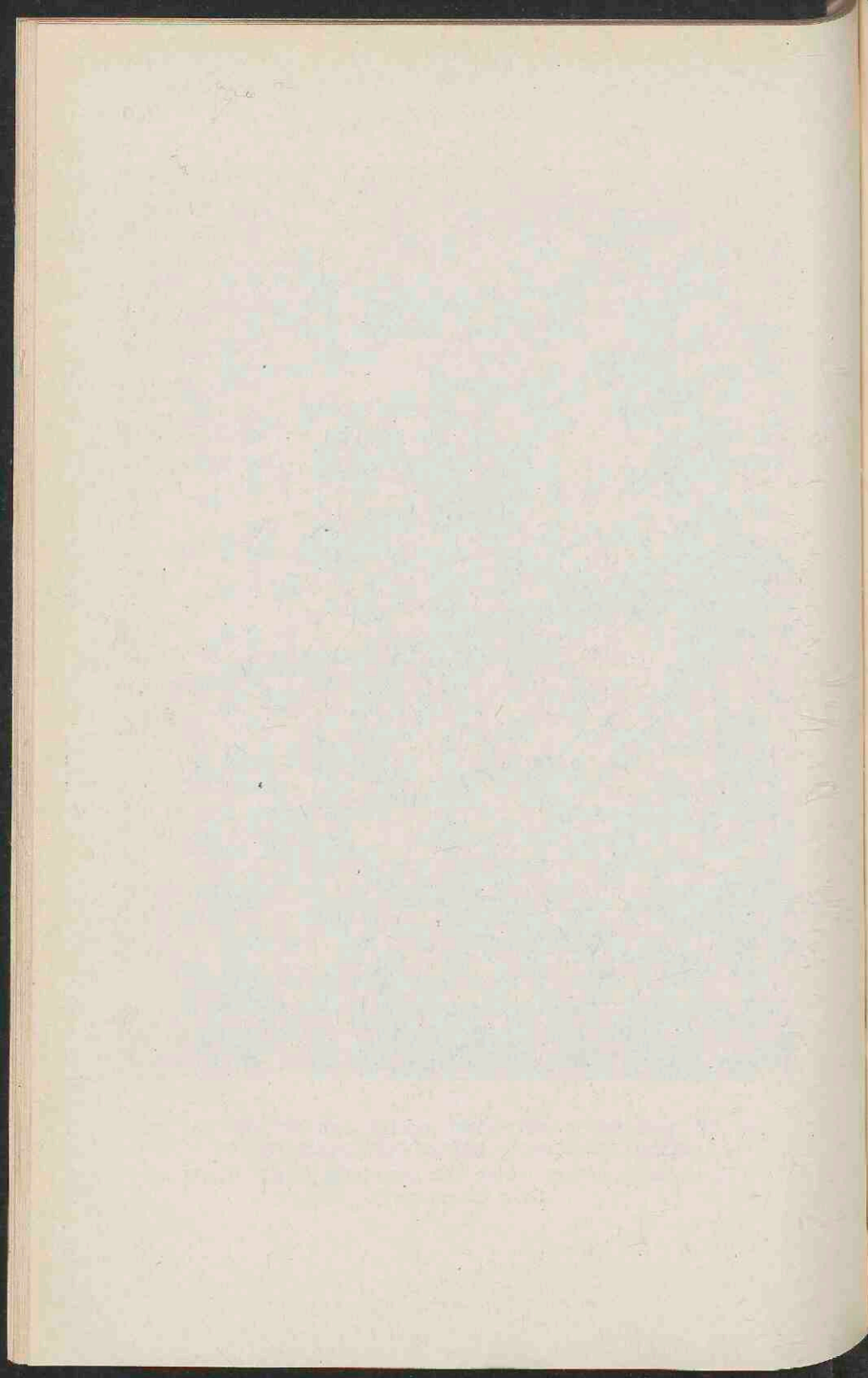




FIG. 72. WATERSTOF SPECTROHELIOGRAM VAN DE ZON, DAT DE WERVELBEWEGINGEN DER ZONNEVLEKKEN TOONT.

(Uit: Annual Report of the Director of the Mount Wilson Solar Observatory).



foto" van de *Zon* gekregen en wel een groene; daartoe heeft men dus slechts de beweging van de plaat te koppelen aan die van het zonnebeeld over de spleet. Maakt men de smalle opening in het scherm zéér smal, tot zij zelve het karakter van een spleet heeft aangenomen (bijv. $\frac{1}{20}$ mm.) dan wordt het doorgelaten gebied zóó klein dat a. h. w. slechts het licht van een spectraallijn wordt doorgelaten. Men heeft dan de kleurenfotografie „à outrance" doorgevoerd, en een beeld verkregen van de *Zon* niet alleen in licht van één kleur, maar in licht van één golflengte! Het naar dit beginsel samengestelde instrument heet een spectroheliograaf. Daar de Fraunhofersche lijnen van het fotosfeerspectrum evenals de kernen der zonnevlekken slechts donker lijken door contrastwerking, maar inderdaad nog licht van aanzienlijke intensiteit uitzenden, zoo kan men ook spectroheliogrammen verkrijgen van het licht der absorptielijnen en men kiest daarvoor bij voorkeur de verschillende waterstoflijnen en twee breede calciumlijnen in het violette deel van het spectrum. De opnamen vertoonen dan de *Zon* in een opvallend „vlokke" structuur (Fig. 71) van ongelijk verlichte plekken, welke uitmeting weder een bijdrage kon leveren voor onze kennis van de wentelingssnelheid der *Zon*. Maar de juiste interpretatie van alle verschijnselen die de spectroheliogrammen de laatste jaren getoond hebben, is uiterst moeilijk en menige strijdvraag is reeds ontstaan over het mysterie van deze golflengtefoto's. Het beeld der *Zon* is niet alleen in calciumlicht geheel anders dan in waterstoflicht, maar ook verschillend naar gelang het verkregen is uit de eene of andere lijn van hetzelfde element of uit den rand of het midden van dezelfde spectraallijn! Bovendien blijken in sommige opnamen spiraalvormige vlekken-groeperingen voor te komen en wel in de 1^{ste} plaats bij de zonnevlekken. Fig. 72 geeft hiervan een sprekend voorbeeld, omdat ze twee vlekken vertoont die aan de oppervlakte een tegengesteld gerichte wervelbeweging hebben alsof die van de eene zich trechtervormig naar een andere plek heeft voortgeplant. Wij over-

schrijden bij een meer grondige beschouwing der uitkomsten, met den spectroheliograaf verkregen, de grenzen van een populaire bespreking. Zij zijn evenals alles in het zonne-onderzoek zeer moeilijk en zeker niet op voor ieder bevredigende wijze te verklaren. Wie zich een goed samenhangend beeld der zonneverschijnselen wil vormen, heeft geen gemakkelijke taak. Hoe komt het dat de *Zon* zich aan ons vertoont als een schijf met een scherpe begrenzing? Waarom neemt hare helderheid af van het midden naar de randen en waarom niet evenveel voor de roode als voor de violette stralen? Mag men wel blijven denken aan een sterk absorberende zonnedampkring als de waarnemingen der Nederlandsche fysici Julius en Moll op overtuigende wijze leeren dat in dien z. g. „dampkring” minder dan $\frac{1}{1000}$ van het fotosfeerlicht wordt vastgehouden? Waarom ontstaan zooals sommige waarnemers meenen de zonnevlek-wervels bij voorkeur aan de van de aarde afgewende zijde der *Zon* en waarom alleen in bepaalde gebieden van haar oppervlak. Door welke invloeden ontstaat de wervelbeweging en door welke invloeden wordt zij weer opgelost? Hoe ontstaat het periodieke karakter van deze verschijnselen, van de fakkels en de protuberansen? Zijn de enorme en grillige „uitbarstingen” en hare onverklaarbare snelheden werkelijkheid, en zoo neen wat zijn ze dan wel, en waarom komen ze bij de „wolken” niet voor? Is de chromosfeer wel een zelf licht-uitstralend gebied, of wordt het ons slechts voorgetooverd door licht dat op de een of andere wijze aan de straling der fotosfeer onttrokken is? Waarom is de vorm der corona afhankelijk van de fase der vlekkenperiodiciteit, hoe ontstaat een volkomen onbekende lijn in het coronaspectrum en wat voor zonderling lichtverschijnsel kan deze corona wel zijn die lijnen uitzendt welke de fotosfeer niet kent? Waarom hebben de Fraunhofersche lijnen niet alle dezelfde breedte en *wat bepaalt eigenlijk de breedte bij een absorptielijn?* Is „absorptie” daarbij het eenige verschijnsel? Spectraallijnen ondergaan geringe plaatsveranderingen door verschijnselen van beweging, van drukking, van magnetisme, van onregel-

matige straalbreking e. a. Welke van deze invloeden is in elk onderhavig geval overwegend? Is de temperatuur van een zonnevlek hooger of lager dan die van de omringende fotosfeer? Wat is ten slotte de verklaring der spectroheliografische beelden en kan deze wellicht later gevonden worden door ze te vergelijken met opnamen in bredere kleurgebieden?

De pogingen om deze en nog tal van andere vragen te beantwoorden hebben geleid tot het opstellen van eenige z.g. „zonnetheorieën,” waarvan voor het oogenblik de voornaamste zijn die welke resp. het zwaartepunt van wat aangaande de *Zon* wordt waargenomen leggen in:

1. Bewegingsverschijnselen (Young, Hale).
2. Licht (voorn. straalbrekings-)verschijnselen (Julius).

Het kunnen begrijpen der bijzonderheden van elke van deze opvattingen eischt een vergevorderde kennis der natuurwetenschappen in het algemeen. Daar Julius en Moll uit waarnemingen tijdens de ringvormige zonsverduistering van 17 April 1912 hebben afgeleid dat de buitenste laag van het zonneoppervlak *geen absorbeerende laag* is, althans niet in den zin waarin men ze jaren lang beschouwd heeft en hierdoor de verschillende opvattingen wellicht nader tot elkaar gebracht zullen worden, zullen wij er ons toe bepalen met een enkel woord deze beide opvattingen te bespreken, met terzijdestelling van andere theorieën, o. a. die welke een grooten invloed toekennen hetzij aan chemische en radioactieve werkingen (Brester), hetzij aan electriche (Birkeland).

De sub 1 genoemde opvatting is nog steeds de meest verbreide; hare aanhangers beschouwen de *Zon* als een gasbol, waarin tenminste wat het buitenste deel betreft, de gassen „in lagen gescheiden” kunnen voorkomen, zij beschouwen het licht alleen in zijn *rechtlignige* voortplanting en zien in de Fraunhofersche lijnen uitsluitend een effect van absorptie, in hare breedte een effect van dichtheid, die grooter is in diepere niveau's, zoodat het optreden van een breede lijn beteekent dat de absorptie heeft plaats gehad in een gebied van groote diepte. Zij denken bij lijnverschuivingen en

lijnvervormingen nagenoeg uitsluitend aan het beginsel van Doppler, en zoo trachten zij alle zonneverschijnselen terug te brengen tot twee primaire oorzaken: *niveau* en *beweging*. De fakkels zijn verhoogingen van de fotosfeer, een spectroheliogram genomen met de spleet op den rand van de breede calciumlijn geeft de verdeling van diepere calciumlagen aan dan een dergelijke opname, verkregen met de kern dezer lijn enz. enz.

Julius daarentegen beschouwt de *Zon* als een gasbol, waarin de gassen zoo innig mogelijk gemengd zijn, maar waarin o.a. door de afkoeling der buitenlagen, en waarschijnlijk ook door condensatieverschijnselen, tamelijk grillige en plaatselijke *dichtheidsveranderingen* kunnen optreden. Het licht kan daardoor een aanzienlijke afwijking van zijn rechtlijnige voortplanting ondergaan en de aldus optredende *gebogen lichtstralen* zullen in den gasbol een groote rol spelen; het blijkt daarbij in het bijzonder dat *golflengten in de onmiddellijke nabijheid van absorptielijnen* op volkomen onregelmatige wijze gebroken kunnen worden. Het zijn deze onregelmatigheden, te zamen met die welke het overal heen verspreide (diffuse) licht ondergaat (ons daglicht is in hoofdzaak diffuus licht), die nagenoeg alle zonneverschijnselen in het karakter van onregelmatige *lichtverschijnselen* vermogen te verklaren. Een Fraunhofersche lijn is alleen voor zoover de zeer smalle kernlijn betreft een *absorptielijn*; hare verbreeding ontstaat in hoofdzaak, doordat het licht in hare onmiddellijke omgeving deels wordt weggebogen door onregelmatigheden in de straalbreking, deels aan intensiteit verliest door onregelmatigheden in de diffusie.

Het onder verschillende omstandigheden en uit verschillende diepten weggebogen licht vinden wij terug in de lichtverschijnselen der fakkels, der chromosfeer en van de protuberansen. Deze verschijnselen beteekenen slechts voor een zeer klein deel *eigen* straling, en zijn in hoofdzaak fotosfeerlicht. Van de heldere lijnen van het protuberansen spectrum is alleen de smalle kernlijn een emissielijn en deze verandert

nagenoeg niet van plaats, d. w. z. enorme snelheden komen in werkelijkheid niet voor; de „breedte” dezer emissielijn is weggebogen fotosfeerlicht en de grillige veranderingen daarvan wijzen op een *licht*-beweging, maar niet op een beweging van zonnematerie.

Zoo is ook de granulatie van het zonneoppervlak een gevolg van de lichtbreking in gassen van wisselende dichtheid en zoo vindt men ook een bevredigende verklaring voor de spectroheliografische beelden; de theoretische beschouwingen echter, die aan deze opvattingen ten grondslag liggen, zijn niet eenvoudig.

Julius verklaart op deze wijze nagenoeg alle zonneverschijnselen *zonder eenige nevenhypothese* en dit is van groote waarde. Ook al zijn nog lang niet alle zonnefysici voor zijne opvatting gewonnen, zoo zullen diegenen onder hen, die vasthouden aan het bestaan van een sterk absorbeerenden zonedampkring, na de uitkomsten van de Nederlandsche Eclipseexpeditie in 1912 den grondslag van vele van hunne beschouwingen moeten wijzigen.

Noch van de corona, noch van de scherpe begrenzing der zonneschijf, noch van het periodieke karakter der zonneverschijnselen geeft intusschen eenige theorie een volkomen bevredigende verklaring. Niet alleen kan men de zonnetoestanden *practisch* niet nabootsen, maar men weet evenmin in hoeverre de *theoretische* fysische en thermodynamische wetten bij de temperatuur der *Zon* hare geldigheid behouden. Over deze temperatuur en het behoud der zonnestraling ten slotte een enkele opmerking: theoretische overwegingen, o.a. berustende op onze kennis omtrent de op aarde ontvangen hoeveelheid warmte per cm^2 ., hebben geleerd dat de temperatuur der fotosfeer *minstens* 6000°C . is.¹⁾ Een doorlopend uitzenden van de straling, zooals die wordt waargenomen, zou deze temperatuur met een jaarlijksch bedrag van minstens 1°C . verminderen, maar zulk eene vermindering wordt niet waargenomen. Daarom heeft men verschillende onderstellingen geopperd over de wijze waarop

¹⁾ De temperatuur van de booglamp is ongeveer 4000°C .

de zonnestraling behouden blijft, maar ook deze zijn niet volkomen bevredigend. Het verlies door uitstraling kan gecompenseerd worden door de volgende bronnen van winst:

1. Het in den zonnegasbol terecht komen van een groot aantal meteoren, snel bewegende onzichtbare lichaampjes der wereldruimte, wekt eene bepaalde hoeveelheid warmte op, die afhankelijk is van hunne massa en snelheid. Van de laatste kan men het bedrag met groote waarschijnlijkheid vaststellen en dan berekenen hoe groot de massa moet zijn, om de opgewekte hoeveelheid warmte hetzelfde bedrag te doen bereiken als dat van het verlies door uitstraling. Men komt dan tot een jaarlijksch bedrag aan meteorenmassa van $\frac{1}{100}$ van de massa der aarde. Dit is echter een onwaarschijnlijk groot bedrag.

2. Een inkrimping van den straal der *Zon* met een jaarlijksch bedrag van 75 Meter (een bedrag dat zelfs na eeuwen niet voor ons bemerkbaar kan zijn) heeft een opwekking van warmte tengevolge, die het verlies door uitstraling volkomen compenseert. Dan zou echter, als men het proces als constant verlopend aanneemt, het samentrekken van den „oernevel” die tot zonnestelsel werd, ongeveer 22 millioen jaren geleden begonnen zijn, terwijl geologische beschouwingen tot een veel hooger en ouderdom der aarde voeren. Daartegenover staat echter dat het volstrekt niet zeker is dat de *Zon* uit samentrekking van een nevel ontstaan is.

3. Wanneer het zonnelichaam per M^3 3.6 gram *radium* bevat, kan door radio-actieve processen de geheele warmtestraling der *Zon* worden opgewekt. Nu is echter de aanwezigheid van radium spectroscopisch niet of nauwelijks aangetoond, maar daar het overvloedig in de chromosfeer voorkomende element *helium* een der vervalproducten van het radium is, blijft de mogelijkheid bestaan dat dit element werkelijk in de, zich aan spectroscopisch onderzoek onttrekkende diepten van den zonnebol aanwezig is. Het gedrag van radium bij de temperatuur der *Zon* is bovendien niet bekend, en zoo wordt ook hier het onzekere terrein der hypothese niet verlaten.

EENIGE GEGEVENS OVER DE ZON.

Werkelijke middellijn = 1387000 KM. = 109 × middellijn der aarde.

Schijnbare middellijn = 32' 4." (var. tusschen 32' 36." en 31' 32").

Volume = 1285000 × volume der aarde.

Massa = 332000 × massa der aarde.

Dichtheid = 0.26 × dichtheid der aarde = 1.41 × dichtheid van water.

Zwaartekracht aan de oppervlakte der Zon = 27.5 × die aan de oppervlakte der aarde.

De Zon geeft 600.000 maal zooveel licht als de volle maan (op gemiddelden afstand).

De afstand tot de aarde bedraagt 149.5 mill. KM. (var. tusschen 152 mill. en 147 mill.)

De omwentelingstijden der verschillende heliografische breedten zijn de volgende:

φ	T	φ	T
	d		d
0°—5°	24.71	25°—30°	25.92
5°—10°	24.84	30°—35°	26.49
10°—15°	25.14	45°	27.8
15°—20°	25.41	60°	29.7
20°—25°	25.62	75°	31.0

onzeker



XII DE MAAN

DE *Maan*, satelliet¹⁾ der aarde, beweegt zich in 27.^d 32 (siderische omlooptijd) in een elliptische baan ($e = 0.056$) die de aarde tot brandpunt heeft. De uiteinden van de groote as dezer baan heeten perigeum en apogeum²⁾; de gemiddelde afstand der maan bedraagt 60.27 aardstralen. De elementen der maansbaan zijn aan aanzienlijke en ingewikkelde storingen onderworpen, waartoe o.a. behooren een sterke verandering der excentriciteit (van 0.071 tot 0.046), een richtingsverandering der groote as tot een gemiddeld jaarlijksch bedrag van 40° , een draaiing van de knopenlijn, en onregelmatigheden in de omlooptijden.

De *Maan* zendt naar de aarde alleen teruggekaatst zonlicht, ongeveer $\frac{1}{8}$ deel van wat haar wordt toegezonden. Aan de voor elk lid van het zonnestelsel eigen verhouding tusschen de hoeveelheden ontvangen en teruggekaatst zonlicht, heeft men den naam „albedo” (witheid) gegeven. De albedo der *Maan* is 0.13; de kennis daarvan kan een maatstaf zijn om uit een vergelijking met de albedo van bekende gesteenten iets te weten te komen van de vermoedelijke samenstelling der maanformaties.

1) Latijn: satelles = metgezel.

2) $\gamma\eta$ = aarde.

De maansbaan helt 5° op de ecliptica, zoodat de *Maan* zich in conjunctie met de *Zon* als regel aan de sfeer iets boven of onder deze bevindt en in oppositie met de *Zon* iets boven of onder den schaduwkegel der aarde. Alleen dan, wanneer deze bijzondere standen plaats hebben dicht bij de knopenlijn (verg. bldz. 179) der maansbaan, vertoont de *Maan* in conjunctie een *overgang* (zonsverduistering) en in oppositie een *verduistering* (maansverduistering).

In conjunctie heet de *Maan* „nieuw”; de naar de aarde toegekeerde zijde ontvangt dan geen zonlicht zoodat zij voor ons onzichtbaar is.

In oppositie heet de *Maan* „vol”; zij toont ons dan een geheel verlichte schijf; in de tusschenstanden is de schijf slechts gedeeltelijk verlicht. Is dit deel = 0.5 dan spreekt men van „Eerste kwartier” (E.K.) bij vol wordende (*was-sende*) *Maan* en van „Laatste kwartier” (L.K.) bij nieuw wordende (*afnemende*) *Maan*. Het aantal dagen verlopen sedert de *Maan* nieuw was heet: „de ouderdom der *Maan*.” De *Maan* loopt zooals wij reeds in het 1^{ste} hoofdstuk zagen, snel van West naar Oost; zij legt per dag gemiddeld 12°.19 meer af dan de zon, heeft dus in 24 “ M.T. slechts gemiddeld 347°.81 van haar parallelcirkel beschreven en om dien geheelen cirkel te doorloopen, heeft zij dus

$\frac{360}{347.81} \times 24'' = 24'' 50^m.6$ noodig. De *Maan* komt dus

gemiddeld elken dag ruwweg 51 min. later in den meridiaan, maar daar hare Oostelijke beweging geen eenparige is, loopt dit bedrag uiteen van 37 tot 65 min. Ook de opkomst en ondergang der *Maan* vallen gemiddeld elken dag 51 min. later, maar hierbij liggen de grenzen, waartusschen dit bedrag varieert, veel verder uiteen en deze grenzen zijn bovendien afhankelijk van de breedte der waarnemingsplaats. De declinatie der *Maan* verandert snel en de invloed daarvan op hare opkomst hangt van den onderlingen stand van de maansbaan en den horizon af en deze is weder afhankelijk van den tijd van het jaar en de breedte van de plaats van waarneming. Voor de breedte van Nederland

loopt het bedrag van de dagelijksche latere opkomst der maan uiteen van ong. 10 sec. tot ong. 90 sec.

De overeenkomstige fasen der *Maan* volgen op elkaar na het tijdsverloop dateen „synodische maand” heet (verg. bldz. 89). Zij is langer dan de siderische, om dezelfde reden als die waarom een zonnedag langer is dan een sterredag. De gemiddelde duur is 29.^d 53, doch door storingen en door

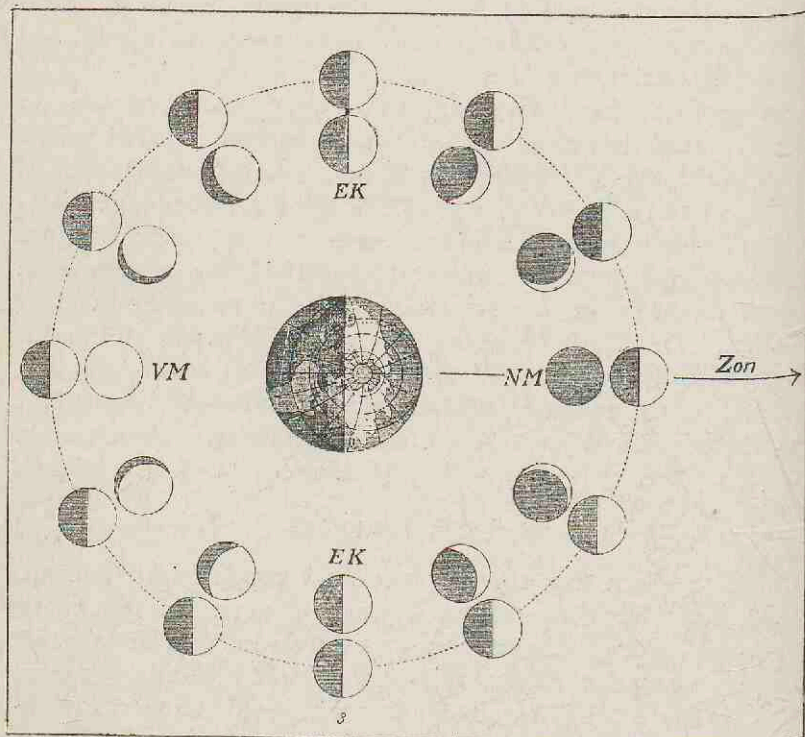


FIG. 73. DE SCHIJNGESTALTEN DER MAAN.

het excentrisch zijn der banen van de *Maan* en van de aarde kunnen de verschillende synodische maanden tot een bedrag van 6.5 uur van dit gemiddelde afwijken. Voor de siderische maand zijn de afwijkingen van het gemiddelde ongeveer

1.5 uur, d.i. minder dan die van de synodische maanden, omdat de excentriciteit der aardbaan geen rol speelt.

Fig. 73 geeft de verklaring der maanfasen; zij kan ons behalve de kwestie der belichting nog verschillende verschijnselen duidelijk maken.

1. Een zonsverduistering kan *alleen* plaats hebben bij nieuwe maan (N.M.), een maansverduistering *alleen* bij volle maan (V.M.).

2. Gemiddeld zien wij in de vier hoofdfasen de *Maan* aan de sfeer in een punt dat van de zon verwijderd is, een boog van 0° bij N.M., van 90° bij E.K., van 180° bij V.M. en van 270° bij L.K. Daar verder de maansbaan en de ecliptica slechts enkele graden op elkander hellen en de *Maan* en de zon dus ruwweg denzelfden weg aan de sfeer doorloopen, staat de *Maan* bij E.K. ruwweg dáár, waar de zon over 3 maanden staat; immers de zon legt 360° in een jaar, dus 90° in 3 maanden af. Evenzoo staat de V.M. ruwweg dáár, waar de zon over 6 maanden staat. De volle manen staan dus 's winters hoog en 's zomers laag aan den hemel. Bij L.K. staat de maan ruwweg dáár, waar de zon 3 maanden vroeger stond. In Maart staat dus het E.K. zeer hoog, het L.K. zeer laag boven den horizon.

3. Een *Maan*, die geen 7 dagen oud is, is als regel na middernacht niet zichtbaar, een *Maan* die meer dan 21 dagen oud is, is niet zichtbaar vóór middernacht. E.K. keert zijn verlichte zijde naar het Westen, L.K. naar het Oosten. Een bekend „ezelsbruggetje” leert: als men met den lichten rand der *Maan* en de verbindingslijn der horenpunten de schrijffletter *d* kan maken, is de *Maan* in de buurt van L.K. (*d* = dernier); kan men er een *p* van maken, dan is zij in de buurt van E.K. (*p* = premier). De overbodigheid van dezen regel zal uit het bovenstaande duidelijk zijn: iemand die om 10 uur 's avonds een maansikkel ziet, mag geen ezelsbruggetje noodig hebben om hem te leeren of het in de buurt van E.K. of L.K. is!

4. De lijn die de horenpunten van den maansikkel verbindt staat altijd loodrecht op de richting naar de zon; een jonge

maansikkel kan alleen boven den Westelijken, een oude maansikkel alleen boven den Oostelijken horizon gezien worden. Iemand die een land- of zeegezicht teekent met een maansikkel aan den hemel, mag dus nooit de horenpunten naar de kim laten wijzen!

5. Als voor de aarde de *Maan* nieuw is, is voor de *Maan* de aarde *vol*, waardoor het niet door de zon verlichte deel der *Maan* van de aarde een aanzienlijke hoeveelheid teruggekaatst licht ontvangt, waarin het, mits de onmiddellijke nabijheid der zon niet verblindend werkt duidelijk zichtbaar is. ¹⁾ Dit z. g. „aschgrauwe” licht der *Maan* is, vooral enkele dagen vóór en na N.M. zeer opvallend. De bestudeering ervan levert eene bijdrage tot onze kennis van de verschillende tinten der maanoppervlakte en de albedo der verschillende plekken vóórdat de zonstraling begonnen is.

In Fig. .74 hebben wij het schema eener maansverduistering

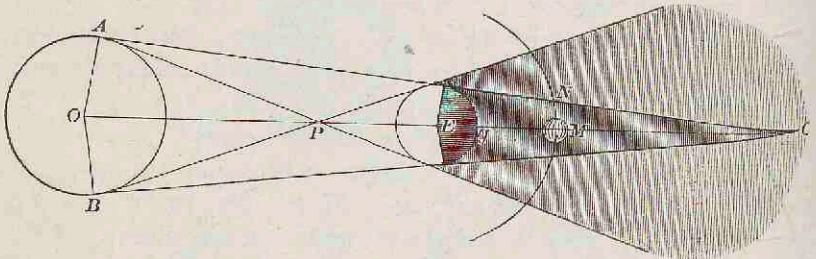


FIG. 74. SCHEMA VAN EENE MAANSVERDUISTERING.

gegeven; men noemt deze *totaal* wanneer de *Maan* geheel in den schaduwkegel der aarde is gedompeld. Zij blijft daarin echter zichtbaar, omdat het zonlicht door breking in de dampkringslagen der aarde binnen den schaduwkegel gebogen wordt, zoodat daarin nog tot het punt D (Fig. 75) zonlicht aanwezig is. De maansbaan snijdt echter zelfs in het ongunstigste geval den schaduwkegel *binnen* den

¹⁾ Van uit de *Maan* zou men de „volle aarde” zien als een schijf, die 13 maal zoo groot is als onze volle maan.

afstand van D en de totaal verduisterde maan ontvangt dus altijd licht, dat meestal dof rossig van kleur is en waarvan de hoeveelheid in hooge mate afhangt van den toestand van onzen dampkring. Toen deze bijv. korten tijd na de uitbarsting van Krakatoa (1883) sterk bezwangerd was met vulcanisch stof, is de totaal verduisterde maan zelfs onzichtbaar geweest, een geval echter van hooge uitzondering.

Maaneclipsen hebben tegenwoordig alleen waarde, in zoverre een enkel op bldz. 238 te beschrijven verschijnsel daarbij een bijdrage kan leveren voor de verbetering van de steeds wisselende elementen der maansbaan, terwijl onderzoekingen van de warmteuitstraling tijdens de verduistering iets leeren kan omtrent de fysische gesteldheid der oppervlakte.

Reeds een oppervlakkige beschouwing der V.M. doet daarop een aantal lichte en donkere vlekken aanschouwen, die te zamen sedert eeuwen zijn samengevoegd tot bekende

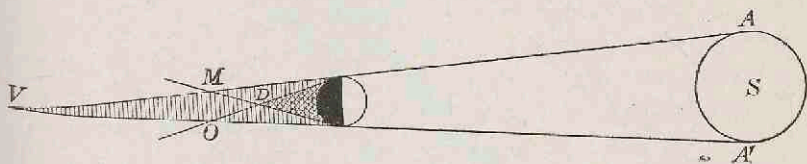


FIG. 75. VERKLARING VAN HET ZICHTBAAR BLIJVEN DER TOTAAL VERDUISTERDE MAAN.

figuren, meestal dieren, een leeuw, konijn, kat, hond of haas. De „man in de maan” is echter het meest bekend; bij Dante is hij Caïn, bij de boerenbevolking in Frankrijk Judas en op Groenland is er de volgende aardige legende omheen geweven: „Een robbenjager, Aninga, speelde „blindeman met een meisje, Malina geheeten. Deze maakt „ongemerkt hare hand zwart met roet en strijkt er Aninga „mede in het gezicht; de robbenjager wordt boos, rukt zich „den blinddoek van de oogen en tracht Malina te pakken, „die echter naar den hemel vlucht en daar als Zon blijft „schitteren. De robbenjager volgt haar ook daarheen en

„wordt veranderd in *Maan*. Als hij echter moe en maget „geworden is van de vervolging gaat hij zich weer vertreden „op de robbenvangst en blijft dus enkele dagen onzichtbaar. „Maar dan komt hij weer terug (*wassende maan*), herneemt „langzamerhand zijn volle gezicht en de vervolging begint „opnieuw. „*Maar de zwarte vlekken raakt hij niet weer kwijt.*”

Reeds in het oudst bekende werk over de *Maan*, dat van den Griekschen wijsgeer Plutarchus¹⁾ (48—125) wordt verklaard dat het z. g. „gezicht in de maan” schijnbaar ontstaat doordat de *Maan*, evenals de aarde, grootere en kleinere diepten, kloven en ravijnen bezit, gevuld met water of „donkere lucht.”

Het spreekt wel vanzelf dat men vóór de uitvinding der kijkers niet veel verder kon komen, maar nauwelijks had deze plaats gehad (1609) of Galileï, de eerste die met een kijker de *Maan* bestudeerde, kon Plutarchus' meening ten volle bevestigen. Hij zag de oneffenheden, teekende de eerste, natuurlijk zeer oppervlakkige, maankaart en vond een middel om de hoogte der bergen ruwweg te bepalen. Fig. 76 geeft de door hem gebruikte kijkertjes, zooals zij thans te *Florence* bewaard worden; de objectief-middellijnen zijn 4 en 4.4 cm., de lengten 95 en 125 cm., terwijl de buizen van karton zijn.

De eigenlijke maankunde (selenografie) vangt aan met het werk van Hevelius te Danzig (1611—1687), die niet alleen aan de verschillende maanformaties namen gaf (dit hadden anderen vóór hem reeds gedaan) maar ze ook *beschreef*. Voor de namen heeft hij een keuze willen doen uit die van bekende personen, maar bevreesd enkelen voorbij te zien en daardoor te kwetsen, gaf hij dit plan op. Aan de donkere plekken gaf hij de namen van denkbeeldige zeeën en deze hebben steeds stand gehouden. Zoo vindt men op een maankaart de Latijnsche namen voor Vochtigheidszee (*Mare Humorum*), Zee der Wolken (*Mare Nubium*), Zee der Këntering (*Mare Crisium*), Regen-zee (*Mare Imbrium*), Oceaan der stormen (*Oceanus Procellarum*), Zee der Vroolijk-

1) Latijnsche uitgave: *De facie in orbe Lunae*.

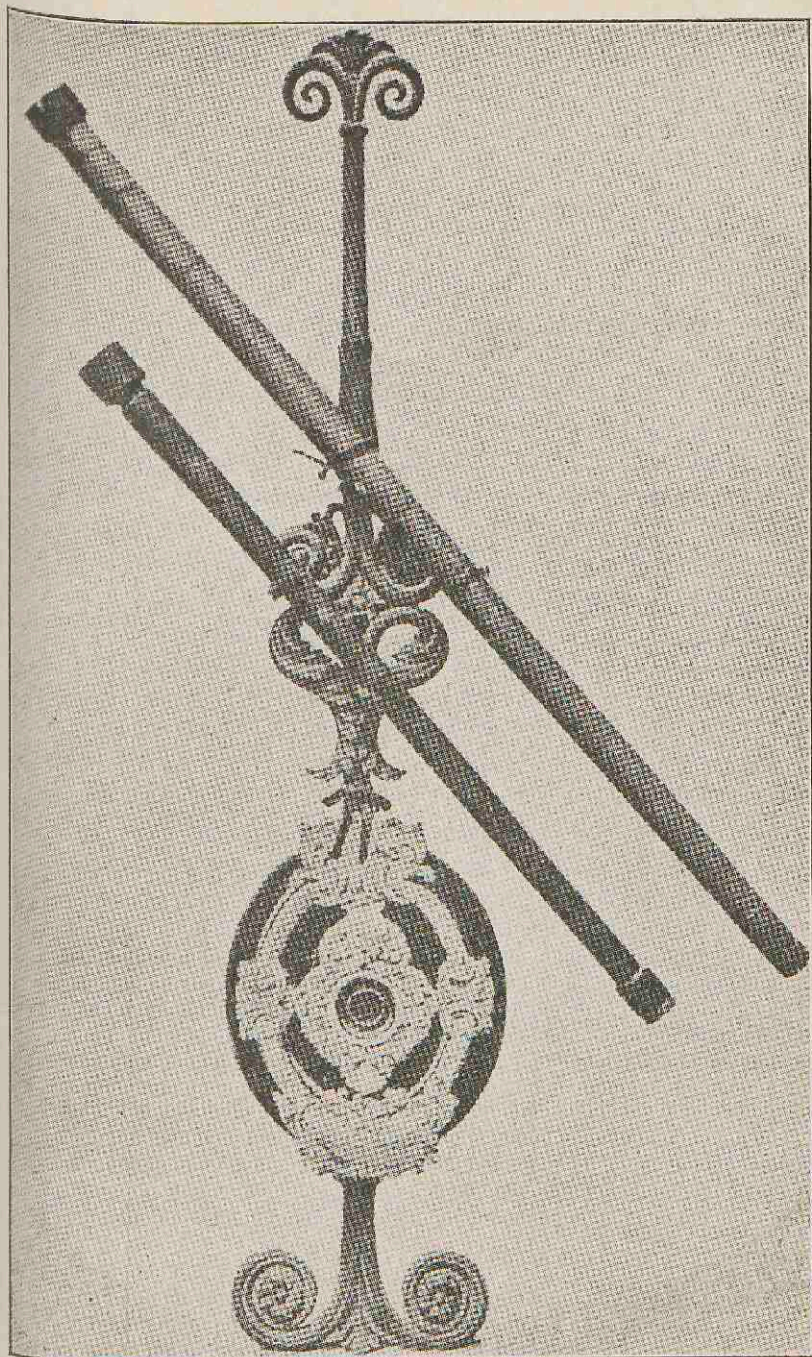
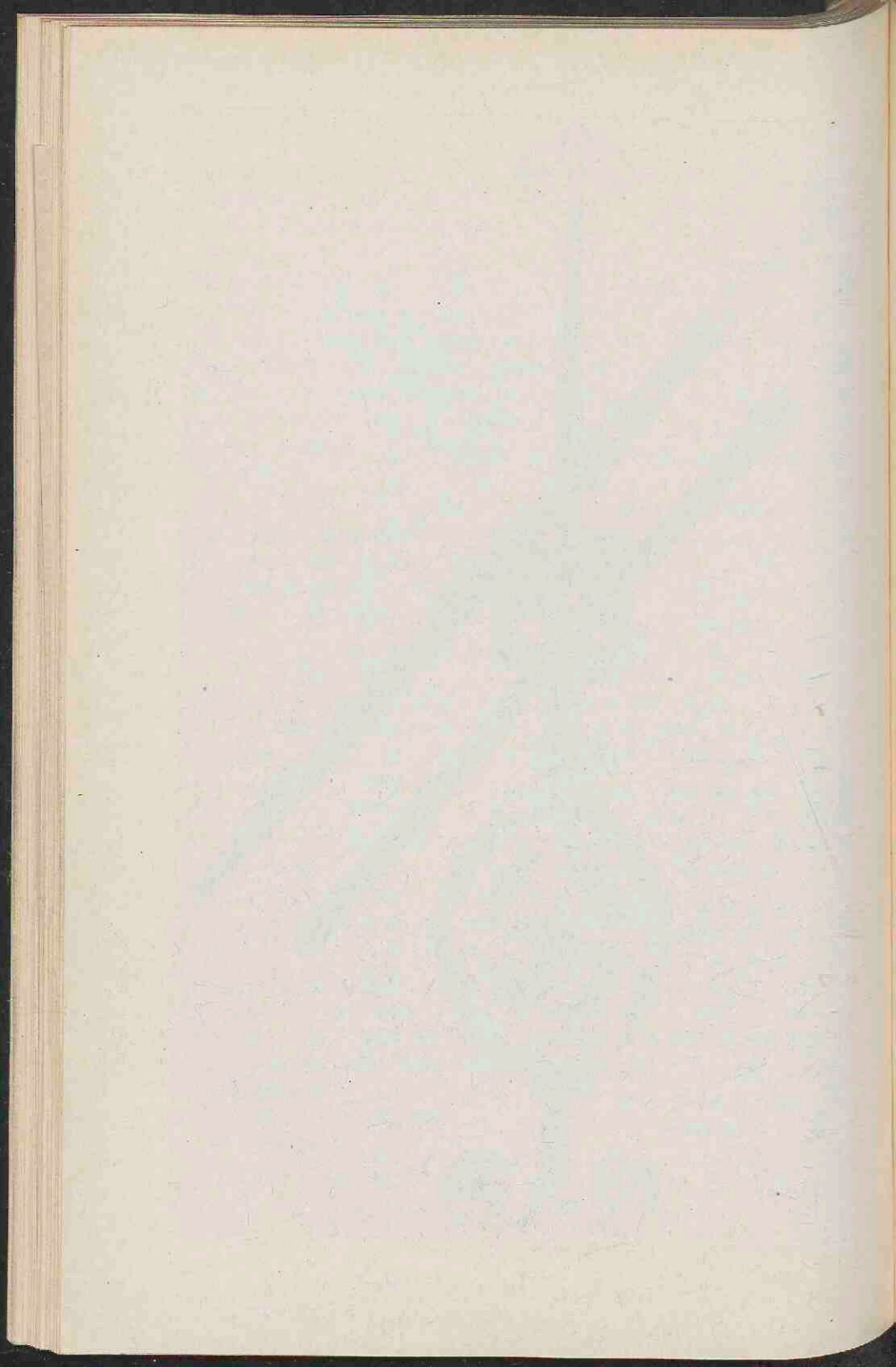


FIG. 76. KIJKERS VAN GALILEI.

(Uit: Bulletin de la Société astronomique de France 1910.)



heid (*Mare Serenitatis*) en Zee der Koude (*Mare Frigoris*). De bergen kregen namen van aardsche formaties, doch daarvan zijn er slechts enkele, zooals de Alpen, de Kaukasus, de Karpathen en de Apennijnen bewaard gebleven. De andere zijn door Riccoli (1598—1671) naar het oorspronkelijke plan van Hevelius veranderd; alle maanbergen werden benoemd naar bekende personen (waartoe Riccoli ook zichzelf rekende!) voornamelijk sterrenkundigen, en zoo is de *Maan*, naar men wel eens zegt, „een astronomische eerezuil” geworden.

De eerste *metingen* op de maanschijf dateeren van Tob. Mayer (1723—1762) die uit de ligging van verschillende punten ten opzichte van het eclipticavlak den stand der wentelingsas van de *Maan* afleidde. Omtrent de wenteling zelve was reeds bekend dat zij geschiedt in denzelfden tijd waarin een omloop om de aarde volbracht wordt. Het gevolg hiervan is dat de *Maan* steeds dezelfde zijde naar de aarde gekeerd houdt. Beweegt men zich rond een tafeltje, zóó dat men steeds front maakt naar een daarop geplaatst voorwerp, dan blijkt het dat men bij terugkeer op het punt van uitgang (d. i. na *één omwenteling*) voor het eerst sedert het begin der beweging weder front maakt naar een bepaald, *buiten* de tafel geplaatst voorwerp (d. i. na het volbrengen van *één omloop*). Wij zien dus altijd hetzelfde halffrond der *Maan* en niemand heeft ooit het andere gezien.

Dit resultaat echter zou alleen dan volkomen juist zijn, wanneer 1° . de maansbaan niet excentrisch was, 2° . haar vlak met dat van den maanaequator samenviel en 3° . de waarnemer zich in het middelpunt der aarde bevond. Nu dit alles niet het geval is, krijgen wij iets meer van de oppervlakte der *Maan* te zien dan voor den ideëlen toestand geldt. Dit verschijnsel heet de „libratie.” De 50% van de maanoppervlakte welke wij aanschouwen, bestaat uit 41% *altijd zichtbare* oppervlakte en uit 9% oppervlakte, die door het verschijnsel der libratie onzichtbaar kan worden en plaats maken voor andere gebieden. 59% ^{van} der maanoppervlakte is dus te bestudeeren, 41% niet.

Onder de selenografen der 18^{de} eeuw bekleedt ook Schröter

een voorname plaats, die met zelf vervaardigde groote kijkers jaren lang aantekeningen maakte en schetsen ontwierp om de vraag te kunnen beantwoorden of alles op de *Maan* doodsch en zichzelf gelijk blijft, of wel dat er veranderingen in de groepeeringsen of begrenzingen te zien en te volgen zijn, een vraag die veel strijd gegeven heeft en ook in onzen tijd nog steeds aan de orde is. De moeilijkheid doet zich hierbij n. l. voor, dat de wijze van belichting een nog niet volledig verklaarden invloed heeft op de wijze, waarop de verschillende maanpartijen zich voordoen. Toch breekt het jaar 1800 aan met een vrij goed inzicht in de maansgesteldheid in het algemeen. Men wist in de eerste plaats dat het licht der *Maan* bijna uitsluitend zonlicht is, maar toch geloofde men nog aan een zeker percentage eigen licht, een geloof dat eerst in den loop der 19^{de} eeuw is komen te vallen. Verder wist men dat er op de *Maan* geen werkelijke zeeën of rivieren en ook geen wolken zijn, omdat de *Maan* geen water en geen dampkring heeft; de eerste juiste meeningen hierover vinden wij bij onzen landgenoot Christiaan Huygens. Alle formaties, bergtoppen, kraterranden, schaduwen, alles is volkomen scherp geteekend; daarbij is een dampkring, waardoorheen de verschillende partijen vaag en gedoezeld en niet steeds op dezelfde wijze zichtbaar zouden zijn, moeilijk denkbaar. Een sterker argument is echter, dat de *rand* der maanschijf volkomen scherp is. Vooreerst zien wij dit, maar verder bemerken wij het aan het verschijnsel der „sterbedekkingen.” Bij hare Oostwaartsche beweging onttrekt de *Maan* regelmatig de sterren en planeten die zich schijnbaar op haren weg bevinden, aan ons oog en nu zou men, als de *Maan* een dampkring had, de ster, naarmate de *rand* der *Maan* haar naderde, steeds zwakker zien worden en het verdwijnen der ster zou geleidelijk plaats hebben. Dit gebeurt echter niet; de ster is in onverminderde helderheid tot vlak tegen den maansrand zichtbaar en is dan a. h. w. *ineens* weg; dit is een sein dat op een deel eener seconde nauwkeurig aan te geven is en een sterk argument voor de afwezigheid van een dampkring. Een planeet-schijf

verdwijnt en verschijnt natuurlijk niet plotseling, maar toch zonder lichtvermindering (Fig. 77).

Bij afwezigheid van een dampkring is ook de aanwezigheid van vloeibaar water uitgesloten; dit toch zou een dampkring vormen. Het ontbreken van een dampkring heeft naar alle waarschijnlijkheid ook tengevolge dat de

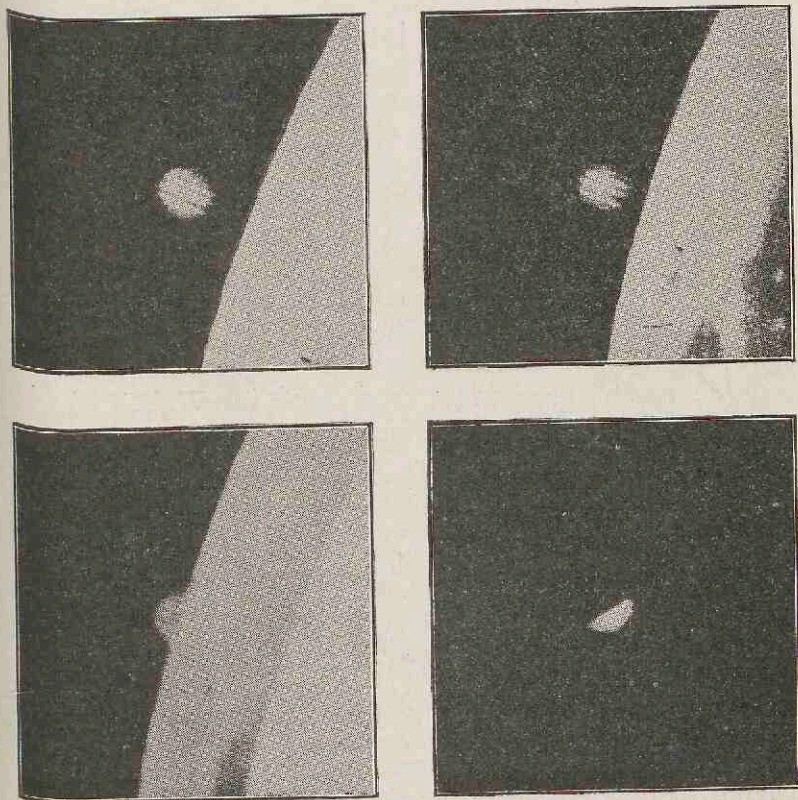


FIG. 77. BEDEKKING VAN JUPITER DOOR DE MAAN.

LINKS ONDER: JUPITER VERDWIJNT ACHTER DEN HELDEREN MAANSRAND.
RECHTS ONDER: JUPITER KOMT VAN ACHTER DEN DONKEREN MAANSRAND
WEDER TE VOORSCHIJN.

(Uit: Astronomy and Astro-physics 1892).

maanoppervlakte 14 dagen lang zeer sterk verhit wordt, om daarna snel af te koelen tot een temperatuur, zóó laag dat er van eenig organisch leven moeilijk sprake zijn kan.

In het jaar 1840 vangt met de invoering der fotografische methoden een nieuw tijdperk van het maanonderzoek aan; het belangrijke moment in dit tijdperk breekt aan in 1888 met den bouw van den grooten refractor der Lick-sterrenwacht op Mt. Hamilton in Californië, die een direct maansbeeld van 13 cm. leverde, dat vergroot kon worden en daarna nog eens onder het microscoop bestudeerd. Men heeft daarmede bereikt dat men, om een maatschappelijk beeld te gebruiken, eventueel aanwezige *steden* zou kunnen herkennen, maar geen afzonderlijke gebouwen (0."5 is 1 KM.) Met een sterke *visueele* vergrooting bereikt men dezelfde grens.

Behalve de maanatlas der Lick-sterrenwacht en den daaruit ontstanen atlas van Weinek (Praag) willen wij nog twee bekende fotografische maanatlassen noemen, de eene van Loewy et Puiseux te Parijs, de 2^{de} van W. H. Pickering te Cambridge (Harvard Sterrenwacht). Wij geven in Fig. 78 en 79 enkele reproducties uit den Parijschen atlas. Opvallend zijn altijd de afzonderlijke lichte punten in de grenslijn der belichting (d. i. in den z. g. „terminator”) wijzende op *grote hoogten* die door het zonlicht bereikt worden, terwijl de omgeving in duisternis gehuld is.

Overigens zagen wij reeds dat de donkere vlekken, die men ook thans nog *zeeën* noemt, geen zeeën zijn, maar laagvlakten zonder eenig leven. Want alles op de *Maan* is onder de omstandigheden waaronder zij bestaat volkomen doodsch. Of men tuurt naar wat men genoemd heeft kratermeeren, bergketens, bergruggen, walvlakten, ringgebergten, groote of kleine kraters, het is alles doodsch en levenloos! Het grootst in aantal zijn de z. g. *kraters*, vele honderden, van zeer groote af met middellijnen van 7 tot 20 KM., tot zeer kleine van 1 KM. toe; naar onze opvattingen zijn ook deze echter groot, daar bijv. de Etna-krater, ware hij

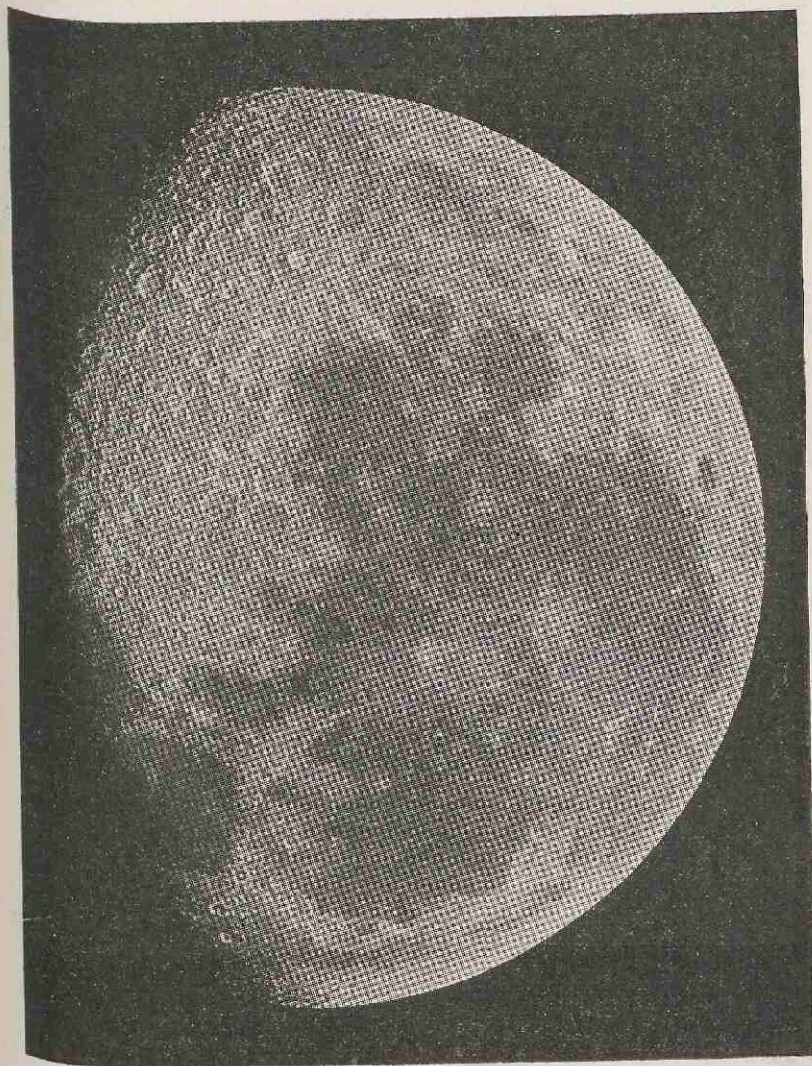


FIG. 78. OOSTELIJK HALFROND DER MAAN IN OMKEERENDEN KIJKER.
(Uit: Loewy et Puiseux. Atlas photographique de la Lune).

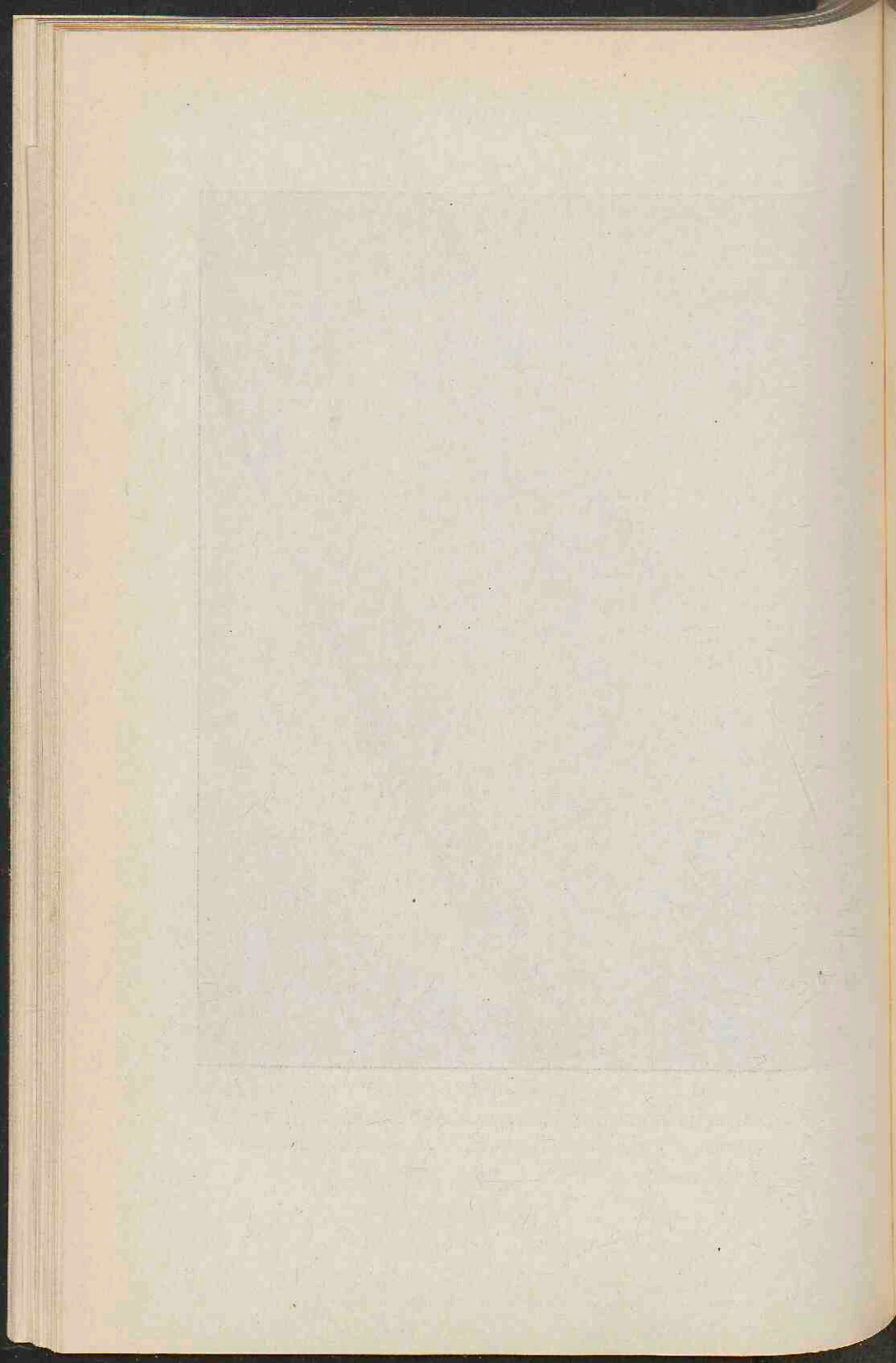
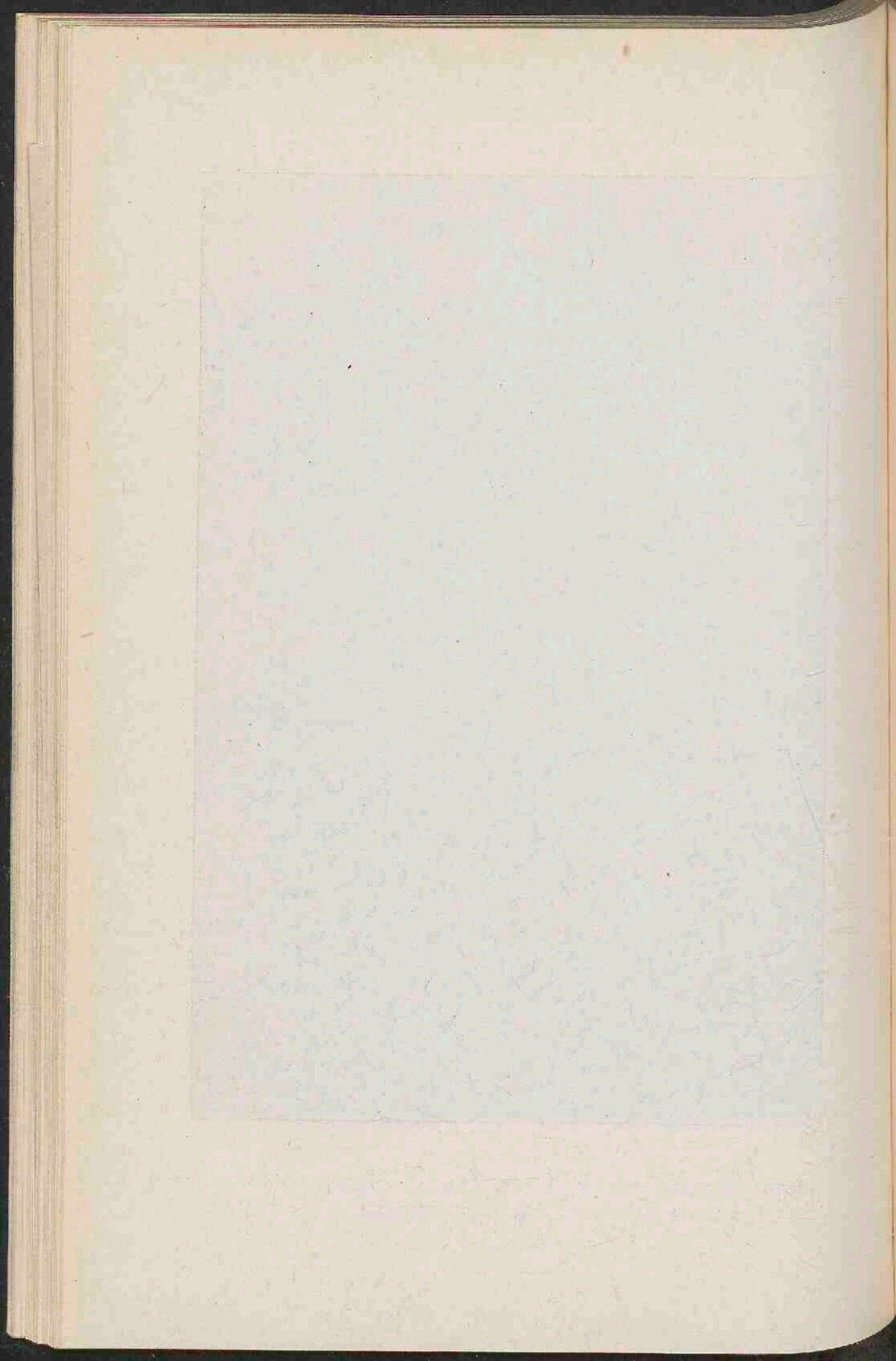




FIG. 79. WESTELIJK HALFROND DER MAAN IN OMKEERENDEN KIJKER.
(Uit: Loewy et Puiseux. Atlas photographique de la Lune).



op de *Maan* geplaatst, volkomen onzichtbaar zou zijn. De benaming krater is trouwens op de *Maan* gekozen voor een formatie, die van de kraters der aarde zeer aanzienlijk afwijkt in vorm en verhoudingen.

Er zijn twee maanformaties die op aarde volkomen onbekend zijn, n.l. de „stralenstelsels” en de „spletten.” De eerste zijn de meest raadselachtige vormen; terwijl men bij E. K. nog niets bijzonders aan een bepaalden krater bemerkt, vertoonen zich tegen het vol worden der maan talloze stralen, die van dien krater schijnen uit te gaan, nagenoeg geen diepte hebben (want zij werpen geen schaduw), slechts geringe breedte hebben en zonder richtingsverandering over bergen en bergranden heenloopen. Er zijn 14 zulke stelsels bekend en de stralen loopen soms tot over $\frac{1}{3}$ der maanoppervlakte door. Wij geven in Fig. 80 en 81 de twee meest bekende stralenstelsels, die van de kraters *Tycho* en *Copernicus*.

Haast even geheimzinnig zijn de spletten indertijd door Schröter ten getale van 11 ontdekt, welk aantal thans tot meer dan 1100 gestegen is; het zijn diepe, spelonkachtige groeven, soms recht, soms gebroken, zeer grillige vormen vaak zonder scherp aan te geven begin of einde. En ook zij schijnen zich niet aan bergwanden te storen; zonder eenige merkbare verandering banen zij er zich een weg door.

Talrijk zijn de hypothesen geweest die voor het ontstaan der maanvormen een min of meer aannemelijke verklaring gaven, talrijk ook de middelen die bedacht zijn om kunstmatige kraters te vervaardigen als steun voor bepaalde theorieën. Men kan echter die pogingen nog niet als gelukt beschouwen; nagenoeg alle kunstmatige maankraters gelijken wel voor het oog sterk op de natuurlijke, maar zij verdragen niet den scherpsten toets der *metingen*. De verhoudingen der kraterafmetingen, de hellingen der kraterwanden enz. hebben zeer bepaalde waarden en het is niet gemakkelijk deze door een enkel kunstmatig proces te voorschijn te roepen; het verste heeft het enkele jaren geleden Ebert hierin gebracht, die zijn kraters liet ontstaan uit een

gestolde eb- en vloedwerking in een metaal-alliage met laag smeltpunt.

Het *moderne* maanonderzoek houdt zich voornamelijk bezig met het bestudeeren van de *optische* eigenschappen der gesteenten. Het spectrum der *Maan* kan, daar het slechts een veel lichtzwakkere nabootsing van het zonnespectrum is, geen noemenswaardige bijdrage tot dit onderzoek leveren en zoo is men aangewezen op andere fysische methoden. Wij noemden reeds het bepalen van de albedo der verschillende plekken en willen er thans aan toevoegen de kleurenfotografie en de polarisatiemetingen. De eerste wordt toegepast door vóór de fotografische plaat z. g. „kleurenfilters” te plaatsen, die slechts een bepaald spectraalgebied doorlaten; met de tweede methode wordt het volgende bedoeld: wanneer licht onder een bepaalden hoek wordt teruggekaatst wordt de intensiteit geringer. Wij ontmoetten dit beginsel reeds op bldz. 190 als middel om door *herhaalde* terugkaatsingen onder dien hoek het licht van het beeld der zon te temperen. Die bepaalde hoek, „de polarisatiehoek” is voor elke stof anders en kan nauwkeurig gemeten worden. De onderzoekingen in deze richting hebben Landerer (te Meudon bij Parijs) o. a. geleerd dat de „zeeën” van de *Maan* denzelfden polarisatiehoek hebben als enkele op aarde bekende brooze lava-gesteenten (obsidiaan, vitrophyr e. a.).

In deze richting zullen ongetwijfeld nog vele belangrijke resultaten bereikt kunnen worden.

Vermelden wij ten slotte, dat een volledig overzicht van alles wat het maanonderzoek in den loop der tijden heeft opgeleverd, te vinden is in „Die Wissenschaft,” Heft 37, Vergleichende Mond- und Erdkunde” von Dr. S. Günther, (Braunschweig 1911).

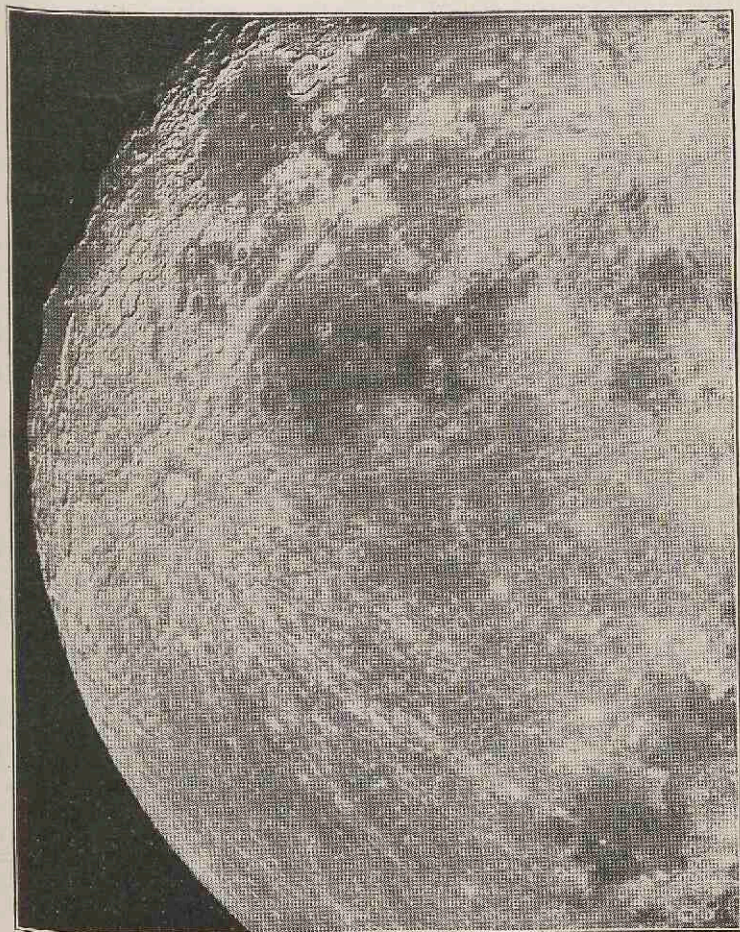
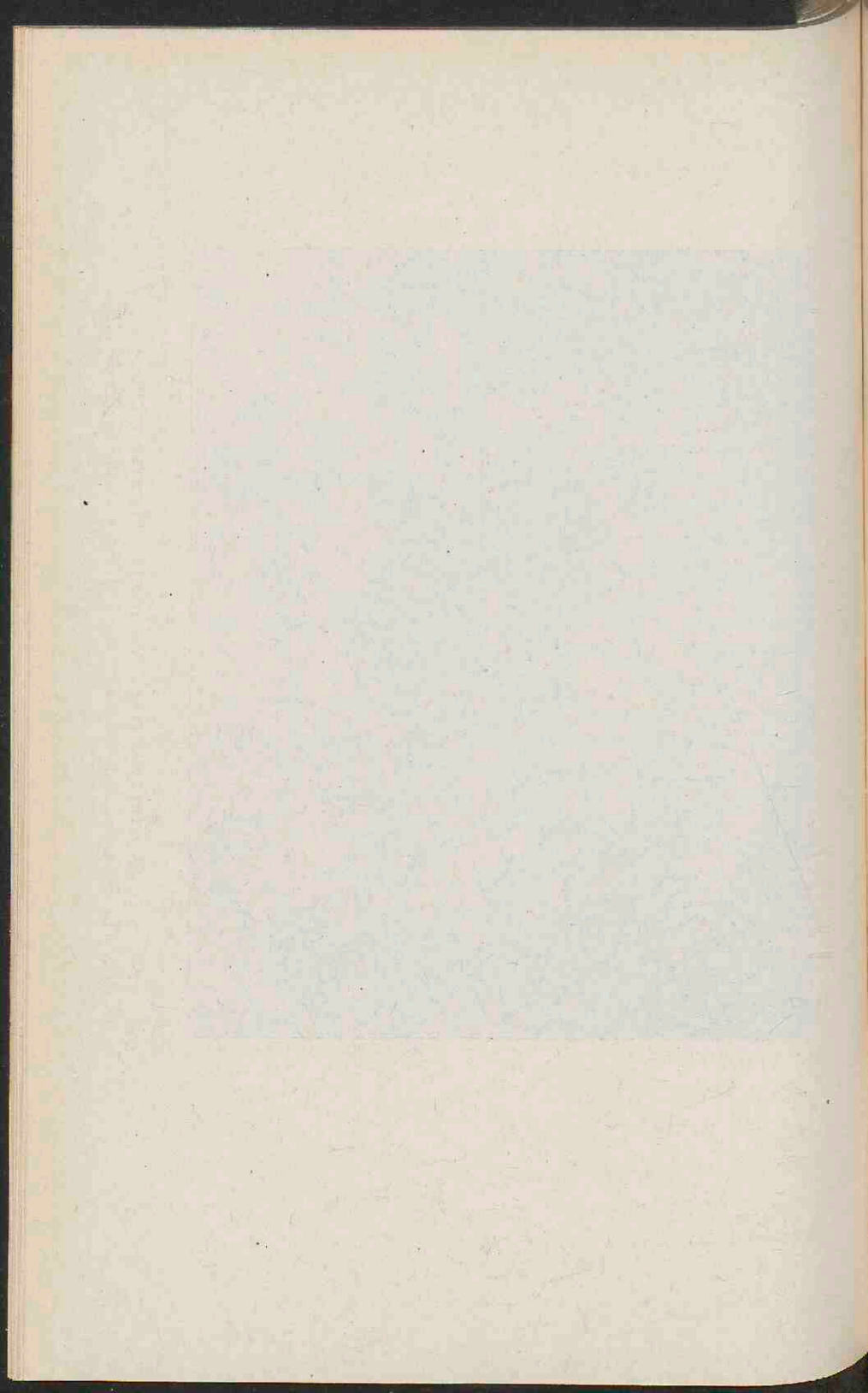


FIG. 80. STRALENSTELSEL VAN DEN MAANKRATER TYCHO.
(Uit: The Decennial Publications of the University of Chicago, Vol. VIII).



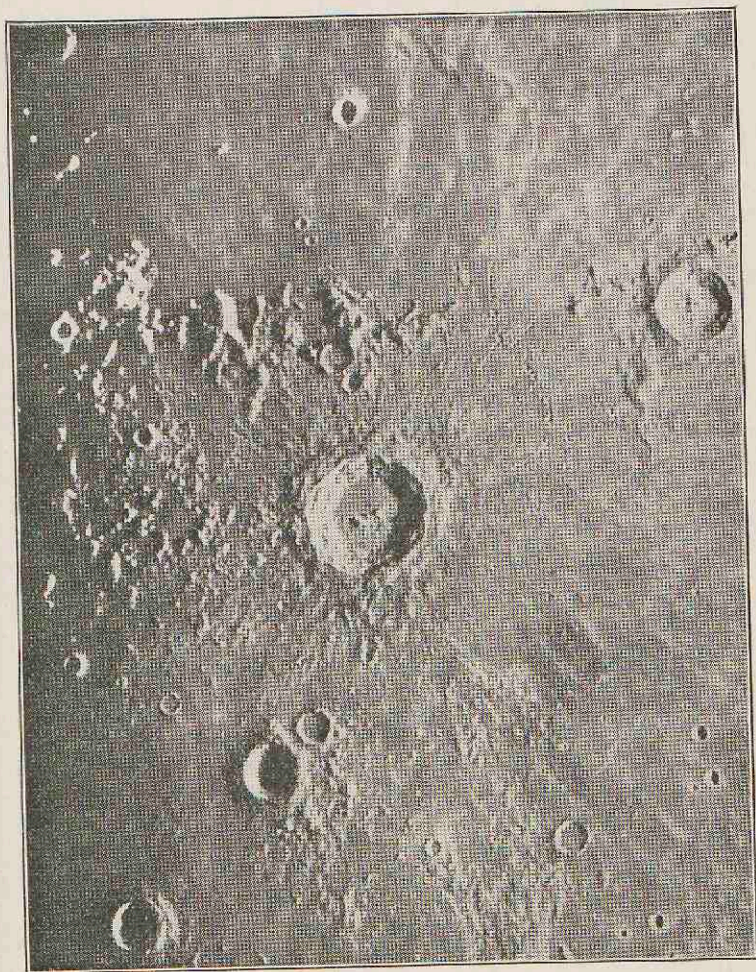
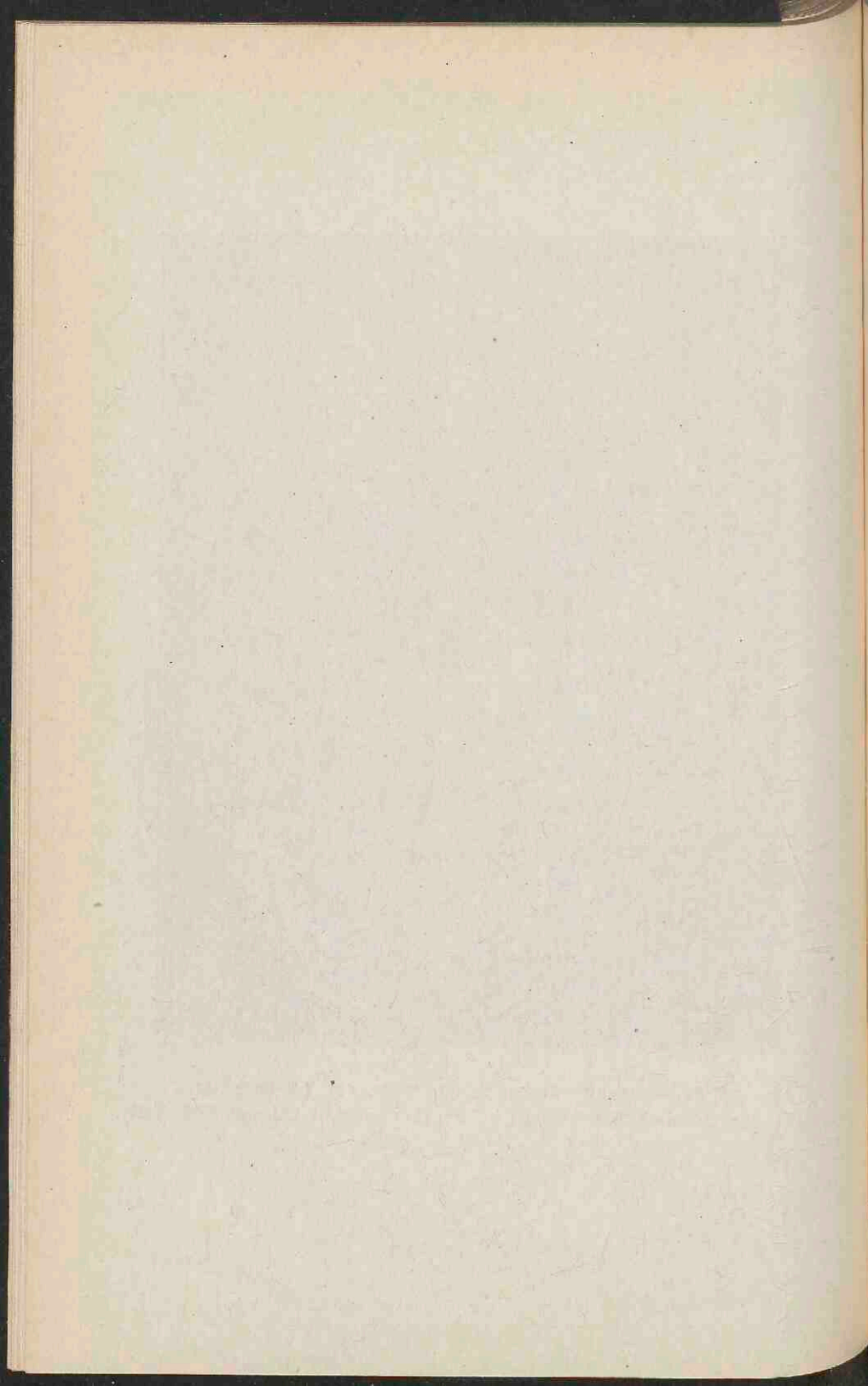


FIG. 81. STRALENSTELSEL VAN DEN KRATER COPERNICUS.
(Uit: The Decennial Publications of the University of Chicago, Vol. VIII).



EENIGE GEGEVENS OVER DE MAAN.

Werkelijke middellijn = 3480 KM. = $0.273 \times$ de middellijn der aarde.

Schijnbare middellijn = $31' 7''$ (gemiddeld).

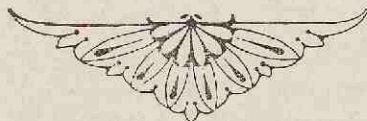
Volume = $\frac{1}{49} \times$ volume der aarde.

Massa = $\frac{1}{82} \times$ massa der aarde.

Dichtheid = $0.61 \times$ dichtheid der aarde = $3.4 \times$ dichtheid van water.

Zwaartekracht aan de oppervlakte der *Maan* = $0.17 \times$ die aan de oppervlakte der aarde.

Gemiddelde afstand tot de aarde = $60.27 \times$ den aequatorstraal der aarde = 384420 KM. (var. tusschen 363310 en 405530 KM.)



XIII DE PLANETEN

Mercurius.

DE planeet *Mercurius* staat zóó dicht bij de zon en heeft een zóó kleine schijf (5" tot 12") dat het onmogelijk is met eenige zekerheid iets van den toestand en de eigenschappen van hare oppervlakte te weten te komen. Zij heeft onder de daarvoor gunstigste omstandigheden de helderheid van *Sirius*, maar blijft, zooals wij zagen (bldz. 88) slechts een enkelen dag als zoodanig zichtbaar.¹⁾ Haar spectrum leert nagenoeg niets; het is, evenals dat der maan, een verzwakt zonnenspectrum. De albedo is 0.15, d. i. dezelfde als die der maan, zoodat ook *Mercurius* geen of nagenoeg geen dampkring zal hebben; uit de aanwezigheid van een lichten ring rond de schijf der planeet, bij den aanvang of het einde van een overgang over de zonnenschijf, heeft men vroeger wel eens het besluit getrokken dat de planeet door een dichten dampkring omgeven was, maar later heeft men, daar het zien van dezen lichtkrans van de gebruikte instrumenten en van den waarnemer afhankelijk bleek, het verschijnsel aan een optisch-fysiologische oorzaak toegeschreven.

1) *Mercurius* is als avondster het beste te zien in het voorjaar, daar dan (zie bldz. 340) de ecliptica een grooten hoek met den horizon maakt.

Algemeen wordt tegenwoordig aangenomen, dat *Mercurius*, evenals de maan, haar omloop en hare aswenteling in denzelfden tijd volbrengt, n. l. in 88 dagen. Volkomen zeker is dit resultaat intusschen niet; het is afgeleid o. a. door Schiaparelli en Lowell uit het doorlopend zichtbaar zijn der zelfde plekken, maar deze zijn altijd zeer vaag zichtbaar en waarschijnlijk een samenvoeging van eenige kleine plekken. Spectroscopisch is het nog niet gelukt de omwentelings-snelheid af te leiden, daar de lijnverschuivingen die er het gevolg van zouden zijn, te gering zijn om met de bereikbare dispersie uitgemeten te kunnen worden.

Satellieten van *Mercurius* heeft men nooit kunnen ontdekken.

Venus.

Ook van de planeet *Venus* is tengevolge van hare nabijheid tot de zon weinig bekend; hare oppervlakte-gesteldheid moet echter aanzienlijk van die van *Mercurius* verschillen, want hare albedo is grooter dan die van versche sneeuw, n. l. 0.8, ongetwijfeld een gevolg van de aanwezigheid van een dampkring met sterke wolkvorming. Ook het feit dat *Venus* in benedenconjunctie, dus theoretisch onzichtbaar zijnde, is waargenomen omgeven door een zeer fijnen lichtenden ring, geldt als eene aanwijzing hiervoor. Een gevolg van dit verschil met *Mercurius* is een geheel ander verloop van de helderheid met de fase dan bij deze.

Venus kan zóó helder worden dat haar lichtsterkte 60 maal zoo groot is als die van *Arcturus*; zij werpt dan een duidelijke schaduw, bijv. van een wandelstok, en is vooral in streken met doorzichtigen dampkring zelfs op den middag met het bloóte oog te zien. Ook in Nederland is dit wel eens gelukt, mits eerst een kijker op *Venus* werd gesteld en daardoor de richting, waarin men turen moest, nauwkeurig werd aangegeven.

Venus vertoont nu en dan het bij de maan besproken verschijnsel van het „aschgrauwe licht” even voor en na de „nieuwe *Venus*” (benedenconjunctie). Een afdoende ver-

klaring hiervan is niet gegeven; tengevolge van den grooten afstand, kan het niet meer van de „volle Aarde” afkomstig zijn, en dat het, zooals wel eens vermoed is, afkomstig zou zijn van een verspreiding van het licht van den zoeven genoemden dampkringsrand in het van de zon afgewende dampkringshalfrond, is moeilijk aan te nemen, daar die hoeveelheid verspreid licht, ook naar analogie van wat daarvan in den dampkring der aarde wordt waargenomen, uiterst gering is. Het feit bovendien dat dit aschgrauwe licht volstrekt niet bij *elke* benedenconjunctie gezien wordt en overdag, dus tegen een helderen achtergrond, meer dan des avonds tegen een donkerder achtergrond, maakt de verklaring ervan niet gemakkelijker.

De omwentelingstijd van *Venus* is, evenmin als die van *Mercurius*, met zekerheid bekend, daar zoowel de waarneming van vlekken als die der randsnelheden tot verschillende uitkomsten heeft geleid. Of de resultaten, verkregen uit vlekkenwaarnemingen, eenige waarde hebben, is twijfelachtig; tegenover de talrijke, vooral uit de jaren 1870—1890 afkomstige *Venus*-teekeningen, die altijd vlekken vertoonen, staat in latere jaren de besliste verklaring van een uitmuntend waarnemer als Barnard, dat met de groote Lick- en Yerkes-kijkers vlekken nooit te zien zijn en dat hij slechts éénmaal iets als een vage aanduiding van een vlek heeft meenen te bespeuren. Anderen leidden echter met beslistheid een bepaalden omwentelingstijd uit vlekkenwaarnemingen af, zoo bijv. de Vico (1840) $23^{\text{u}} 20^{\text{m}} 15^{\text{s}}$, Brenner (1895) $23^{\text{u}} 57^{\text{m}} 7^{\text{s}} .5$, Flammarion en Trouvelot 24^{u} . Maar Schiaparelli (1878) 225 dagen; de vlekken blijven steeds dezelfde, de planeet keert ons steeds dezelfde zijde toe, haar omwentelingstijd is dus gelijk aan haar omloopstijd. Perrotin (1890) verkreeg dezelfde uitkomst.

De spectroscopische methode is het eerst (1900) door Belopolsky aan de sterrenwacht te Pulkowa toegepast, later (1902) door Lowell en Slipher in Amerika. Uit de meting der verplaatsing van de spectraallijnen leidde de eerste krachtens het beginsel van Doppler een radiale snelheid

van de *Venus*randen af van 0.9 KM., de laatsten eene van 0.015 KM., welke waarden overeenkomen met omwentelings-tijden van 12 uur en 30 dagen. Ook hier dus zeer verschillende uitkomsten; een rotatie van 225. dagen, zooals Schiaparelli die aangeeft, is spectrografisch niet af te leiden, omdat de hiermede overeenkomende verplaatsing der spectraallijnen te gering is.

Wij hebben de bovenstaande waarden gegeven zooals zij van de waarnemers afkomstig zijn, met opzet, omdat zij een sprekend voorbeeld leveren van een verkeerd inzicht in de bereikbare nauwkeurigheid en een vooringenomenheid met eigen uitkomsten, zooals ze helaas maar al te vaak zoowel in wetenschappelijk werk als in het dagelijksch leven voorkomen. Dat Brenner uit de waarneming van onzekere objecten, als vlekken op de schijf van *Venus*, hare rotatie afleidt tot in tiende deelen eener seconde, en dat Lowell en Slipher, waar met hun instrument de radiale snelheid gemeten wordt met een fout die stellig grooter is dan 0.1 KM., aan een einduitkomst in drie decimalen eenige waarde toekennen, dit zijn twee gevallen van een verwonderlijke overschatting van eigen uitkomsten.

Zoo zien wij dat van de beide binnenplaneten onze kennis tot eenige algemeenheden beperkt is; de toekomst zal deze kennis moeilijk snel kunnen vermeerderen, tenzij die der rotaties door verbetering van de techniek der spectroscopie. Ook van *Venus* zijn nooit satellieten ontdekt geworden.

Mars.

Mars is de eenige buitenplaneet die kleiner is dan de aarde, een reden te meer om voor hare bestudeering de tijden van oppositie af te wachten; onder de gunstigste omstandigheden schittert *Mars* aan den hemel als een 7 maal zoo groote en een 60 maal zoo heldere schijf, als wanneer zij in conjunctie zoo ver mogelijk van ons verwijderd is. Maar ook de opposities zijn, zooals wij (bldz. 184) zagen, niet alle even gunstig, daar de loopbaan een betrekkelijk groote excentriciteit bezit, zoodat bij de eene oppositie de helderheid

4 maal zoo groot kan worden als bij een andere. Voegt men daarbij nog den eisch, dat de planeet gedurende dien tijd hoog aan den hemel moet komen om een zoo rustig mogelijk beeld te geven, dan volgt daaruit dat de gelegenheid zich slechts sporadisch voordoet, de beantwoording der zoo belangrijke vraagpunten na te vorschen. Deze ontstaan ook hier weder uit de moeilijkheid, het waargenomene bevredigend uit te leggen.

Onze beroemde landgenoot Huygens ontdekte reeds in 1672 de Zuidpoolkap van *Mars*, d. w. z. hij bespeurde ter plaatse waar de Zuidpool zich bevindt een ronde, schitterend witte plek, die hij dadelijk, eenvoudig naar analogie van wat men op aarde waarneemt, aan ijs- of sneeuwmassa's toeschreef; kort daarna merkte Maraldi hetzelfde bij de Noordpool op en sedert dien vormen de beide poolkappen het onderwerp van veler en velerlei bestudeering. Talrijk zijn verder, vooral in de 2^{de} helft der 19^{de} eeuw, de teekeningen van *Mars*, die in hoofdtrekken met elkaar overeenkwamen en leerden dat er op *Mars* te zien waren drie formaties, 1°. donkere, grijsblauwe plekken die men „zeeën” heeft genoemd naar analogie met de donkere maanplekken, 2°. lichtere, vaak oranje- en roodgetinte plekken, die men als „vastelanden” pleegt aan te duiden, en 3°. smalle, donkere, gebogen banden, waaraan men, met even weinig recht, den naam „rivieren” heeft gegeven. Al deze plekken hebben namen gekregen, eerst in navolging van Proctor die van beroemde sterrenkundigen, later in navolging van Schiaparelli die van mythologische oorden. Eerst na de opposities van 1877 en 1879, toen deze Milaneesche geleerde zijn opgang makende ontdekkingen deed, werden aan de zeeën, landen en rivieren de zg. „kanalen” toegevoegd. De oppositie van 1877 was zoo gunstig mogelijk; talrijke details, vroeger niet opgemerkt, werden daarbij ingeschetst, voornamelijk vele rivieren, die echter grootendeels smaller en langer waren dan de reeds bekende. En twee jaar later, toen Schiaparelli hun aantal als nog veel aanzienlijker had vastgesteld, kon hij tevens twee belangrijke conclusies trekken: de

MARS, 1862

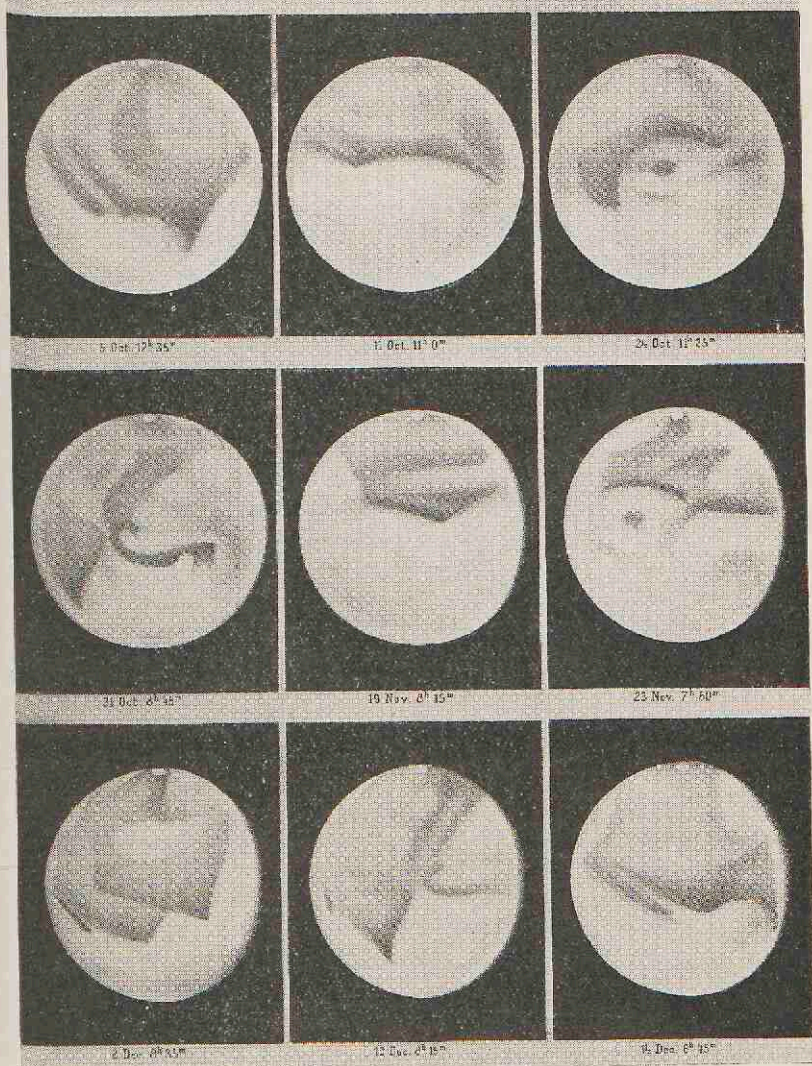
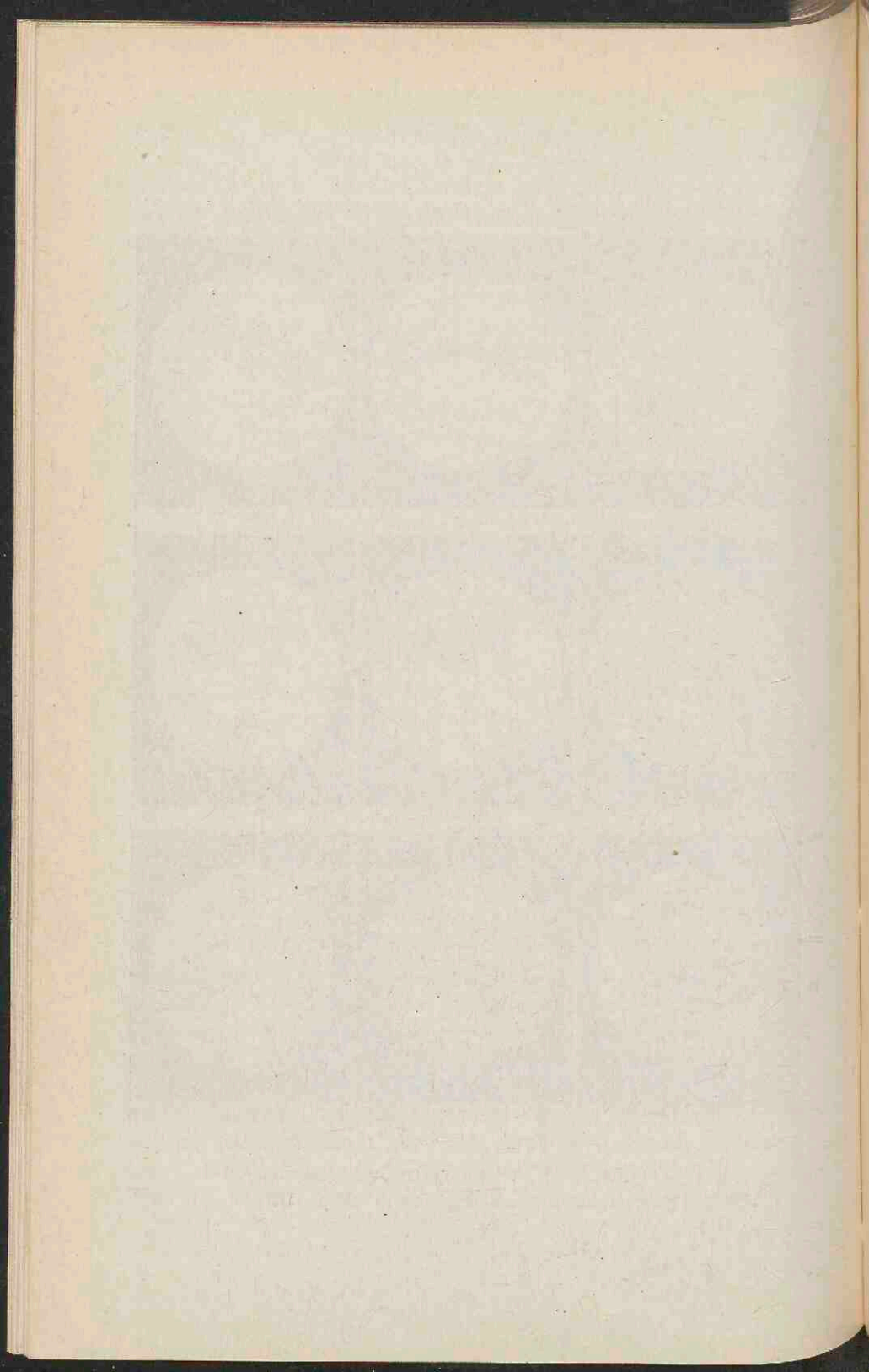


FIG. 82. MARS-TEKENINGEN VAN KAISER.
(Uit: Annalen der Sternwarte in Leiden III).



Aan de waarheid der beweringen van Schiaparelli mocht niet getwijfeld worden; de ongewone gezichtscherpte van den waarnemer en vooral zijn uitmuntend instrument konden samengewerkt hebben om hem te doen aanschouwen, wat vóór hem andere geoeffende waarnemers vaak met grootere kijkers (Kaiser bijv.) niet vermochten. Maar het was wel verwonderlijk dat *gelijktijdig* met Schiaparelli niemand dezelfde resultaten oogstte; wél zagen verscheidene waarnemers de kanalen nadat de beweringen van Schiaparelli bekend waren geworden, maar daar tegenover stonden dadelijk velen die er niets van zagen.

De verwondering werd echter nog grooter, toen Schiaparelli in 1882 verklaarde dat 17 der door hem ontdekte kanalen op gezette tijden, die met de wisseling der jaargetijden van Mars verband schenen te houden, *dubbel* werden gezien als twee flauwe, nagenoeg zuiver evenwijdige lijnen! Van dat jaar af is het kamp der *Mars*waarnemers verdeeld in twee elkaar vijandige partijen. De eene, die wij gemakshalve die der „kanalisten” zullen noemen, en aan welker spits de Amerikaan Lowell staat, neemt als onomstootelijk vast aan, dat alles wat ons oog op *Mars* ziet reeël is; zij voegt aan de zeeën, rivieren en kanalen nog „oasen” toe, waar de kanalen ontspringen en die als bevolkingscentra kunnen beschouwd worden. Zij ziet in de zeeën welig begroeide velden en in de kanalen uitgestrekte oevers, bebouwd door wezens, wier levensbestaan, afhankelijk zijnde van eenzelfden factor: *de smeltende massa's der poolkappen*, gelijkmatig voortduurt in eeuwige eendracht en vrede. „When a planet,” zegt Lowell, „has attained to the age of advancing decrepitude and „the remnant of its water supply resides simply in its polar „caps, these can only be effectively tapped for the benefit „of the inhabitants when arctic and equatorial peoples „are at one. Difference of policy on the question of the „all-important watersupply means nothing short of death. „Isolated communities cannot there be sufficient unto „themselves; they must combine to solidarity or perish. „From the fact therefore that the reticulated canal system

1892

1894

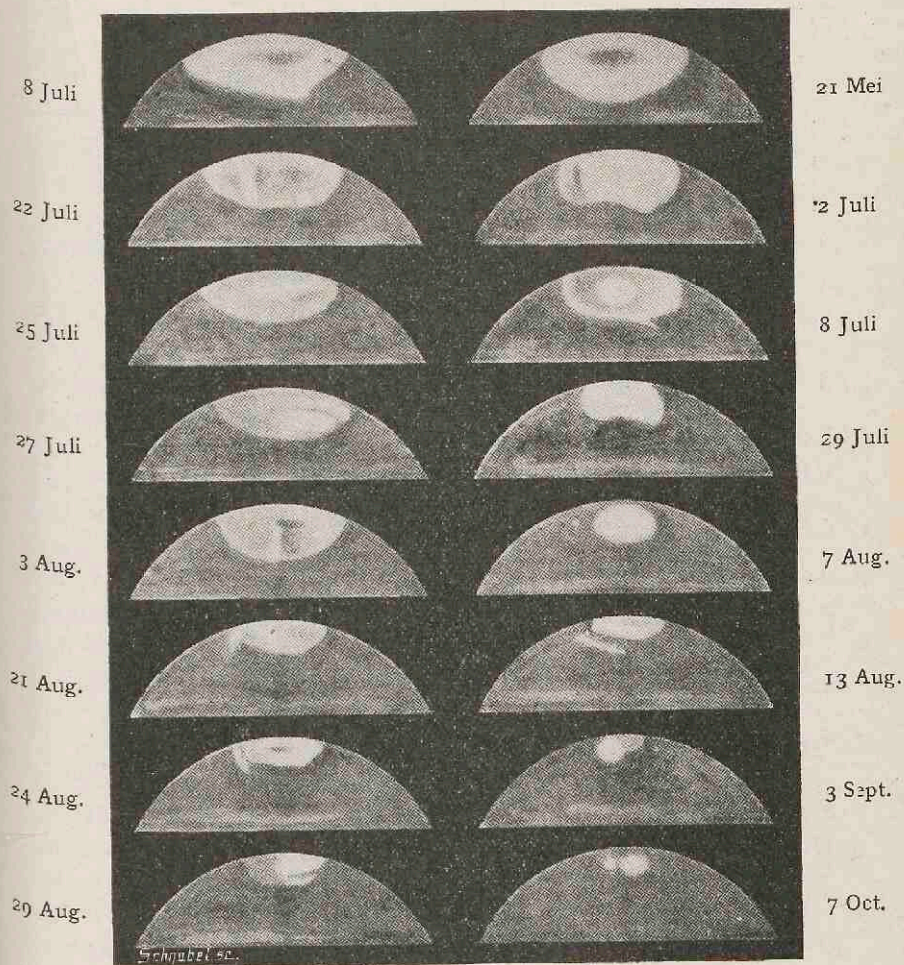
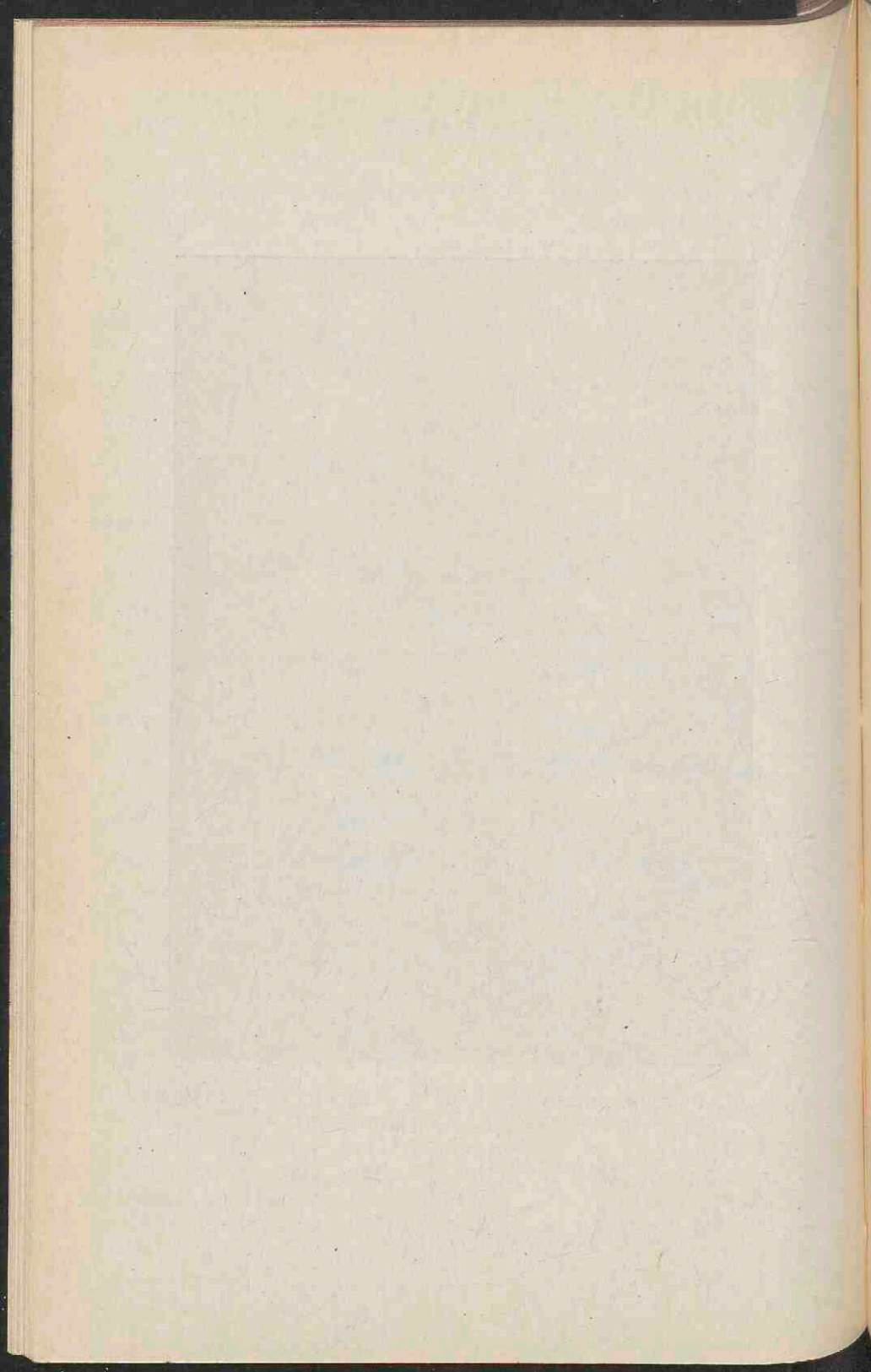


FIG. 84. DE ZUIDPOOLKAP VAN MARS IN VERSCHILLENDE MAANDEN.
(Uit: The Astrophysical Journal XVII).



„is an elaborate entity embracing the whole planet from one pole to the other we have not only proof of the world-wide sagacity of its builders, but a very suggestive sidelight to the fact that only a universal necessity such as water could well be its underlying cause.”

De andere partij, welke wij die der „anti-kanalisten” zullen noemen, en aan welke spits in Italië Cerulli, in Frankrijk Antoniadi, in Engeland Maunder gesteld zijn, verdrijft al dit schoone hardvochtig naar het land der optische illusie. Met deze twee partijen zijn echter alleen de uitersten aangegeven, het spreekt vanzelf dat er talrijke tusschenpartijen ontstaan zijn.

Dat bijna alle formaties op *Mars* in meerdere of mindere mate onbestendig zijn, staat voor alle partijen vast. Fig. 84 maakt dit reeds voor de poolkappen duidelijk; het zijn teekeningen van Barnard aan den grooten Lick-kijker (d — 91 cm.) van de sterrenwacht van dien naam (Mount Hamilton, Californië). Bij den aanvang der *Mars*-lente¹⁾ besloeg deze poolkap een oppervlakte van 945000 vierkante Kilometers, welk bedrag, naarmate het zomerpunt naderde, gestadig verminderde tot ze, 80 dagen nadat de zon haar hoogsten stand had ingenomen, totaal verdwenen was, om eerst 73 dagen vóór het wintersolstitium weder zichtbaar te worden.

Niet alleen de poolkappen echter, ook de lichte en donkere plekken zijn onbestendig, en nu merkte Lowell op dat dit ook met de kanalen het geval was. Lowell heeft honderden kanalen gezien en opgeteekend, zoo fijn en scherp als gespannen draden en alles aangeteekend wat hij ook maar even zag. Fig. 85 geeft een *Mars*-beeld van Lowell, dat echter niet den indruk mag vestigen als zou men de planeet ooit zoo zien. Daarvan is geen sprake; de meeste kanalen, die hier weergegeven zijn, zijn nooit *gelijktijdig* zichtbaar en de kaart is eene compilatie van talrijke schetsen, die ettelijke weken uiteen kunnen liggen en op elk waarvan slechts een paar kanalen zichtbaar zijn.

¹⁾ Het *Mars*-jaar telt 687 dagen, de *Mars*-dag 24,6 uren terwijl de poolas der planeet 24°50' op het vlak van hare loopbaan helt.

Lowell heeft uit een zeer groot aantal van dergelijke schetsen tot een soort „opbloeiingsproces” van een hypothetische Mars-vegetatie besloten, met het smelten van de pool-

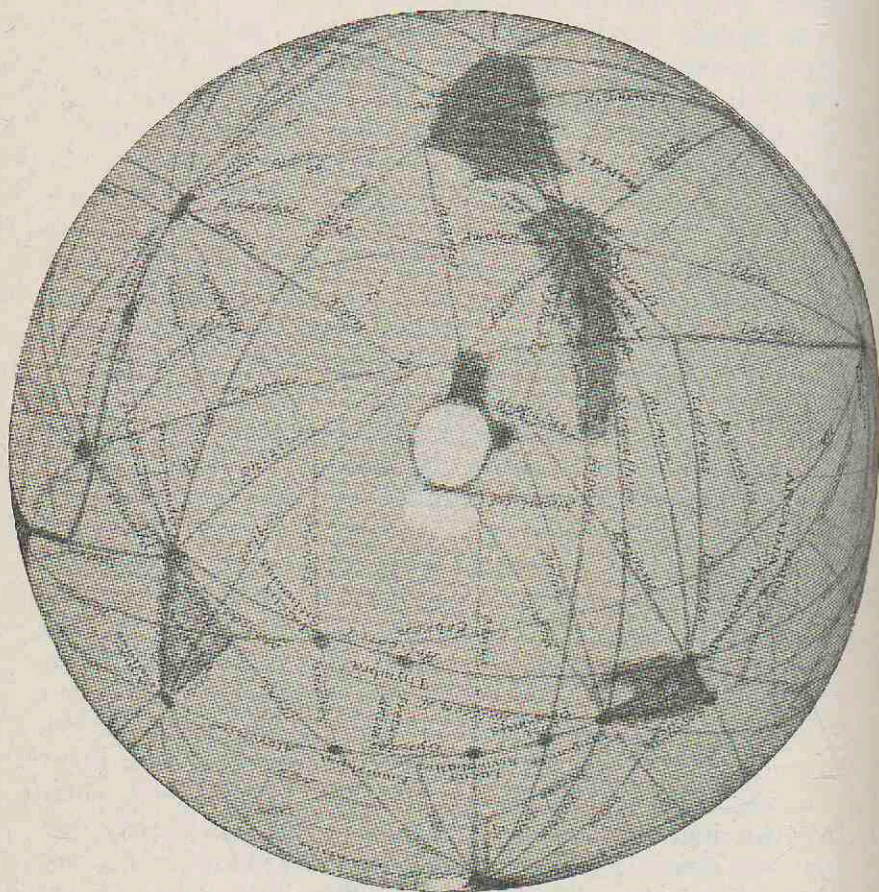


FIG. 85. MARSTEKENING VAN LOWELL.
(Uit: Annals of the Lowell Observatory III).

sneeuw als eerste periode. Tevens vond hij 1°. dat het sneeuwwater den weg van de pool tot den aequator met eenparige snelheid aflegt; 2°. dat het opbloeiingsproces, in strijd met

de natuur, tot voorbij den evenaar voortgang heeft, en deze twee uitkomsten hebben hem tot de overtuiging gebracht dat de *Marskanalen kunstmatig zijn aangelegd*.

Volgens de „antikanalisten” echter zijn alleen enkele der bredere en altijd zichtbare kanalen *reëel*, d. w. z. het zijn doorlopende strooken, waarvan men verder niet veel weet, maar het z.g. „geometrische kanalennet,” dat, zooals Lowell eens gezegd heeft, „als gespannen telefoon-draden over de schijf gevlochten is,” is *niet reëel*. Deze meening moet wel geuit worden, wanneer plotseling één waarnemer met één bepaald instrument van middelbare grootte, formaties op een planetenoppervlakte ziet, die vóór hem niemand ooit gezien heeft, noch in kijkers van dezelfde, noch in kijkers van grootere afmeting, en in latere jaren heeft de verklaring veld gewonnen dat men hier te doen had met een zeer goed instrument, dat in een buitengewoon gunstige luchtgesteldheid meer en fijnere details kon verraden dan andere kijkers in minder goede lucht, dat deze fijnere details echter, *aan de grens van zichtbaarheid staan* en zelfs (al moge dit paradoxaal klinken) *daar overheen*. Het oog voegt dan de intensiteit van vele kleine vlekjes bijeen en vereenigt ze tot iets, dat nu geen beeld meer is van een reëel object. Liggen die vlekjes in bepaalde richtingen, dan interpreteert het menschelijk oog ze als eenvoudige lijnen. Een duidelijke aanwijzing van deze fictie was de ontdekking dat men, naarmate men het *Mars*-beeld langer bestudeert, beter in staat geraakt kanalen te zien. Men leert a. h. w. de kanalen zien, naarmate men intenser tuurt om zelfs datgene wat nauwelijks zichtbaar is, als een concreet beeld op te vatten. Dit geldt in hoofdzaak voor kleinere kijkers, waarvoor inderdaad de fijnere details aan de grens van zichtbaarheid zijn, en eveneens voor den kijker van Lowell, die wel een objectief van 60 cm. heeft, maar de kanalen alleen dan goed toont, wanneer dit door diafragma's tot een van ongeveer 20 cm. wordt teruggebracht! De *grootte* kijkers, gebruikt met hunne volle opening, zooals die te Meuden (83 cm.), *Lick* (91 cm.) en *Yerkes* (102 cm.) hebben op *Mars* nog nooit kanalen geopenbaard.

Douglass, die jaren lang assistent bij Lowell is geweest en daar een vurig kanalist was geworden, zag ten slotte op elke schijf kanalen, o.a. op die van *Venus* en op die van één der satellieten van *Jupiter*, die noch vóór, noch na hem door iemand zijn weergezien.

Cerulli, een vurig anti-kanalist, heeft aangetoond dat

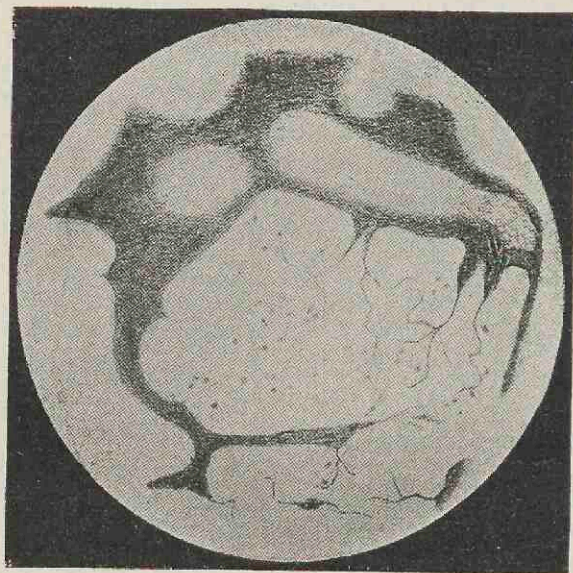


FIG. 86. TEEKENVOORBEELD VAN MAUNDER.
(Uit: Monthly Notices of the Royal Astronomical Society LXIII).

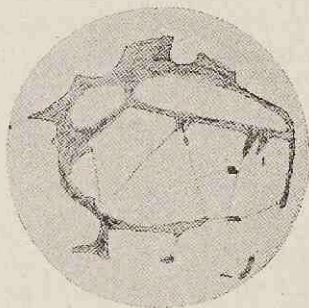
men met een zeer zwakke vergrooing kanalen in het beeld der maan kan zien als verbinding van aan de zichtbaarheids-grens gelegen kleine formaties.

In 1903 besloten de Engelsche sterrenkundige Maunder en de medicus Evans tot het nemen van een fysiologische proef op *Mars*-teekeningen, om te trachten proefondervindelijk aan te toonen dat men onder zekere omstandigheden een regelmatig net van rechte lijnen als beeld kan krijgen van iets anders, en de omstandigheden die daarop van invloed

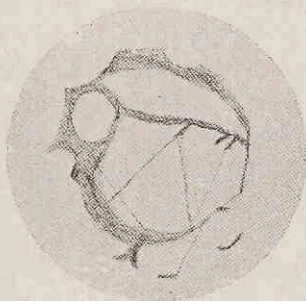
5,2 M.



6,9 M.



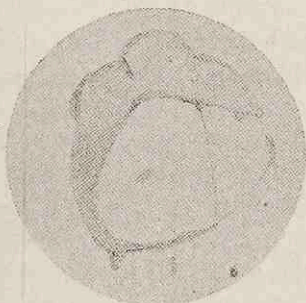
7,8 M.



8,7 M.



10,5 M.



11,4 M.

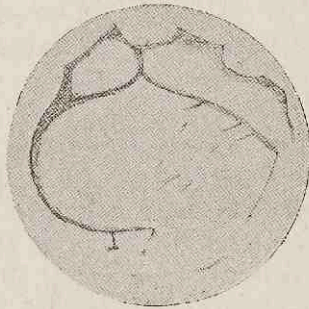
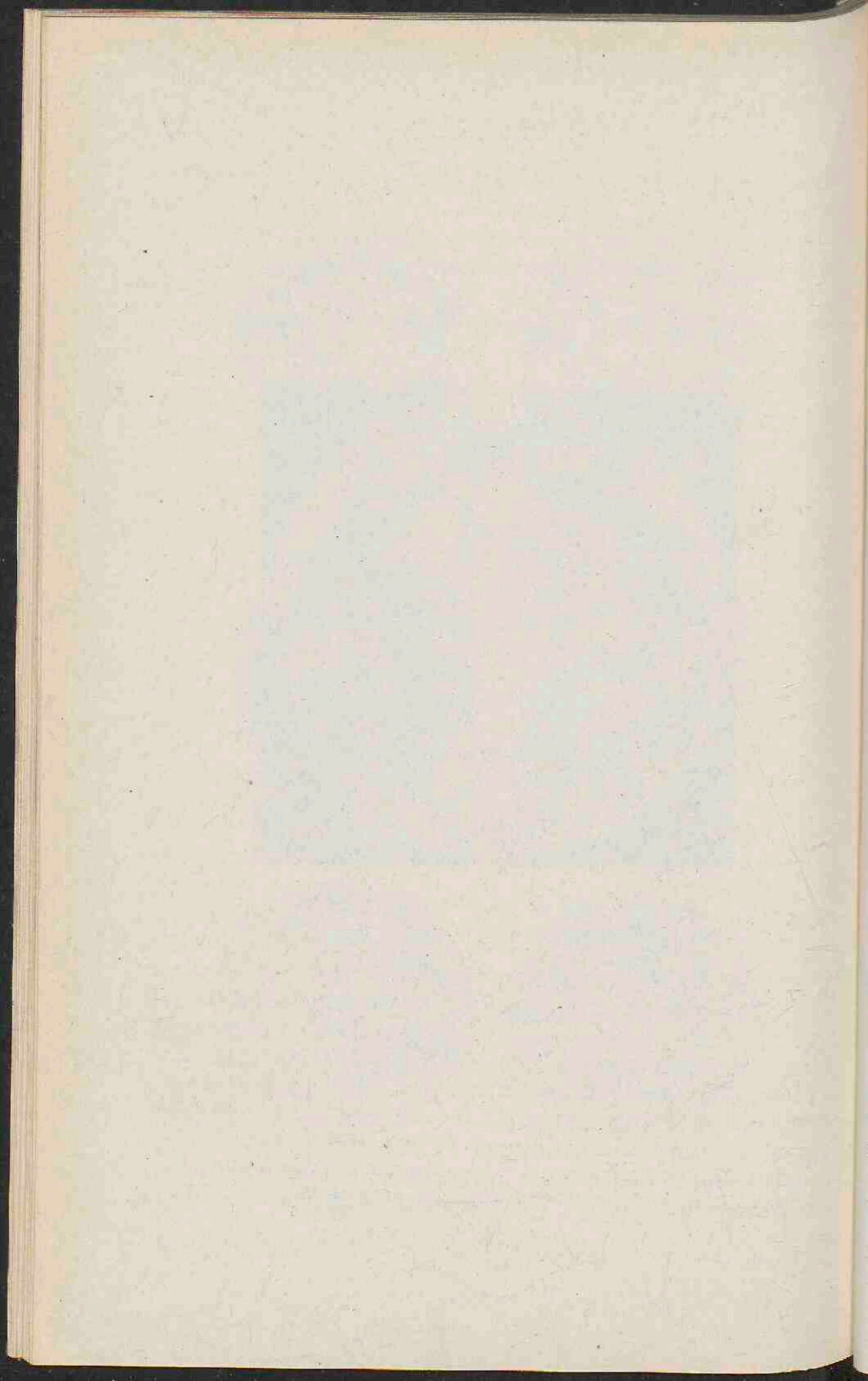


FIG. 87. COPIEËN VAN HET TEEKENVOORBEELD VAN MAUNDER
(Uit: Monthly Notices of the Royal Astronomical Society LXIII).



zijn na te vorschen. Deze proef komt in het kort hierop neer: plaats tegenover verschillende *Mars*-teekeningen op verschillende afstanden een aantal eenigszins geoefende teekenaars en laat hen onafhankelijk van elkaar, in een voor allen even grooten op papier getrokken cirkel, alle details weergeven, die zij op de vóór hen geplaatste teekening zien of meenen te zien.

De 20 teekenaars, 12 tot 14 jaar oud, waren de beste leerlingen der teekenschool van Greenwich Hospital; geen van hen had vóór het nemen der proef ooit iets aangaande de kwestie der *Mars*-kanalen vernomen. Maunder plaatste hen op afstanden, afwisselende tusschen 5 en 19 M.; de modellen hadden een middellijn van 8 tot 16 cm. Een daarvan (Fig. 86) is ontleend aan de als Fig. 83 opgenomen teekening van Schiaparelli; de hoofdtrekken daarvan zijn overgenomen, maar de twaalf kanalen zijn in het tekenvoorbeeld weggelaten en de ruimte is, inplaats van daarmede, gemarkeerd met kleine, donkere stippen en eenige dunne, flauwe en onregelmatig gebogen lijnen. Fig. 87 geeft de teekeningen der leerlingen, geplaatst op de daarboven aangegeven afstanden. Met ziet daaruit dat op 5 M. het voorbeeld vrij getrouw is nagebootst, op 6 M. (niet in de figuur opgenomen) is er slechts één leerling, die precies teekent wat het voorbeeld geeft, en één die gedeeltelijk kanalen teekent, maar op 7 en 8 M. worden zonder aarzelen kanalen geteekend, op 9 M. weer gedeeltelijk en op 10 en 11 M. blijft de ruimte nagenoeg ledig. Niet alleen echter werd wat geen kanaal was, geteekend als zoodanig en wel juist zooals Schiaparelli het aangaf, maar bovendien teekenden twee leerlingen eenzelfde kanaal dat *niet* op Schiaparelli's teekening voorkomt.

Nu nam Maunder hetzelfde model, maar plaatste de leerlingen in andere volgorde, en wat gebeurt er? De zeven leerlingen die bij de eerste proef kanalen hebben geteekend, teekenen nu, op veel grooteren afstand gezeten, *weer* kanalen, in tegenstelling met hunne *onbevooroordeelde* voorgangers.

Dit is slechts eene der talrijke proefnemingen, welke alle tot dezelfde uitkomst leidden, en die later telkens o. a. door

een viertal Amerikaansche sterrenkundigen van naam, herhaald zijn.

De proef van Maunder bewijst natuurlijk niet dat er geen kanalen zijn, maar toont alleen aan dat de „kanalisten” niet het recht hebben uit de visueele waarnemingen tot hun werkelijk bestaan te besluiten. Het duurde niet lang, of Lowell had zijn antwoord gereed in den vorm van *Mars-fotografieën* waarop de kanalen zichtbaar zijn!

Het is langen tijd een uiterst moeilijke taak geweest om van een zoo kleine planeet als *Mars*, met een zeer ongelijk en voornamelijk rood getinte oppervlakte, een behoorlijk fotografisch beeld te verkrijgen. Ook hier zijn Lowell en zijn helpers de baanbrekers; met behulp van een kleurenfilter zonderden zij het golflengte-gebied af, waarvoor het objectief van den kijker het beste gecorrigeerd was en lieten fotografische platen vervaardigen die voor dit gebied de grootste gevoeligheid hadden. In 1905 berichtten zij dat de kanalen van *Mars* gefotografeerd en *dus* reeël waren. Alleen de oorspronkelijke negatieven kunnen ze echter toonen; een reproductie daarvan toont de kanalen nooit en dit is niet te verwonderen. Het objectief van den kijker van Lowell geeft het brandpuntsbeeld van *Mars* als een schijfje van ongeveer 1.5 mm. middellijn; door een vergrootingsinrichting (bldz. 118) wordt het beeld op de plaat een schijfje van 4 mm; maakt men hiervan ten behoeve van een behoorlijke reproductie een positieve vergrooting, daarvan weer een negatief en ten slotte hiervan de reproductie, dan zijn intusschen alle fijnere details verloren gegaan. Lowell beweerde dat op de oorspronkelijke negatieven 38 kanalen zichtbaar waren, de Fransche sterrenkundige Moreux echter heeft na een grondig onderzoek verzekerd, dat geen enkele lijn *met zekerheid* geconstateerd kon worden.

Zoo bleef de strijd met onverminderde kracht voortwoeden; Lowell rustte in 1907 eene speciale *Mars*-expeditie naar Chili uit, omdat de planeet daar een groote hoogte boven den horizon bereikte; deze expeditie heeft in 33 dagen tijds niet minder dan 7000 fotografische beelden van *Mars* bijeen-

gebracht, die nog niet alle onderzocht zijn. Maar welke waarde die opnamen ook mogen hebben als fotografisch dossier van de „permanente formaties,” tegenover de kwestie der kanalen is hunne waarde gering. De fotografie kent n.l. even goed optisch bedrog als het menschelijke zien; men fotografeert een brandpuntsbeeld dat een onwerkelijke lichtverdeling van allerlei aard vertoonen kan. Van dit optisch bedrog zijn bewijzen te over. 1°. vertoont de zeker niet reëel zijnde „black drop” (bldz. 178) bij *Venus*-overgangen

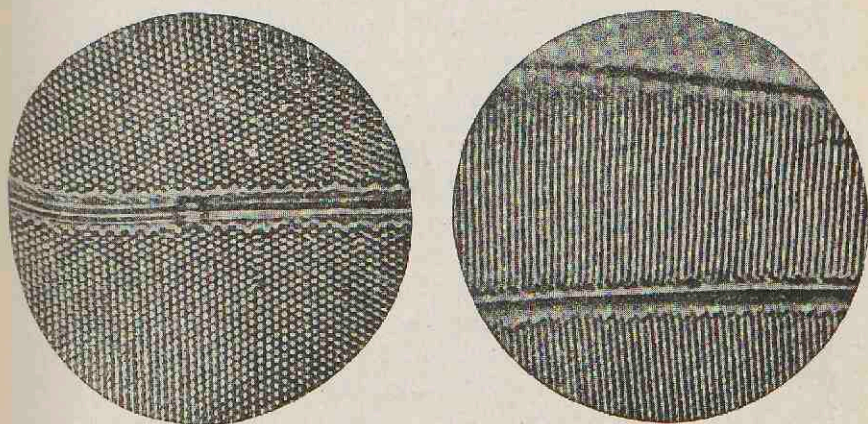


FIG. 88. MICRO-FOTOGRAFIEËN VAN DIATOMEËN-SCHALEN MET OBJECTIEVEN VAN VERSCHILLENDE SCHEIDINGSVERMOGEN.
(Uit: Ch. André, *Les Planètes et leur origine*).

zich ook op een fotografische opname ervan; 2°. heeft men door micro-fotografieën van diatomeeën-schalen (wieren) te nemen met objectieven van verschillend scheidingsvermogen, lijnvorming gekregen (Fig. 88) en 3°. vertoonen onder bepaalde omstandigheden fotografische opnamen van een *Mars*-model, zooals Maunder het inrichtte, kanalen! Ook in dezen strijd zijn de groote instrumenten mee gaan spreken. Fig. 89 vertoont foto's van *Mars*, aan den Yerkes-kijker verkregen met een belichtingstijd van 3 à 4 sec.; wanneer gedurende dien tijd het beeld een enkele seconde

in beroering is door slechte lucht a.a. is de opname bedorven. Het „volgen” (bldz. 159) geschiedt hier door een dradenkruis de poolkap te laten halveeren.

Van deze beelden vertoonen de oorspronkelijke negatieven geen kanalen, evenmin als die welke in 1909 met den Mount-Wilson-spiegeltalescoop verkregen werden. Zoo lijkt het alsof de „kanalisten” een hopeloozen strijd voeren, waarin zij echter geen kamp geven; telkens doen nieuwe waarnemingen en nieuwe theoretische beschouwingen de geoederen van beide partijen tot nieuwen strijd ontbranden.

Een tweede belangrijk hoofdstuk over de planeet *Mars* handelt over haar dampkring. Dat deze er is wordt vrij algemeen aangenomen; vooreerst wijzen de poolverschijnselen er op en 2° . zijn herhaaldelijk de permanente formaties op *Mars* „gedoezeld” gezien, alsof ze door lichte sluiers of ijlen mist half aan het oog onttrokken werden. Reeds vóór 1890 heeft men getracht langs visueelen weg uit te maken of die dampkring een meetbare hoeveelheid waterdamp bevat en in hoeverre hij dus met den dampkring der aarde te vergelijken is. Het bleek echter reeds spoedig, dat men met visueel werk dit doel niet kon bereiken en de hulp der fotografie moest inroepen. Daartoe heeft men twee zeer verschillende methoden aangewend; de 1^{ste} berust op het eventueel waarnemen van een intensiteitsvermeerdering der „tellurische lijnen” (bldz. 202) van het *Mars*-spectrum, de 2^{de} op het eventueel waarnemen van een verdubbeling dezer lijnen.

1ste methode. De spectra van de maan en van *Mars*, copieën van het zonnenspectrum, vertoonen beide de tellurische lijnen; immers het licht van beide heeft den dampkring der aarde doorloopen en als men de spectra fotografeert wanneer ze een gelijke hoogte boven den horizon hebben bereikt, zijn door de gelijke dampkringswegen de tellurische lijnen in beide even krachtig. Dit is evenwel niet langer het geval als *Mars* een dampkring heeft die waterdamp bevat; het van deze planeet komende licht heeft dan tweemaal

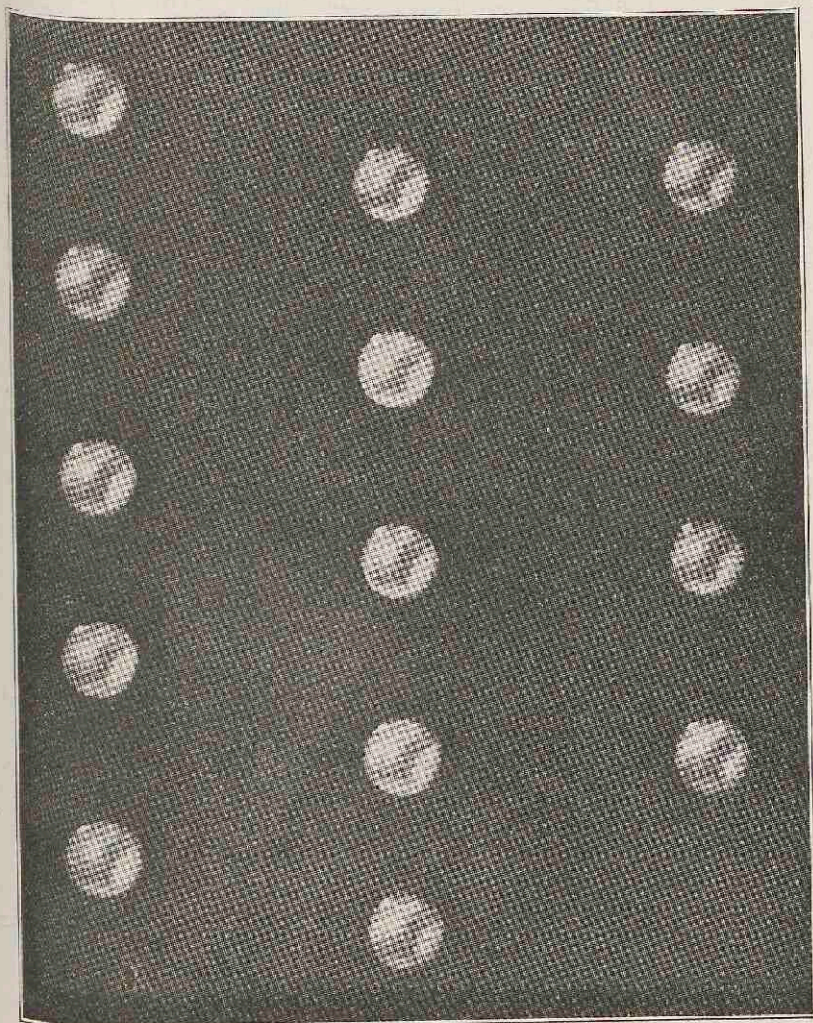
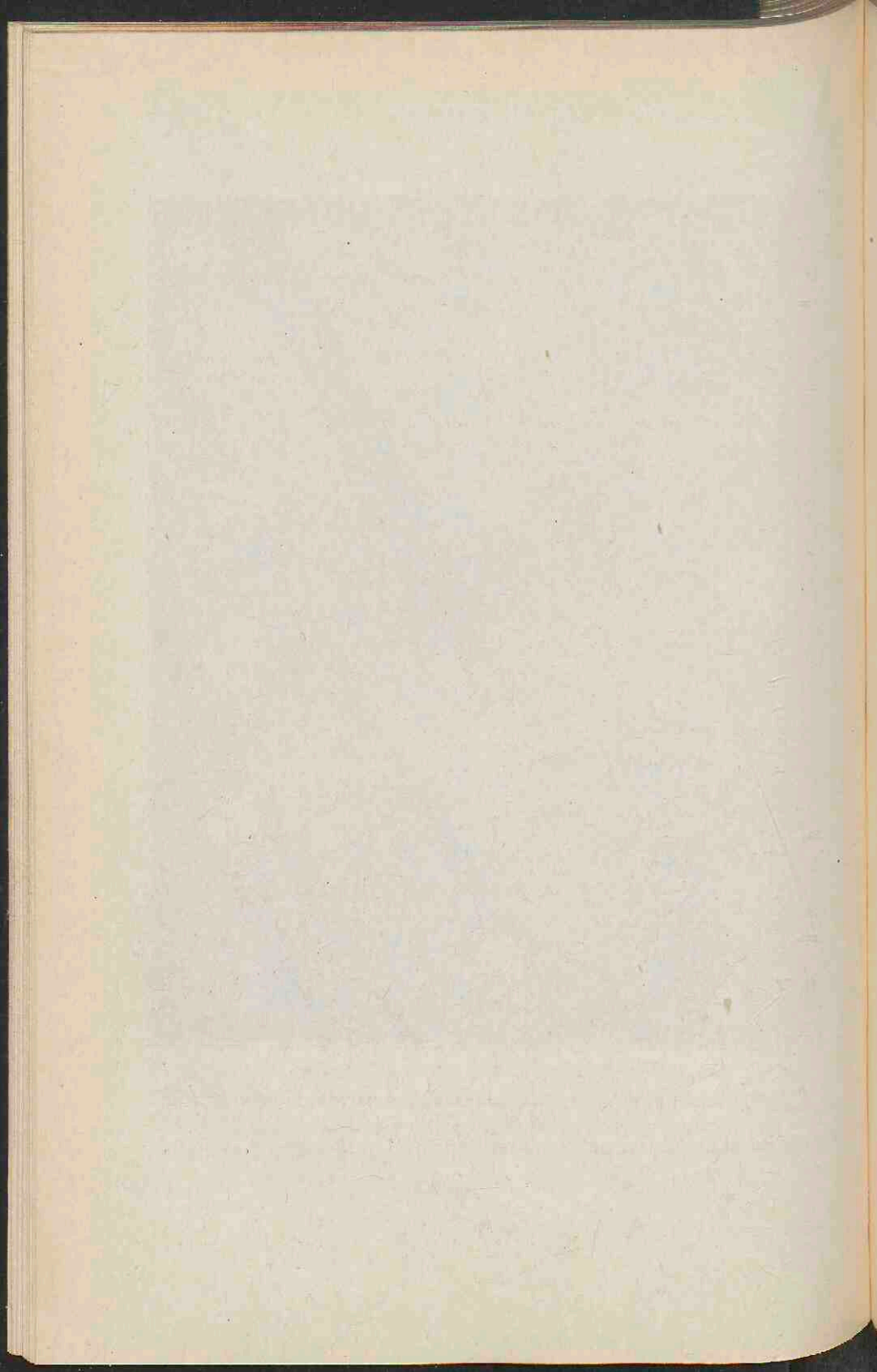


FIG. 89. MARS-FOTO'S VAN BARNARD AAN DEN YERKES-REFRACTOR
(28 SEPT. 1909).

(Uit: Monthly Notices of the Royal Astronomical Society Vol. LXXJ).



dien dampkring doorloopen en van de tellurische lijnen zullen dan de waterdamplijnen in het spectrum van *Mars* veel krachtiger optreden dan in dat der maan. De theorie is ook hier echter eenvoudiger dan de praktijk, daar o. a. de waterdamp-lijn *a* van het spectrum eigenlijk een band is en van zulk een band is de toename der donkerheid met een zeer klein percentage van haar bedrag, uiterst moeilijk vast te stellen, en allerminst te „onthouden,” hetgeen toch zou moeten geschieden wanneer men de spectra eenigen tijd na elkaar visueel zou bestudeeren; vandaar de pogingen met spectrogrammen. Weer is het Lowell, die den krachtigen stoot geeft en tevens een nieuwen strijd doet ontbranden. Eerst in 1905 waren er fotografische platen verkrijgbaar, die de vereischte gevoeligheid voor roode straling hadden, en zoowel toen als in 1907 heeft men op Lowell Observatory enkele zeer goede spectrogrammen verkregen; deze zijn door Very onderzocht, die als uitkomst verkreeg dat de *a* band van *Mars* 4.5 maal zoo krachtig was als die van de maan waaruit volgen zou dat de dampkring van *Mars* 1.75 maal¹⁾ zooveel waterdamp bevat als die boven Lowell Observatory. Daar dit zeer droog gelegen is, zou dan toch *Mars* nog bij de aarde achter komen te staan. Onderzoekingen van den zuurstofband B, gaven, ofschoon in veel geringere mate, eveneens een positief resultaat. Daarentegen konden de waarnemers der Lick-sterrenwacht, die op Mount Whitney dezelfde methode hadden toegepast, niet met zekerheid vaststellen dat in het eene spectrum de tellurische lijnen krachtiger waren dan in het andere. Waar hier de beste spectroscopisten met elkander in strijd komen, blijkt het doel moeilijk volgens de aangegeven methode te bereiken, en het maakt den strijd niet minder belangwekkend, dat de beide partijen, onafhankelijk van elkaar, het vraagstuk op een geheel andere wijze trachtten op te lossen, Lowell weer het eerst, Campbell van de Lick-sterrenwacht iets later.

¹⁾ $2 \times \text{dampkr. Mars} + \text{dampkr. aarde} = 4.5 \times \text{dampkr. aarde.}$

zde methode. Wanneer *Mars* in oppositie is (en dit is de gunstigste gelegenheid om de zoeven besproken methode toe te passen), staat de richting van hare beweging loodrecht op die naar de aarde en de planeet heeft dus ten opzichte van de aarde geen snelheid in de gezichtslijn. Het onderzochte *Mars*-spectrum heeft een α -band krachtens den dampkring der aarde en krachtens dien van de planeet, maar deze liggen volkomen op dezelfde plaats, zij bedekken elkaar en verdraden dit door een krachtiger optreden; wanneer men echter een spectrogram van *Mars* neemt *niet* in oppositie, maar lang daarvóór of daarna, dan heeft men te doen met een lichtbron die ten opzichte van de aarde een „radiale snelheid” van ongeveer 20 KM. per seconde heeft. Niet alleen de planeet zelve, maar ook een eventueele dampkring heeft die snelheid, háar waterdampband krijgt dus, uit hoofde van het beginsel van Doppler, een kleine verplaatsing en men moet nu niet onderzoeken of er twee banden over elkaar liggen, maar of zich *van den waterdampband der Aarde een waterdampband van Mars losmaakt.*¹⁾ Ook hier is de theorie eenvoudig, de practijk zeer moeilijk; de aanwezige radiale snelheid is ten eenenmale onvoldoende om de twee banden werkelijk *gescheiden* te zien; in het gunstigste geval kan door het verschijnsel een geringe *verbreeding* van den α -band naar ééne zijde plaats hebben, welke uit een bepaling van het midden van den band blijken moet. De tweede methode vereischt derhalve, in tegenstelling met de eerste, een groote dispersie; de beide methoden verschillen essentieel en de uitkomst der laatste werd met spanning afgewacht. Zij bracht echter opnieuw teleurstelling. Er was geen meetbare verbreeding van den band en even weinig resultaat had 5 jaar later de andere partij; met uitstekende hulpmiddelen toegerust en met aanwending van een zeer groote dispersie, kon Campbell in 1909 uit een onderzoek van ongeveer 15 waterdamp- en 7 zuurstoflijnen geen spoor

1) Hetzelfde zou theoretisch ook ten allen tijde moeten geschieden bij een bestudeering van het rand-spectrum van *Mars*; de wentelingsnelheid is daartoe echter te gering.

van eenige verbreeding dezer tellurische lijnen ontdekken. Dat wil niet zeggen dat er dus in den dampkring van *Mars* absoluut geen waterdamp is; de onzekerheid in de metingen laat een dergelijke positieve bewering nooit toe; zij was, en dit behoeft bij dergelijke metingen niet te verwonderen, tamelijk groot, zoodat men de uitkomsten slechts in dezen vorm kan samenvoegen: de atmosfeer van *Mars* bevat stellig minder dan $\frac{1}{5}$ van de hoeveelheid waterdamp, die tijdens de waarnemingen aanwezig was in den dampkring boven de Lick-sterrenwacht.

Wil in volgende jaren dit onderzoek meer vruchten dragen, dan moet men een nog grootere dispersie kunnen aanwenden en kunnen beschikken over fotografische platen, die zeer gevoelig zijn en toch een veel fijnere korrelstructuur hebben dan de tot nu toe gebezigde.

Ook bij het onderzoek der *poolkappen* doen zich eigenaardige moeilijkheden voor; reeds dadelijk deze, dat men wel hun verdwijnen, maar niet hun vorming kan waarnemen, omdat ze dan in den poolnacht van *Mars* verscholen liggen. Komen zij daaruit te voorschijn, dan hebben zij, zooals wij zagen, een groote uitgestrektheid, welke gaandeweg vermindert, tot ze geheel of nagenoeg geheel verdwenen zijn. Dit proces gaat niet regelmatig en het midden van de poolkap valt niet samen met de pool. Bovendien vertoont ze een donkeren, meestal blauwachtig genoemden smeltrand en verdwijnt sneller boven de lichte dan boven de donkere plekken. Een afdoende verklaring van dit alles is nog niet gegeven; werkte voor het juiste *zien* der *Mars*-details het feit dat deze aan de grens van zichtbaarheid zijn, belemmerend, hier belet het niet kennen van de *temperatuur* van *Mars* het volgen van elke doeltreffende redeneering. De temperatuur hangt af van de dampkringstoestanden en de geaardheid van den bodem en deze zijn beide onbekend. Wel kan men bijv. redeneeren: door haar grooteren afstand ontvangt *Mars* slechts $\frac{3}{7}$ van de zonnestraling die de aarde ten deel valt, en daar streken als Aljaska, Noordelijk Rus-

land, en IJsland ongeveer $\frac{3}{7}$ van de door de aequatorstreken ontvangen zonnestraling ontvangen, zal het gemiddelde *Mars*-klimaat zich verhouden tot het gemiddelde klimaat der aarde als bijv. dat van IJsland tot dat van Batavia en derhalve is de temperatuur er zeer laag. En uit het feit van de toch zeker zeer geringe dichtheid van den dampkring kan men wel afleiden, dat de temperatuur op *Mars* nog veel lager moet zijn en *Mars* zelf een verijds hemellicht, maar de regelmatige poolkapverschijnselen en de besliste veranderingen van tinten, strijden hardnekkig tegen de opvatting van zeer lage temperaturen, zoodat ons a. h. w. de meening opgedrongen wordt dat er op *Mars* een warmte-vasthoudende oorzaak is, die wij niet kennen, en voorloopig door directe methoden ook niet kunnen leeren kennen.

Evenals voor het onderzoek der maanformaties heeft men ook in de laatste jaren voor het *Mars*-onderzoek de hulp der kleurenfotografie ingeroepen; het zou echter voorbarig zijn aan de daarmede verkregen uitkomsten onmiddellijk groote waarde toe te kennen. Wij willen daarvan alleen vermelden dat men op foto's in het groene kleurgebied de poolkap zeer helder gevonden heeft, in verhouding helderder dan op een gewone foto, en daaruit heeft afgeleid dat zij eerder ijs dan sneeuw zou zijn, eene meening waarin men versterkt werd toen „groene” foto's van ijsblokken met zand en sneeuw bedekt, dezelfde resultaten voor ijs tegenover zand geven als wat men voor de poolkap tegenover de z.g. „vaste landen” had gevonden. Dat de poolkap geen sneeuw-massa is blijkt ook uit het ontbreken van wolkenvorming, die aan een sneeuwval zou moeten voorafgaan, en eene vroeger wel eens geuite bewering dat ze uit vloeibaar koolzuur bestaat, kan geen stand houden bij het waargenomen zeer langzame smeltingsproces.

Zoo lijkt het alsof men aan de oplossing van het *Mars*-probleem min of meer wanhopen moet, maar toch is dit niet het geval. De naaste toekomst zal ons allereerst brengen een nieuwe *Mars*-kaart, geteekend aan een der

grootste kijkers, door een der beste astronomen-teekenaars, n.l. Antoniadi. Wat anderen te zwaar was, schijnt hem te zullen gelukken; toen Barnard met den Lick-kijker ($d = 91$ cm.) *Mars* bekeken had, verklaarde hij de kaart van Schiaparelli in het geheel niet terug te vinden, en hij zeide dat er bij goede lucht zulk een overdaad van samengestelde details opdook, dat het onmogelijk was ze behoorlijk in tekening te brengen. Antoniadi, die den kijker te Meudon ($d = 83$ cm.) tot zijne beschikking heeft, bezit èn de bekwaamheden èn het geduld om dien overvloed van details in beeld te brengen. Het spreekt echter vanzelf, dat eerst wanneer in vele opposities deze teekeningen tot een samenhangend geheel zijn bijeen gevoegd, over de gedragingen der fijnere details een nieuw en minder kunstmatig licht zal kunnen opgaan. Fotografische opnamen met een grooten reflector als dien op Mount Wilson, moeten daarmede gelijken tred houden.

De rotatie van *Mars* is met groote nauwkeurigheid bekend, dank zij de permanente formaties, waarvan er enkele, die door Huygens werden aangeteekend, thans nog zichtbaar zijn. Daar zulk een vlek sedert hare eerste vermelding duizenden omwentelingen volbracht heeft, is het bedrag van ééne omwenteling tot op enkele honderdste deelen eener seconde nauwkeurig te geven. De algemeen aangenomen waarde voor de *Mars*-rotatie, n.l. 24^u , 37^m , 22^s 66, is ontleend aan het werk van een Nederlander, Dr. H. G. van de Sande Bak-huyzen.

De planeet *Mars* heeft twee satellieten, die door Asaph Hall in 1877 visueel ontdekt, en slechts in zeer groote kijkers zichtbaar zijn. De binnenste, *Phobos*, volbrengt zijn omloop op een gemiddelden afstand van slechts 9000 KM. in 7^u . 39^m , de buitenste, *Deimos*, heeft een gemiddelden afstand van 23000 KM. en een omloopstijd van 30^u . 18^m . Zij hebben beide nuttige diensten bewezen bij het bepalen van de massa van *Mars* uit toepassing van de 3^{de} wet van Kepler (bldz. 80) Daar de omloopstijd van *Phobos* kleiner

is dan de omwentelingstijd der planeet, zou een bewoner van *Mars* hem, zooals op bldz. 25 is uitgelegd, in het Westen zien opkomen en in het Oosten ondergaan en wel schijnbaar zoo groot als wij de maan zien; hij zou *Deimos* zien zooals wij *Venus* en hem een zeer langen dagboog zien beschrijven, doordat zijn werkelijke beweging van West naar Oost nagenoeg gelijken tred houdt met de schijnbare hemeldraaiing.

De Planetoiden¹⁾

Het vaste geloof aan de wet van Titius (zie bldz. 83), versterkt door de ontdekking in 1781 van de planeet *Uranus*, bracht eene vereeniging van sterrenkundigen onder leiding van von Zach en Schröter, tot het plan om stelselmatig te gaan zoeken naar de onbekende planeet, die zich tusschen *Mars* en *Jupiter* moest bewegen en volgens de wet van Titius 2.8 maal zoover van de zon moest staan als de *Aarde*. Zoeken wilde zeggen: telkens nagaan of er zich onder de in het kijkerveld zichtbare sterren eene bevond, die zich, hetzij aan een schijfvorm, hetzij aan een beweging ten opzichte van de omringende sterren, als planeet kenbaar maakte. De eenige leiding die men bij dit zoeken had was de overweging, dat de baan der onbekende planeet zich waarschijnlijk zou onderscheiden door het kenmerk van alle bekende planetenbanen, een geringe helling op de ecliptica, zoodat men het onderzoek tot een ecliptica-gordel van bepaalde breedte kon beperken. Bezig zijnde met de samenstelling van een sterrencatalogus, had Piazzi te Palermo het geluk op 1 Januari 1801 eene zich bewegende ster te ontdekken, welke zich, zooals een ruwe baanberekening leerde, inderdaad tusschen de banen van *Mars* en *Jupiter* bewoog. De berekening was echter zoo onnauwkeurig, dat het zeer zeker zoo goed als onmogelijk zou geweest zijn de planeet bij een volgende oppositie terug te vinden, indien niet een jong wiskundige, Gauss, een nieuwe methode bedacht en uitgewerkt had om uit drie plaatsbepalingen van eene planeet, al liggen deze ook

¹⁾ Ook *asteroïden* genoemd.

dicht bij elkaar, een goede elliptische loopbaan te berekenen. Hierdoor werd, een jaar na de ontdekking, de planeet, die inmiddels den naam *Ceres* ontvangen had, gemakkelijk teruggevonden, korten tijd nadat Hegel op filosofische gronden in een brochure had aangetoond, dat de bemoeiingen der astronomen om een planeet tusschen *Mars* en *Jupiter* te vinden, nooit succes zouden hebben!

In 1802 ontdekte Olbers een 2^{de} planeet, *Pallas*, in 1804 Harding een 3^{de}, *Juno*, in 1807 Olbers een 4^{de}, *Vesta*, maar hiermede nam de reeks der ontdekkingen een plotseling einde en ondanks het monnikenwerk, dat talrijke waarnemers verrichtten, gelukte het niet een nieuwe planetoïde aan de vier eerst ontdekte toe te voegen. Dit leidde tot het vestigen van de overtuiging dat 1°. elke waarneming van een zich bewegende ster zoo spoedig mogelijk aan alle astronomen behoort te worden medegedeeld, om den factor „bewolking” zooveel doenlijk uit te schakelen, en dat het 2°. veel te tijdroovend was, telkens de plaats van een verdachte ster weder te bepalen en noodzakelijk, dat een bepaald kijkerveld vol sterren ten allen tijde met een normale afbeelding ervan moest kunnen worden vergeleken. De eerste overweging leidde tot de uitgave in 1821 van de „Astronomische Nachrichten,” een tijdschrift dat ook thans nog het internationaal orgaan der sterrenkundigen is; de tweede overweging gaf den eersten krachtigen stoot aan de samenstelling van *sterrenkaarten*, en vooral van *ecliptica-kaarten*. Reeds Harding had de samenstelling daarvan op zich genomen en tijdens dezen arbeid *Juno* ontdekt, maar een behoorlijke uitvoering ervan kan nauwelijks aan één enkelen waarnemer worden opgedragen, omdat het aantal zwakke sterren zoo groot is. Harding werkte 20 jaar om kaarten te teekenen die nog de sterren der 9^{de} grootteklasse (bldz. 345) bevatten, maar zou, wanneer hij ook de 10^{de} grootteklasse had willen opnemen, nog een 20-tal jaren daarvoor noodig hebben gehad. Zulk een arbeid geschiedt beter door coöperatie, waartoe Bessel te Berlijn het plan ontwierp, dat snel tot de uitgave der z. g. „Akademischen Sternkarten” voerde, welke

Hencke, nadat hij 15 jaren vergeefs naar een planetoïde gezocht had, er onmiddellijk eene deden ontdekken (*Astraea*, 8 Dec. 1845). Sedert deze ontdekking werden er telkens meer planetoïden bekend en blijkt ten slotte de ruimte tusschen *Mars* en *Jupiter* ingenomen te zijn door honderden kleine hemellichten, die zich in ellipsen van verschillende excentriciteiten en hellingen om de zon heen bewegen.

Het volgende overzicht moge dit aantoonen.

Tijdruimte	Aantal ontdek.	Tijdruimte	Aantal ontdek.
1850—1860	47	1880—1890	76
1860—1870	52	1890—1900	170
1870—1880	102	1900—1910	225

Hierbij heeft men intusschen met een 3^{de} ontdekkingsperiode, de fotografische, rekening te houden. Deze vangt aan in 1891 met de ontdekking van *Bruca* door Wolf te Heidelberg.

Men brengt tegenwoordig twee methoden in toepassing om op een fotografisch beeld van een deel van den hemel een planetoïde te ontdekken.

1°. de methode van Wolf. Men gebruikt een dubbelen fotografischen kijker (portretlens), belicht de eene plaat 1 uur, dan beide platen 1 uur, ten slotte de tweede plaat 1 uur. Zodoende heeft men in drie uur tijds twee opnamen verkregen die elk twee uur belicht zijn; volgt men daarbij op een ster, dan staan op de ontwikkelde plaat alle sterren als stippen, maar de planetoïden zoo die er waren, als streepjes. Een vergelijking der beide platen maakt dan dadelijk uit of een waargenomen streepje wellicht aan fouten in de plaat a. a. te wijten is.

2°. de methode van Metcalf. Men geeft aan den kijker de beweging die gelijken tred moet houden met de schijnbare hemeldraaiing en bovendien aan de fotografische

plaat nog een kleine beweging die gelijken tred houdt met de *gemiddelde* eigen beweging der planetoïden; na een langdurige belichting komen nu [de sterren als streepjes op de plaat, de planetoïden daarentegen als min of meer onregelmatige stippen. Deze methode heeft het voordeel dat

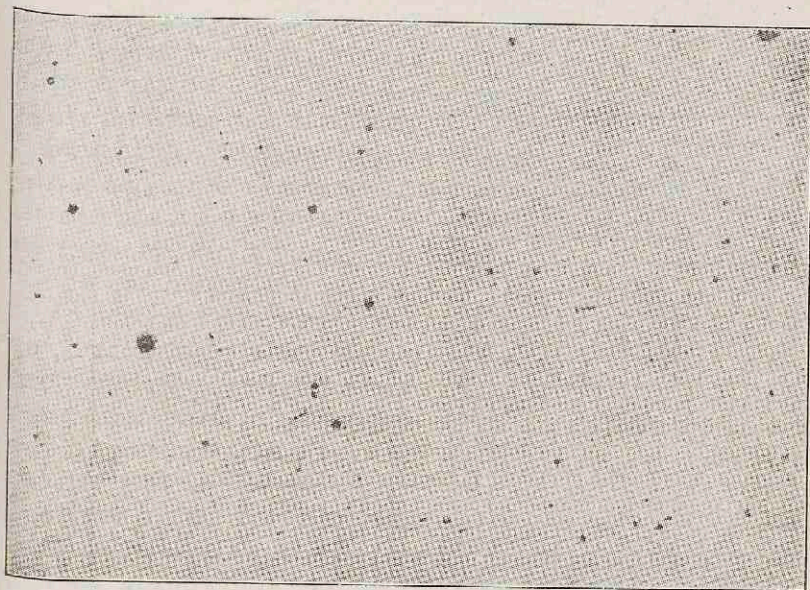


FIG. 90. ONTDEKKING VAN PLANETOÏDEN NAAR DE METHODE VAN WOLF.
(Twee streepjes op ééne plaat).

het licht van eene zeer zwakke planetoïde in blijft werken op ééne plaats en haar beeld dus goed zichtbaar wordt, terwijl het bij toepassing van de 1^{ste} methode uitgespreid zou worden tot een nauwelijks waarneembare streep. Een dubbele opname voorkomt de verwarring met fouten in de plaat.

Fig. 90 toont de ontdekking eener planetoïde naar de methode van Wolf, Fig. 91 geeft een toepassing van de methode van Metcalf.

Het door een planetoïde getrokken streepje is als regel, zelfs na een belichtingstijd van twee uren, korter dan 1 mm. en valt dus niet dadelijk in het oog; bijzondere methoden

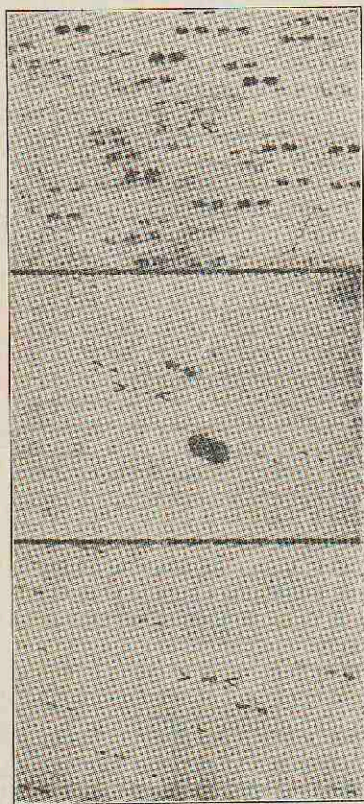


FIG. 91. ONTDEKKING VAN PLANE-
TOIDEN NAAR DE METHODE
VAN METCALF.
(Uit: The Astrophysical
Journal XXIII).

zijn daarom uitgedacht om snel tot de aanwezigheid van een planetenstreepje op een fotografische plaat te kunnen besluiten. Men kan de beide opnamen op elkaar leggen, zoodat de sterreschijfjes elkaar nauwkeurig bedekken, en dan de plaat met een loupe afzoeken. Men kan ook van de eene plaat een diapositief maken en daarna de platen op elkaar leggen, zoodat men, daar wat op de eene plaat licht is, op de andere donker is, in gewone omstandigheden niets ziet; ziet men wèl iets, dan wijst dit op een plaatsverandering van één der objecten. Men kan ook met behulp van een speciaal daarvoor ontworpen toestel, den „stereocomparator” een hemellicht ontdekken dat op de twee opnamen ongelijke beelden heeft, hetzij deze ongelijkheid ontstaat door plaatsverschil, zooals in het onderhavige geval, hetzij door intensiteitsverschil, zooals bijv. in het later te bespreken geval van een veranderlijke ster.

Hoe men zich echter overtuigt van de aanwezigheid van een planetoïde-spoor is bijzaak, de hoofdzaak is dat het *snel* geschiedt, dat de plaats

ten opzichte van de omringende sterren dadelijk wordt uitgemeten en bekend gemaakt, opdat zoo spoedig mogelijk, allereerst door het berekenen van baanelementen, gezorgd zij dat men het spoor van de nieuweling niet weder bijster wordt.

De planetoïden worden aangeduid door een cijfer in een cirkel en een naam; men heeft onderling afgesproken dat de ontdekker het recht heeft den naam te geven en dat deze bij voorkeur vrouwelijk zal zijn. ¹⁾ Zoo spreekt men bijv. van de planeet (313) Chaldaea, (1) Ceres; de cijfers geven daarbij in het algemeen de volgorde der ontdekking aan.

De helderheid der planetoïden, wanneer zij in oppositie zijn, is bijna nooit voldoende om ze voor het bloote oog zichtbaar te maken; alleen *Vesta* en *Eros* (zie bldz. 183) kunnen in zeer gunstige omstandigheden en wanneer men hunne plaats aan den hemel nauwkeurig kent, zonder de hulp van kijkers gezien worden. Eene eigenaardigheid bij de planetoïden zijn onverwachte en onverklaarde helderheidswisselingen, soms tot een bedrag van een volle grootteklasse (2.5 maal de lichtsterkte) in een week.

Alleen van de vier eerst ontdekte planetoïden zijn door Barnard aan den Yerkes-kijker directe metingen van de albedo en de schijnbare middellijn verricht; zij gaven de volgende uitkomsten:

Planetoïde	Albedo	Schijnb. midd.	Werkelijke midd.
Ceres	0.18	1".08	770 K.M.
Pallas	0.23	0".67	490 „
Juno	0.45	0".26	190 „
Vesta	0.74	0".54	380 „

Neemt men voor de zwakkere planetoïden een gemiddelde

¹⁾ In 1886 kwam de sterrenkundige Palisa te Weenen op den inval zijn recht om de planetoïde (250) te benoemen, te verkoopen teneinde gelden te verkrijgen voor de waarneming der zonsverduistering van dat jaar. Albert de Rothschild werd voor f 600 koper en doopte het planeetje *Bellina*.

waarde voor hare albedo willekeurig aan, dan is voor haar de werkelijke middellijn af te leiden uit metingen van de helderheid en het bekend zijn van den afstand. Dan blijken bijv. van de eerst ontdekte 456 planetoïden er slechts 12 een middellijn te hebben grooter dan 120 KM.; 41 hebben er eene tusschen 80 en 120 KM., 201 tusschen 40 en 80 KM., terwijl de overige 202 kleiner zijn dan 40 KM. De kleinste der zoodoende afgeleide waarden is 11 KM.!

De groote waarde die deze „lilliputters van het zonnestelsel” voor de sterrenkunde hebben, is gelegen in het mechanische stelsel dat zij te zamen vormen, en dat een schier onuitputtelijke bron van vraagstukken levert, welke beantwoording tot de taak der z.g. „theoretische sterrenkunde” behoort. Hoe klein de enkelingen van dit stelsel ook zijn, zoo oefenen zij toch „en masse” genomen een merkbaaren invloed uit op de andere leden van het zonnestelsel en omgekeerd wordt het evenwicht van hun stelsel in hooge mate beheerscht door de storende massa's der groote planeten. De omstandigheid, dat een paar planetoïden een gedeelte van hare baan *binnen* die van *Mars*, en een viertal andere een gedeelte van hare baan *buiten* die van *Jupiter* afleggen, maakt dit probleem nog belangwekkender. Aan het werk der theoretici moet echter een omvangrijke statistische arbeid voorafgaan, welke nog niet voltooid is en steeds moeilijker wordt; een voorloopig onderzoek heeft echter reeds geleerd, dat de ruimte tusschen *Mars* en *Jupiter* niet regelmatig gevuld is met planetoïdenbanen, doch dat deze groepsgewijze voorkomen met nagenoeg ledige ruimten daartusschen en dat die ledige ruimten overeenkomen (krachtens de 3^{de} wet van Kepler) met omloopstijden die in een eenvoudige meetbare verhouding (bijv. $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{2}{5}$, $\frac{3}{7}$) staan tot den omloopstijd van *Jupiter*. De theoretische sterrenkunde kan uit de storingsrekening het ontstaan van deze ledige ruimten, een analogon van wat het ringsysteem van *Saturnus* ons toont, volledig verklaren.

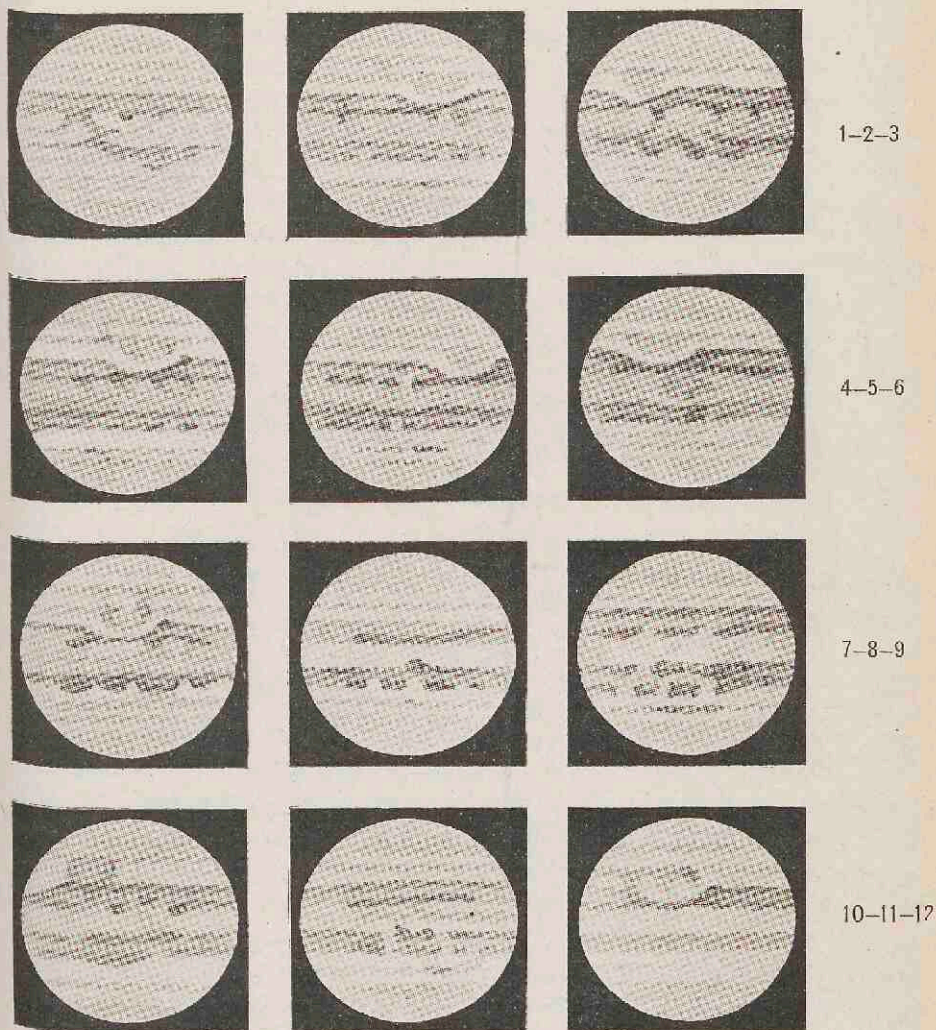


FIG. 92. TEEKENINGEN VAN JUPITER SAMENGESTELD AAN DEN REFRACTOR VAN 26 C.M. DER UTRECHTSCHER STERRENWACHT.

THE UNIVERSITY OF CHICAGO PRESS
CHICAGO, ILLINOIS

Jupiter.

De planeet *Jupiter* onderscheidt zich in alle opzichten van *Mars*; denkt men bij de laatste onwillekeurig aan de verhoudingen waarin de aarde verkeert, de eerste doet meer aan de zon denken; evenals deze is *Jupiter* helderder in het midden dan aan de randen, hare dichtheid is dezelfde als die der zon; ook zij schijnt een fotosfeer van hooge temperatuur te bezitten, omringd door buitengebieden, waarin werkelijk of schijnbaar snelle verplaatsingen worden waargenomen, en ook *Jupiter* wentelt niet als een vast lichaam.

De schijf van *Jupiter* heeft, als de planeet zich in oppositie bevindt, eene middellijn van $38''$ en is reeds in een kijker van 15 cm. nauwkeurig te bestudeeren; reeds in een veel kleineren kijker echter ziet men twee donkere banden symmetrisch ten opzichte van het midden over de schijf loopen. Deze heeten, daar zij met den *Jupiter*-aequator evenwijdig zijn, de Noord- en Zuidaequatorband. Zij zijn, als geheel beschouwd, als permanente formaties der oppervlakte te beschouwen; een nauwkeurige bestudeering leert echter, dat zij een zeer ingewikkelde en snel wisselende reeks van lichtere en donker getinte vlekken zijn, waarin slechts nu en dan een gebied merkbaar is, dat op een eenigszins langer bestaan, bijv. van een jaar, bogen kan. Dezelfde vluchtigheid kenmerkt de buiten de aequatorbanden verschijnende vlekken. Tot de meer constante formaties behooren slechts 1^o. de donkere aequatorbanden zelf, a. h. w. de velden, waarop zich het wisselend bedrijf der vlekken afspeelt, 2^o. een uitholling in den Zuidelijken band waarin een donkere ovaalvormige vlek, die in 1878, toen ze voor het eerst uitvoerig beschreven werd, een roodachtige tint had en daarom nog steeds „de roode vlek van Jupiter” wordt genoemd, en ten derde een haast even merkwaardige vlek de z.g. „Zuid-tropische sluier.” Voor de beide laatste gebieden moet het permanent zijn intusschen alleen opgevat worden in de beteekenis van gedurende de laatste jaren aanwezig en in nagenoeg denzelfden vorm, niet echter in die van standvastige

plaats. Zoowel de roode vlek als de Zuid-tropische sluier hebben een eigen beweging in „jovicentrische” lengte, ¹⁾ de laatste zelfs een zeer snelle, zoodat hij telkens na ongeveer 22 maanden weder met de roode vlek in conjunctie is. Fig. 92 geeft 12 Jupiter-teekeningen van Nijland, samengesteld aan den kijker der Utrechtsche sterrenwacht tusschen 1899 en 1902. Op de n^{os}. 2—6 ziet men duidelijk de uitholling van den Zuidaequatorband met den *daarin* gelegen rooden vlek, terwijl n^o. 10 het rechterdeel van de uitholling geeft met den *daarnaast* gelegen Zuid-tropischen sluier.

Met behulp van min of meer permanente formaties heeft men kunnen afleiden dat de rotatiesnelheden T voor de verschillende jovicentrische breedten φ de volgende waarden hebben. ²⁾

φ	T			φ	T		
— 33°	9 ^u	56 ^m	22. ^s 3	+ 8°	9 ^u	50 ^m	22. ^s 6
— 26°	9	55	41. 5	+ 14°	9	55	31. 1
— 23°	9	55	41. 4	+ 28°	9	55	59. 0
— 9°	9	50	23. 0	+ 32°	9	55	28. 7

De Zuid-tropische sluier, waarvoor $\varphi = -27^\circ$ is, heeft een omwentelingstijd van 9^u 55^m 18.^s7.

De spectrografische methode geeft voor de rotatiesnelheden in hoofdzaak dezelfde uitkomsten als de vlekkenwaarnemingen.

Men heeft wel eens *Jupiter* tijdens een oppositie waarbij hoog aanden hemel kwam, zonder onderbreking gedurende een volle omwenteling kunnen afbeelden. De toestand van de lucht speelt echter bij het teekenen van planetendetails een groote rol, verschillend van die bij waarnemingen van sterren.

¹⁾ Jupiter, 2de naamv. Jovis. Evenzoo heeten naar Ares (= Mars) de coördinaten op Mars: „areografische” lengte en breedte.

²⁾ Deze tabel is ontleend aan: A. A. Nijland, *Jupiter-Beobachtungen 1895—1906. Recherches Astronomiques de l'Observatoire d'Utrecht IV.*

Zoo zijn bijv. een schemering-achtergrond en een dunne mist voordeelig bij het bestudeeren eener planetenoppervlakte.

Behalve van de rotatiesnelheden der verschillende gebieden weet men van de fysische gesteldheid van *Jupiter* nagenoeg niets; men is er echter vrij zeker van, dat een eigenlijke oppervlakte der planeet nooit gezien wordt en men slechts een wisselend spel van dampen, bijv. in verschillende stadia van condensatie, te aanschouwen krijgt. De afplatting van een zoo snel roteerende groote planeet is zeer aanzienlijk n.l. $\frac{1}{17}$ (voor de aarde is ze $\frac{1}{300}$).

Ook op *Jupiter* zijn de fotografische methoden toegepast; reeds in 1892 verkreeg men aan de Lick-sterrenwacht, met een belichtingstijd van 2 sec., goede beelden die door een in den kijker geplaatst vergrootingsstelsel een middellijn van 10 mm. verkregen en waarvan er enkele een tiental goed uitmeetbare vlekken vertoonden. Ook aan de sterrenwacht te Greenwich heeft men van deze planeet goede negatieven gekregen. De meeste zijn echter niet geschikt voor reproductie, daar de bijzonderheden daarbij verloren gaan. Ondanks de met deze methode verkregen gunstige uitkomsten, wordt toch door alle planetenwaarnemers de visueele methode verre daarboven verkozen en ditzelfde geldt, zooals wij zagen, voor *Mars*. De toekomst zal echter ongetwijfeld een samengaan van beide methoden brengen en daarmee een vermeerderde kennis van de fysische gesteldheid van deze oppervlakte.

Het aantal satellieten van *Jupiter* bedraagt acht; de ontdekking der eerste vier was een onmiddellijk gevolg van de uitvinding der kijkers en dateert van 1610, toen ongeveer terzelfder tijd Galilei in Padua en Marius in Nürnberg hunne beroemd gebleven waarnemingen verrichtten. De 5^{de} satelliet is in 1892 door Barnard met den Lick-kijker ontdekt, terwijl de drie andere aan de toepassing der fotografie te danken zijn. De 6^{de} en 7^{de} werden in 1904 en 1905 door Perrine (Lick-sterrenwacht), de 8^{ste} in 1908 door Melotte (Greenwich) gevonden.

Voor amateurs zijn alleen de vier eerste, de heldere satellieten, zichtbaar; deze zijn van de 5^{de} tot de 6^{de} grootte en daar men aanneemt dat een normaal oog sterren der 6^{de} grootte zonder optische hulpmiddelen kan onderscheiden, zoo zouden zij, als *Jupiter* in oppositie is, met het bloote oog zichtbaar moeten zijn. Toch is dit wegens de onmiddellijke nabijheid der heldere *Jupiterschijf* moeilijk, zoo niet onmogelijk maar een goede binocle is voldoende om hunne aanwezig-

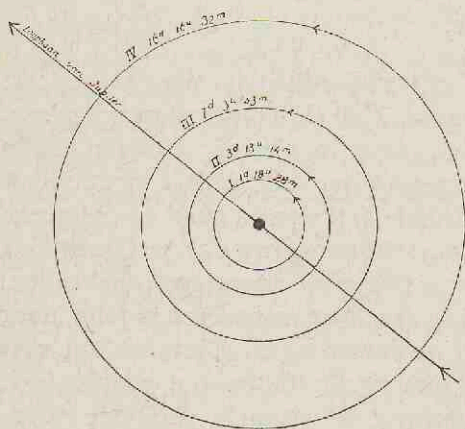


FIG. 93. LOOPBANEN DER VIER HELDERE SATELLIETEN VAN JUPITER.

heid te verraden. Marius heeft aan deze vier satellieten de namen *Io*, *Europa*, *Ganymedes* en *Kallisto* gegeven, doch deze worden bijna nooit gebruikt „und das ist gut,” zegt Plassman in zijn „Himmelskunde,” „denn wenn man sich sonst die „altklassische Götterlehre am Himmel gern gefallen lässt, „so sind doch die „Abenteuer, woran jene „vier Namen erinnern, „der obersten Gottheit „so unwürdig, dass ihre Verewigung im Planetensystem „nicht nötig erscheint.” Ook de benaming van Galilei „*Sidera Medicea*” (ter eere van het geslacht der Medici) heeft begrijpelijkerwijze geen stand gehouden; men benoemt ze eenvoudig met de cijfers I tot IV in volgorde van hun gemiddelden afstand tot de planeet. De andere heeten V tot VIII in volgorde van het tijdstip hunner ontdekking; de baan van V is binnen die van I gelegen.

De vier heldere satellieten behooren, al zijn hunne afmetingen in verhouding tot die van *Jupiter* onbetekenend, niet tot de „kleine” leden van het zonnestelsel, (III is bijv. groter dan *Mercurius*), zoodat zij reeds in kleine kijkers

te verraden. Marius heeft aan deze vier satellieten de namen *Io*, *Europa*, *Ganymedes* en *Kallisto* gegeven, doch deze worden bijna nooit gebruikt „und das ist gut,” zegt Plassman in zijn „Himmelskunde,” „denn wenn man sich sonst die „altklassische Götterlehre am Himmel gern gefallen lässt, „so sind doch die „Abenteuer, woran jene „vier Namen erinnern, „der obersten Gottheit

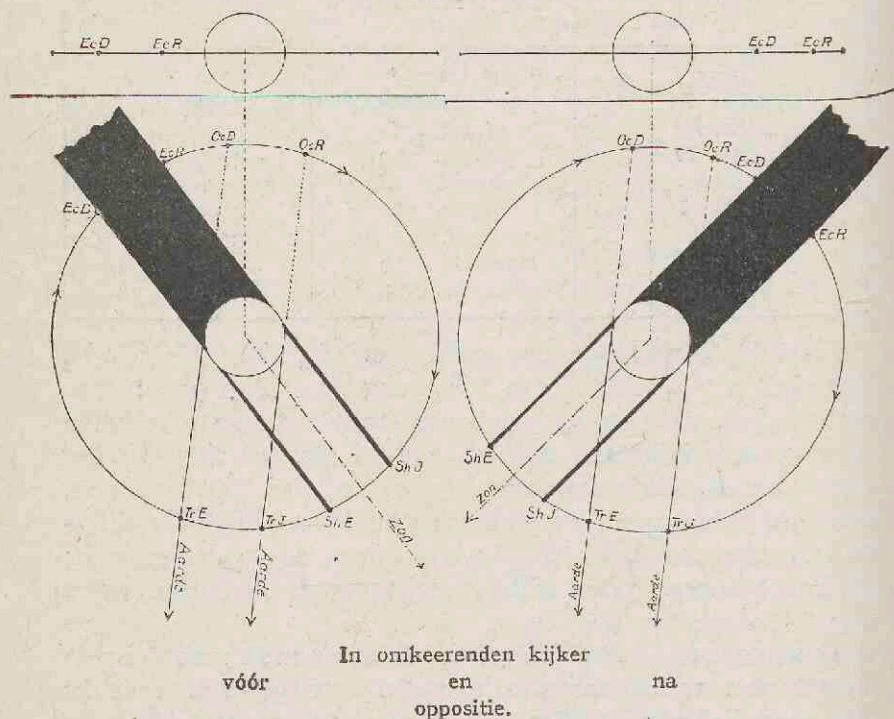
een schijf vertoonen. Uit onderstaande tabel blijkt de plaats, die de vier heldere satellieten in een rangschikking van de leden van het zonnestelsel naar hunne werkelijke afmetingen, innemen.

Hemellicht	Schijnbare middellijn	Werkelijke middellijn
Mars	4" tot 25"	6770 K.M.
Jupiter III	gemidd. 1".5	5700 "
Mercurius	5" tot 13"	4850 "
Jupiter IV	gemidd. 1".3	4700 "
Titan (bldz. 306)	gemidd. 0".6	4400 "
Jupiter I	" 1".1	4100 "
De Maan	31'.7"	3460 "
Jupiter II	gemidd. 0".9	3400 "
Planetoïde Ceres	0".2 tot 0".5	770 "

Satelliet I volbrengt zijn omloop in $1\frac{2}{3}$ dag, II in $3\frac{1}{2}$ dag, III in $7\frac{1}{6}$ dag, IV in $16\frac{2}{3}$ dag (zie Fig. 93); daar de vlakken van hunne nagenoeg cirkelvormige loopbanen zeer geringe hellingen hebben, zoowel ten opzichte van het vlak van *Jupiter's* aequator als tot dat van zijn loopbaan, kunnen de bewoners der aarde vier merkwaardige verschijnselen in het satellietenstelsel waarnemen, n.l. 1. Overgangen; 2. Bedekkingen; 3. Schaduwovergangen; 4. Verduisteringen.

Overgangen en Bedekkingen. Wanneer men zich door de plaats van waarneming alle raaklijnen getrokken denkt aan den bol van *Jupiter*, dan kunnen wij een satelliet niet zien, wanneer hij het gedeelte zijner loopbaan beschrijft, gelegen binnen den kegel, door deze raaklijnen gevormd. Bevindt hij zich in dien kegel aan *deze* zijde van *Jupiter*, dan nemen wij een overgang waar, bevindt hij zich aan *gene* zijde van de planeet, dan zien wij een bedekking (van den satelliet door de planeet). Het verschijnsel van een overgang over de zon bespraken wij reeds uitvoerig op bldz. 177 naar aanleiding van de beweging der binnenplaneten. Evenals bij de zon begint in een astronomischen kijker gezien een

satelliet-overgang rechts en eindigt links van de schijf van *Jupiter*; als regel is gedurende dien tijd de satelliet alleen zichtbaar vlak bij de randen van *Jupiter*, waar de planeet, zooals wij zagen, veel minder licht uitstraalt dan van het midden; de satelliet is dan zichtbaar als een klein plekje dat



Verduisteringen links:
Schaduwovergangen gaan vooraf
aan Satellietovergangen.

Verduisteringen rechts:
Schaduwovergangen volgen op
Satellietovergangen.

FIG. 94. VERSCHIJNSELEN IN HET SATELLIETEN-STELSEL VAN JUPITER.

lichter is dan de omgeving. Vervolgt hij zijn weg, dan wordt hij onzichtbaar, doch kan zich, zooals dit met III vaak het geval is, bij het passeeren van een zeer lichtsterk gedeelte der *Jupiterschijf*, ook als een donker schijfje vertoonen.

Een bedekking, waarbij wij den satelliet „achter langs”

Jupiter zien gaan, begint in een astronomischen kijker gezien links en eindigt rechts van *Jupiter*.

Schaduwovergangen. Wanneer men zich uit de zon alle raaklijnen getrokken denkt aan den bol van *Jupiter*, dan zien wij de schaduw van een satelliet op de *Jupiterschijf* gedurende den tijd dat hij het gedeelte van zijn loopbaan beschrijft, gelegen binnen den kegel door deze raaklijnen gevormd.

Die schaduw zal nu een overgang vertoonen van gelijken duur als die van den satelliet. Twee omstandigheden kunnen zich daarbij voordoen. (zie Fig. 94).

1°. de overgang van de schaduw gaat vooraf aan dien van den satelliet.

2°. de overgang van de schaduw volgt op dien van den satelliet. De overgang hiertusschen is het oogenblik van oppositie der planeet. Wij bevinden ons dan op de lijn *Zon-Jupiter* en de beide overgangen vallen samen.

Verduisteringen. De geringe helling der banen van de vier satellieten op de loopbaan van *Jupiter* is oorzaak, dat deze bij elken omloop eenigen tijd in diens schaduwkegel verwijlen. De as daarvan ligt natuurlijk in het vlak van *Jupiter's* baan en de schaduw strekt zich veel verder uit dan de grenzen van het satellietenstelsel. Toch zal IV nu en dan, door zijn zooveel grooteren afstand tot de moederplaneet, in verband met de helling van zijn baan, aan het genoemde verschijnsel ontsnappen en onder of boven langs den schaduwkegel gaan.

De verduisteringen en de schaduwovergangen zijn verschijnselen van anderen aard dan de satelliet-overgangen en de bedekkingen. Deze toch zijn *subjectief* en volkomen te vergelijken met eene zonsverduistering. Het zijn eerst dan verschijnselen, zoodra er een derde (de aarde) bij in het spel komt. Bij de intrede van den satelliet echter in den schaduwkegel van *Jupiter* verricht hij een handeling, en die handeling is onmiddellijk het verschijnsel, onafhankelijk van de plaats van een bepaalden waarnemer. De verduisteringen en de schaduw-overgangen zijn *objectieve* verschijnselen. Ook een maansverduistering is een objectief ver-

schijnsel, dat, zooals wij zagen, voor de astronomische problemen geen groote waarde bezit; de satellieten-verduisteringen zijn daarentegen zeer belangrijk. Zij zijn o.a. tot het midden der vorige eeuw de eenige bronnen geweest, waaruit wij onze kennis omtrent de snelheid van het licht geput hebben. Nam men n.l. aan dat deze oneindig groot is, en berekende men in deze onderstelling den tijd waarop een der satellieten in den schaduwkegel van *Jupiter* zou treden voor twee tijdstippen, die een half jaar uiteen lagen, dan bleek de verduistering in het eene geval ruim 8 min. vroeger, in het andere ruim 8 min. later in te treden dan de berekening aangaf. Dit was reeds in 1675 aan Römer, een Deensch sterrenkundige, opgevallen en de oorzaak lag voor de hand. De snelheid van het licht is niet oneindig groot, zoodat een waarnemer op aarde de verduisteringen niet op hetzelfde oogenblik ziet als wanneer hij zich op de zon bevond. Het verschil van ruim 8 min. moest derhalve de tijd zijn, dien het licht noodig had om den afstand zon—aarde af te leggen.

Evenals bij de schaduwovergangen speelt ook bij de verduisteringen het tijdstip der oppositie van *Jupiter* een groote rol, zooals uit de figuren duidelijk is. In Fig. 94 zijn de plaats van *Jupiter* en de richting naar de aarde dezelfde gelaten en alleen de richting naar de zon als veranderlijk beschouwd. Het blijkt dan, dat de verduisteringen vóór de oppositie links, na de oppositie rechts van de schijf van *Jupiter* worden waargenomen. Van satelliet I, die dicht bij de planeet rondwentelt, kan men nooit in- en uittrede beide waarnemen; vóór de oppositie ziet men de intrede in den schaduwkegel, maar heeft de uittrede achter de planeet plaats, na de oppositie is dit met de intrede het geval en neemt men slechts de uittrede uit den schaduwkegel waar. Met de satellieten II, III en IV is het anders gesteld; in- en uittrede zijn in gunstige gevallen (d. w. z. niet al te dicht bij oppositie) beide waarneembaar; voor II is dit echter een hooge uitzondering. Ver van de oppositie hebben van III en IV in- en uittrede op betrekkelijk grooten afstand van *Jupiter* plaats; naarmate het tijdstip van oppositie nadert, zullen zij dichter bij de schijf der planeet worden

waargenomen, nog later heeft de uittrede daarachter plaats en is dus niet waarneembaar; ten tijde der oppositie zijn er geen verduisteringen zichtbaar, doch kort daarop zal weer de uittrede, *thans aan de andere zijde van Jupiter* zichtbaar worden, en geruimen tijd daarna zullen in- en uittrede weder ver van de schijf kunnen worden waargenomen.

De waarneming van de verschijnselen in het satellietenstelsel van *Jupiter* vallen volkomen onder het bereik van liefhebbers, doch deze moeten voorbereid zijn op hetgeen gebeuren zal, en hiertoe is het bezit van een almanak noodig, bijv. van den jaarlijks verschijnenden „*Annuaire Astronomique par Camille Flammarion*” (prijs frs. 1.50) of van den „*Nautical Almanac*” (Prijs 2 sh. 6 d.) De in Fig. 94 gebruikte verkortingen zijn aan dezen laatsten ontleend: ¹⁾

Tr. I. = Transit ingress = begin van een overgang.

Tr. E. = Transit egress = einde van een overgang.

Oc. D. = occultation disappearance = begin van eene bedekking.

Oc. R. = occultation reappearance = einde van eene bedekking.

Sh. I. = Shadow ingress = begin van een schaduwovergang.

Sh. E. = Shadow egress = einde van een schaduwovergang.

Ec. D. = eclipse disappearance = begin eener verduistering.

Ec. R. = eclipse reappearance = einde eener verduistering.

De satellieten van *Jupiter* vormen, evenals de groep der planetoiden, een belangwekkend mechanisch stelsel, dat o. a. door de Sitter nauwkeurig bestudeerd is. ²⁾ Van de fysische gesteldheid is echter weinig bekend; zij zijn evenals de planetoiden aan lichtwisselingen onderhevig, waarvan de bijzonderheden nog een onderwerp van studie uitmaken, en op III heeft men donkere vlekken waargenomen, die waarschijnlijk als een equatoriale band den satelliet omgeven.

¹⁾ Men zie voor eene uitvoeriger verklaring o. a. Buiten 1908, pag. 87.

²⁾ W. de Sitter: Discussion of heliometer-observations of *Jupiter's* satellites, made by Sir David Gill and W. H. Finlay, Groningen 1901.

De 5^{de} satelliet kan in zeer gunstige omstandigheden visueel worden waargenomen; daarvoor is dan echter een kijker van minstens 45 cm. opening noodig en moet men bijzondere maatregelen nemen om het licht van *Jupiter* minder te laten overheerschen. Deze satelliet heeft een omloopstijd van bijna 12 uren.

De 6^{de}, 7^{de} en 8^{ste} satelliet zijn alleen fotografisch waarneembaar; wij geven in Fig. 95 in de oorspronkelijke grootte de opname met den spiegeltelescoop ($d = 76$ cm.) te Greenwich, verkregen op den avond van de ontdekking van VIII. De belichtingstijd was 80 min., zoodat de planeet zelf natuurlijk ten eenenmale overbelicht is; de drie satellietenbeelden bevinden zich in de drie cirkeltjes als ronde plekjes, terwijl, daar men op *Jupiter* „volgde,” de sterren korte streepjes hebben getrokken.

De omloopstijd van VI bedraagt 251 dagen, die van VII 260 dagen, die van VIII ongeveer twee jaar; de beweging van den laatsten is echter *tegengesteld gericht aan die der overige*.

In het spectrum van *Jupiter* vinden wij voor het eerst een bijzonder planetenspectrum. Dat het in het roode gedeelte opvallende absorptieverschijnselen zou bevatten, was wel a priori te verwachten; inderdaad treden de waterdampbanden, die in het spectrum van *Mars* tevergeefs gezocht worden, thans vrij krachtig op. Maar bovendien vertoont het spectrum een breeden, krachtigen absorptieband bij λ 6180, die eigen schijnt te zijn aan den dampkring van *Jupiter*.

Saturnus.

De planeet *Saturnus*, in grootte op *Jupiter* volgende (zie de tabel van bldz. 82), kan voornamelijk door haar ringstelsel het merkwaardigste hemellicht van het zonnestelsel genoemd worden. Neemt de planeet daardoor een eigen plaats in in de rij der planeten, in alle andere opzichten onderscheidt zij zich slechts weinig van de planeet *Jupiter*. Evenals deze

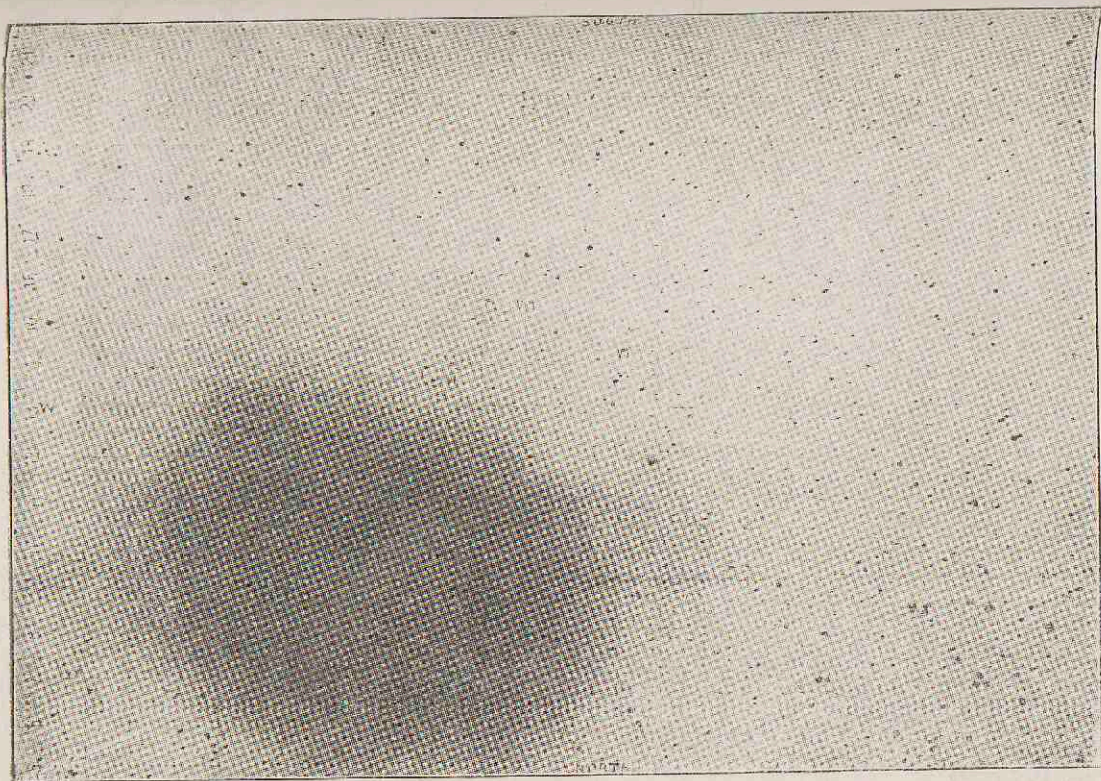


FIG. 95. DE SATELLIETEN VI, VII EN VIII VAN JUPITER, GEFOTOGRAFEERD MET DEN SPIEGELTELESCOOP DER GREENWICH-STERRENWACHT.
(Uit: Knowledge Jrg. 1909).

heeft *Saturnus* een groote albedo, ook haar schijf is aan de randen donkerder dan in het midden, ook zij vertoont, zij het dan ook op minder krachtige wijze, aequatoriale banden. Kleine lichte en donkere plekken echter, zoo kenmerkend voor de *Jupiter*-schijf, worden op *Saturnus* niet waargenomen. Daardoor kan haar omwentelingstijd niet, zooals bij deze, voortdurend worden afgeleid, maar heeft men moeten wachten op het verschijnen van een zeer groote lichte of donkere vlek; dit is in den loop der laatste eeuwen slechts enkele malen voorgekomen en de periode die er uit afgeleid werd was daarbij de volgende:

1794	W. Herschel	10 ^u , 16 ^m .0
1876	Hall	10 ^u , 14 ^m .4
1903	Wilson	10 ^u , 38 ^m .0

Deze uitkomsten kunnen niet anders dan onnauwkeurig zijn, omdat ook hier vlekken geen merkteekens op de oppervlakte, maar dampkringsstoringen zijn, die zeer waarschijnlijk een eigen beweging bezitten, terwijl bovendien, evenals bij *Jupiter*, de omwentelingsperiode wel voor verschillende breedten verschillend zal zijn. Spectrografische waarnemingen gaven voor de aequatoriale beweging 10^u., 14^m.6.

Ook bij deze planeet is, in verband met haar snelle rotatie en haar fysische gesteldheid, de afplatting zeer aanzienlijk, n.l. $\frac{1}{10}$, d. i. iets grooter dan die van *Jupiter*. Haar spectrum komt geheel en al met dat van *Jupiter* overeen.

De wonderlijke gedaante waarin de eerste kijkers *Saturnus* deden zien, werd het eerst door Huygens in 1655 als een ring om de planeet verklaard. Deze ring omgeeft de planeet aequatoriaal, heeft een vasten stand in de ruimte en helt 28° op het vlak der ecliptica; de lijn volgens welke dit het ringvlak snijdt, is zóó gericht dat zij door de zon gaat als *Saturnus* zich bevindt in de sterrenbeelden *Leeuw* en *Waterman*, die zij ongeveer 15 jaar na elkaar bereikt. Eenmaal in 15 jaar staat dus ook de aarde in het ringvlak en kijken hare bewoners a. h. w. tegen de dikte van den ring aan,

welke zij aldus beoordeelen kunnen. Bij die gelegenheid ¹⁾ blijkt echter de ring, behalve voor zeer groote kijkers, volkomen onzichtbaar te zijn, waaruit men kan afleiden dat de dikteafmeting van den ring hoogstens 300 KM. kan zijn. Knipte men een model van den ring uit een stuk gewoon schrijfpapier, welks dikte dus die van den ring zou moeten voorstellen, dan zou men de middellijn van dit model een lengte van ongeveer 40 cm. moeten geven!

Staat *Saturnus* $7\frac{1}{2}$ jaar later in de sterrenbeelden *Stier* of *Schorpioen*, dan zien de bewoners der aarde den ring zoover mogelijk geopend, d. w. z. als een ellips, welker kleine as = $\frac{1}{2}$ \times de groote as is (sin 28° is nagenoeg $\frac{1}{2}$). Deze gelegenheid, die zich binnenkort weder zal voordoen, is gunstig om den bouw van den ring te bestudeeren. Daarbij blijkt dat hij niet enkelvoudig is, maar samengesteld is op de wijze die in Fig. 96 is aangegeven. Van buiten beginnende ontmoet men eerst den ring A, dan een donkere ruimte, naar den ontdekker (1675) de spleet van Cassini genoemd, vervolgens den heldersten ring B, die geleidelijk overgaat in den derden ring C, die veel minder lichtsterk en doorschijnend is, waarom hij den „floers-ring” genoemd wordt. Hij werd in 1850 door Bond in Amerika en Dawes in Engeland nagenoeg gelijktijdig ontdekt. In den helderen ring B zijn enkele aanwijzingen van scheidingen, echter fijner en veel moeilijker zichtbaar dan de spleet van Cassini.

De ringen van *Saturnus* vertegenwoordigen een belangwekkend mechanisch stelsel, waarvan vooral de verklaring van zijn evenwichtstoestand veel hoofdbreken gekost heeft. Reeds Laplace (1749—1827) wees er op dat een vaste, regelmatige ring, die in de omstandigheden van dien van *Saturnus* verkeert, in onstandvastig evenwicht moet zijn en latere onderzoekingen leerden dat ditzelfde voor een vloeibaren ring zou moeten gelden. Hierna heeft Maxwell het door Cassini geuite denkbeeld, dat de ring wel een zwerm

¹⁾ Eene uitvoerige beschrijving van het verloop van dit verschijnsel, dat in 1907—1908 heeft plaats gehad, is opgenomen in *Buiten* 1907, pag. 87.

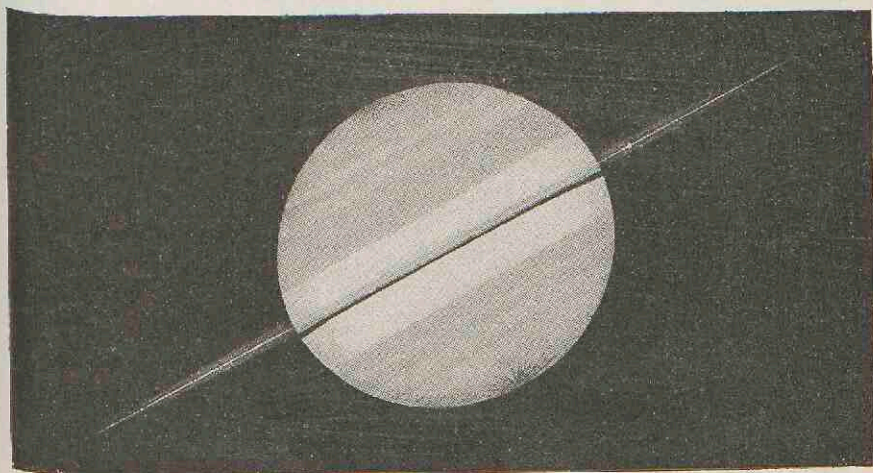


FIG. 96a.

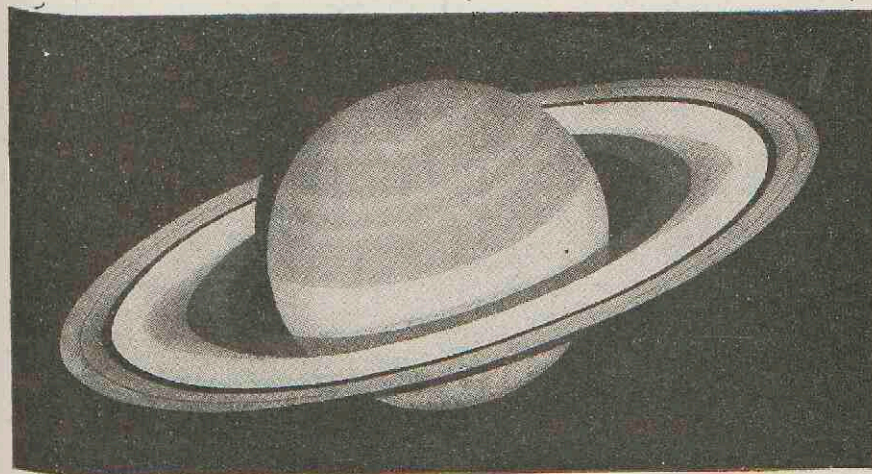
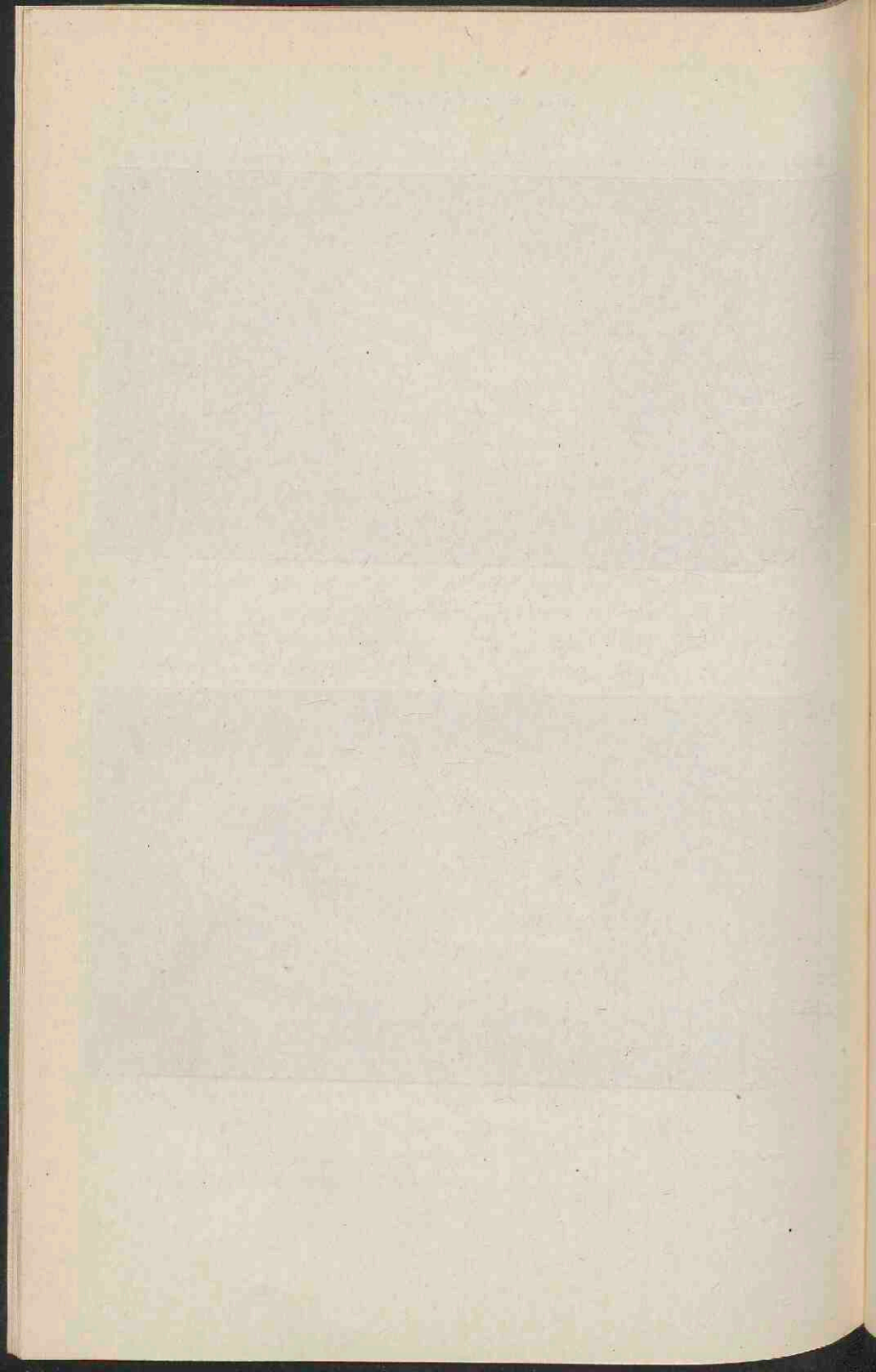


FIG. 96b.



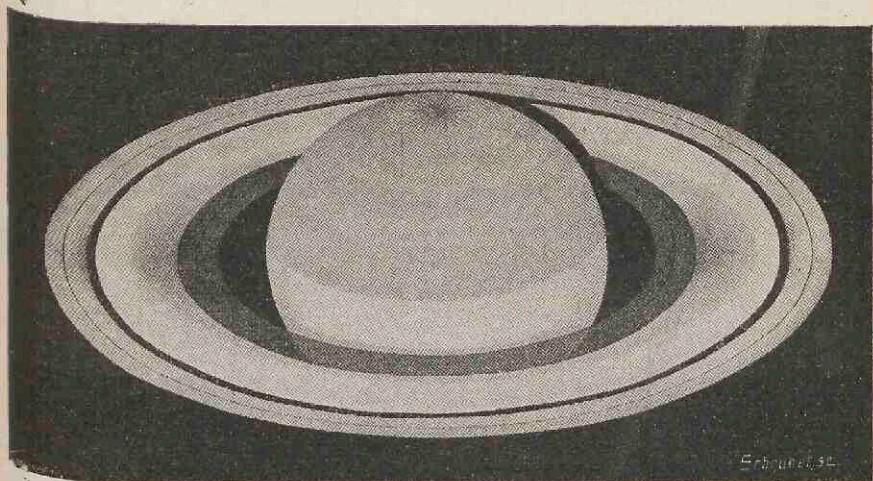


FIG. 96c

FIG. 96. DRIE STANDEN VAN DEN RING VAN SATURNUS
GEZIEN VAN DE AARDE.

(Uit R. Proctor: Saturn and its ring).

satellieten zou kunnen zijn, wederom opgevat en dit vraagstuk mathematisch opgezet. Hij vond inderdaad dat de voorstelling van Cassini den eenigen bouw aangaf, waarbij het everwicht standvastig kon zijn. Op tweeërlei wijze werd dit resultaat proefondervindelijk bevestigd:

1°. leidde Seeliger (München) af, dat als de ring uit een zwerm satellieten bestond, die elkaar beschaduwen en schijnbaar bedekken, zijn helderheid afhankelijk van de richting waarin de schaduwen vallen, en dus veranderlijk moest zijn. Het helderheidsverloop dat hieruit volgde, werd inderdaad in een jarenlange waarnemingsreeks van Müller (Potsdam) teruggevonden.

2°. blijft de ring vaak geheel of gedeeltelijk zichtbaar, als hij (zie bldz. 302) theoretisch onzichtbaar zou moeten zijn. Dit is te verklaren als er openingen zijn, die het licht doorlaten en een aaneengesloten bouw van den ring is daarmee in strijd.

3°. wanneer de ring als een vast lichaam wentelt, is de

lineaire snelheid der buitenste deelen *grooter* dan die der binnenste, omdat zij in denzelfden tijd een grooteren cirkel moeten doorloopen; wanneer de ring bestaat uit een zwerm van satellieten, dan *volgt elk van deze de wetten van Kepler* en de buitenste bewegen zich dus met een *kleinere* snelheid dan de binnenste. Keeler heeft dit in 1895 met den grooten spectroscop der Lick-sterrenwacht onderzocht en uit den schuinen stand der spectraallijnen (die voor het gezamenlijk spectrum van planeet en ring nog geen millimeter lang waren) gevonden dat de tweede onderstelling de juiste is. Deslandres te Parijs en Belopolsky te Pulkowa verkregen later dezelfde uitkomsten. Met welk eene groote mate van nauwkeurigheid dergelijke metingen zelfs onder deze ongunstige omstandigheden verricht kunnen worden, moge blijken uit het feit, dat waar de theorie verlangde dat de radiale snelheden gemeten zouden worden als 21.0 KM./sec. voor de binnenste deelen en 15.5 KM./sec. voor de buitenste, de metingen, gemiddeld voor de drie waarnemers, in werkelijkheid bedroegen 20.7 KM./sec. en 16.0 KM./sec.

Op theoretischen grondslag kunnen nu, zooals op bldz. 286 naar aanleiding van den planetoïdenring uiteengezet is, ook de waargenomen scheidingen in den ring verklaard worden. De totale massa van dit zeer groote aantal satellieten, moet intusschen, daar zij op de eigenlijke satellieten van *Saturnus* niet den minsten storenden invloed uitoefent, zeer klein zijn, kleiner dan $\frac{1}{100000}$ van de massa der moederplaneet, en de enkelingen van den zwerm kan men zich dus bezwaarlijk anders dan als verlichte stofdeeltjes denken.

Fig. 97 geeft zeer goede fotografische opnamen van *Saturnus*, *Jupiter* en *Mars*.

Van *Saturnus* zijn 10 satellieten bekend, waarvan alleen *Titan* in de grootste kijkers een schijfje (van $0''.6$) vertoont, overeenkomende met een werkelijke middellijn van 4400 KM. Zooals reeds op bldz. 286 in het kort besproken werd, kan men, als de hemellichten van het zonnestelsel geen meetbare schijf vertoonen, de ware afmeting alleen vinden uit helderheidsmetingen in verband met eene *wille-*

keurig aangenomen albedo, zoodat de uitkomsten geen hoogen graad van nauwkeurigheid hebben. De mogelijkheid bestaat echter, dat in de naaste toekomst de afmetingen van

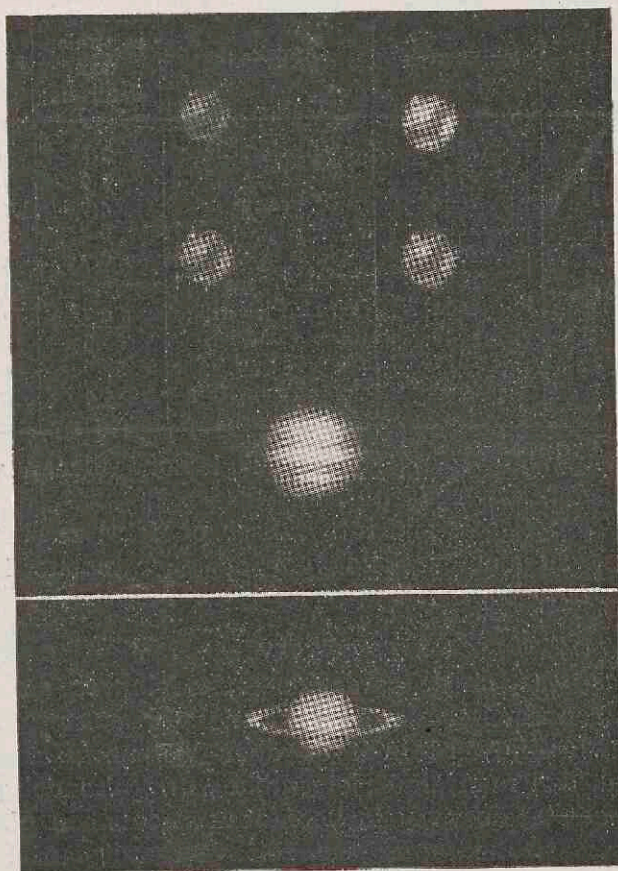


FIG. 97. FOTOGRAFIEËN VAN MARS, JUPITER EN SATURNUS.

(Uit: Journal of the Royal Astronomical Society of Canada Jrg. 1911).

dergelijke hemellichten bepaald zullen worden door toepassing eener *fysische* methode, n.l. die der *buiging van het licht*.

Deze methode die hier niet nader verklaard kan worden, is tot nu toe slechts op de, wel is waar veel grootere, vier heldere satellieten van *Jupiter* met goed gevolg toegepast, doch zal ongetwijfeld tot andere satellieten worden uitgebreid.

Naam	Ontdekking	Ontdekker	Afstanden in stralen van Saturnus	Omloops- tijden
Mimas	1789	W. Herschel	3.1	od 23 ^u
Enceladus	1789	"	3.9	1 9
Tethys	1684	Cassini	4.9	1 21
Dione	1684	"	6.2	2 18
Rhea	1672	"	8.7	4 12
Titan	1655	Huygens	20.2	15 23
Themis	1904	W. H. Pickering	24.2	20 20
Hyperion	1848	Bond	24.5	21 7
Japetus	1671	Cassini	58.9	79 8
Phoebe	1898	W. H. Pickering	214.4	550 11

Bovenstaande tabel geeft enkele bijzonderheden van de 10 satellieten van *Saturnus*.

Themis en *Phoebe* zijn fotografisch ontdekt; ze staan aan de grens van zichtbaarheid voor de allergrootste kijkers. *Phoebe* is *leruglopend*.

Uranus.

Uranus was, na de aarde, de eerste planeet, die als lid van het zonnestelsel aan de 5 klassieke dwaalsterren werd toegevoegd. Zij werd in 1781 door William Herschel in Engeland, den man die de eigenlijke „sterrenkunde” grondvestte, waar tot dusverre in hoofdzaak slechts een *planetenkunde* bestaan had, met een zelf vervaardigden, kleinen spiegeltelescoop ontdekt. Haar loopbaan kon, daar oudere, „onbewuste” waarnemingen tot het jaar 1690 terug gingen, dadelijk met groote nauwkeurigheid worden vastgelegd. De gemiddelde afstand bleek te zijn 19.6 (aarde = 1) terwijl een voortzetting van de in 1766 door Titius gegeven reeks 19.2 gaf.

Uranus kan in het gunstigste geval juist even zichtbaar worden voor het ongewapende oog; hare groote albedo (0.7) en de aanwezigheid van krachtige absorptiebanden in haar spectrum, waarvan er enkele met die van de spectra van *Jupiter* en *Saturnus* overeenkomen, maar verscheidene andere van onbekenden oorsprong zijn, hebben geleid tot de overtuiging dat ook deze planeet ons niet veel meer dan een dichten dampkring toont. De rotatiesnelheid daarvan is na vele vergeefsche pogingen in 1911 door Slipher (Lowell-observatorium) spectrografisch afgeleid. De spectrogrammen, die een belichtingstijd van 14 uur behoeften en een lengte van slechts 11 mm. hadden, leerden dat *Uranus* rond hare as wentelt in tegengestelde richting als de andere groote planeten in den tijd van $10\frac{3}{4}$ uur.

Uranus heeft vier satellieten, waarvan er twee (*Oberon* en *Titania*) door W. Herschel, en de twee andere (*Ariël* en *Umbriël*) door Lassell (op Malta 1851) gevonden zijn. Zelfs de helderste daarvan, *Titania*, is slechts in een kijker, grooter dan 25 cm., zichtbaar.

Zij vertoonen de opvallende bijzonderheid van zich te bewegen in vlakken die een groote helling (82°) op de ecliptica hebben, en hunne banen af te leggen in een richting tegengesteld aan die welke in het zonnestelsel overheerschend is.

Neptunus.

De planeet *Neptunus* werd in 1846 door Galle te Berlijn ontdekt, naar aanwijzingen van Leverrier te Parijs aangaande de plaats aan den hemel waar zij vermoedelijk te vinden zou zijn. Voor het eerst in 1821, bij het samenstellen van planetentafels door Bouvard, werd n.l. opgemerkt dat de loopbaan van *Uranus* onregelmatigheden vertoonde; dit bleek nog duidelijker bij het samenstellen van nieuwe planetentafels in 1845, en hierop zetten zich twee eminente wiskundigen, Leverrier (1811—1877) en Adams (1819—1892), aan den arbeid om te trachten de elementen te berekenen van eene nog onbekende planeet, verder weg dan *Uranus*, op rekening waarvan volgens Bouvard de door hem waargenomen onregelmatig-

heden gesteld konden worden. Galle vond de planeet op een afstand van slechts 52' van de door Leverrier berekende plaats; het bleek later dat zij reeds in 1795 door de Lalande als ster der 7^{de} grootte was gecatalogiseerd.

Neptunus is nooit voor het bloote oog zichtbaar en vertoont alleen in kijkers, waarvan de opening grooter is dan 10 cm., duidelijk een schijf. Noch van hare rotatie, noch van hare fysische gesteldheid is overigens iets met zekerheid bekend; in het voor een nauwkeurig onderzoek eigenlijk te zwakke spectrum schijnen dezelfde absorptiebanden als die van het *Uranus*-spectrum op te treden.

Van *Neptunus* is één satelliet bekend, die een omloopstijd heeft van 5^d 21^u, en alleen in kijkers, grooter dan 30 cm., zichtbaar is.

Het is niet van belang ontbloot, te weten, of het planetenstelsel werkelijk begrensd is door de banen van *Mercurius* en *Neptunus*, of dat zich wellicht buiten die grenzen nog onbekende planeten bevinden. Vooral bij de binnenste grens is er alleszins reden deze vraag te stellen, omdat enkele der elementen van de *Mercurius*baan onregelmatigheden vertoonen, die aan den storenden invloed van een onbekende planeet geweten zouden kunnen worden, die een half zoo groote massa had als *Mercurius* en een gemiddelden afstand kleiner dan deze. Op tweeërlei wijze zou zulk een hemellicht waargenomen kunnen worden: 1°. tijdens een van zijn ongetwijfeld talrijke overgangen over de zonneschijf; 2°. tijdens een totale zonsverduistering. Hoewel enkele meestal ongeoeffende waarnemers wel eens gemeend hebben, een zich snel bewegend donker vlekje op de zonneschijf geprojecteerd te zien, terwijl tijdens eene eclips wel eens een enkel bericht is ingekomen aangaande eene nabij de zon geziene onbekende ster, zoo worden deze waarnemingen toch algemeen als niet voldoende gedocumenteerd opgevat en men neemt voorloopig aan dat eene z. g. „*intra-mercuriëele planeet*” niet bestaat. Fotografische opnamen van de naaste omgeving

der totaal verduisterde zon hebben sterren van de 9^{de} grootte getoond, zoodat zulk eene planeet, mocht zij er wezen, veel geringere afmetingen zou moeten bezitten dan de theorie verlangt.

Voor de buitenste grens van het zonnestelsel is zoowel het theoretische als het practische onderzoek veel moeilijker. Theoretisch kan men twee wegen inslaan, door de elementen der onbekende planeet af te leiden: 1°. uit de *zeer geringe* onregelmatigheden in de loopbanen van *Uranus* en *Neptunus*; 2°. uit de storingen van kometenbanen, nadat die der bekende groote planeten zijn toegepast. Deze berekeningen hebben wel eens aanleiding gegeven tot een min of meer gewaagde voorspelling, maar deze is nooit uitgekomen; het bestaan van een „*trans neptunische*” planeet is niet aangetoond. Het practisch onderzoek zal voornamelijk door toepassing der fotografische methoden moeten plaats hebben.



XIV DE KOMETEN EN METEOREN

WIJ hebben in het Vijfde hoofdstuk geleerd dat alle planeten zich ten gevolge van de zonne-attractie voortbewegen in ellipsen, waarvan de zon een der brandpunten is. Hieruit moet niet worden afgeleid dat een hemellicht *altijd* onder dezen invloed een ellips gaat beschrijven. Uit de wet van *Newton* volgt alleen dat zijn baan een kegel-snede moet zijn en dit geeft aanleiding tot drie mogelijkheden.

Beschouwen wij (Fig. 98) een op een horizontaal vlak geplaatsten cirkelvormigen kegel, dan teekent een vlak, dat evenwijdig aan één der beschrijvende lijnen daarvan loopt, op den kegelmantel een kromme lijn af die *GH* tot as heeft. Deze kromme heet een parabool; het is een open kromme d. w. z. de twee takken ontmoeten elkaar pas in het punt dat op de as oneindig ver van *G* verwijderd is.

Laat men het snijvlak een kleineren hoek met het grondvlak maken, waardoor het alle beschrijvende lijnen van den kegel snijden gaat, dan wordt de op den kegelmantel afgeteekende kromme „gesloten.” Zij heet nu een ellips (as *CD*) en in het bijzondere geval dat het snijvlak horizontaal genomen wordt een cirkel (middellijn *AB*).

Laat men het snijvlak een steileren stand innemen dan *GH*, dan teekenen zich op de beide deelen van den kegel-

mantel (onder en boven den top) takken van een open kromme af, die men een *hyperbool* noemt. Fig. 98 geeft slechts één der takken van een bijzonder geval daarvan n. l. van een hyperbool, waarvan de as *E F* evenwijdig aan

de kegelas loopt; in dit geval heet de hyperbool *gelijkzijdig*.

Welke van deze drie kegelsneden een lichaam onder de attractie der zon gaat beschrijven hangt af van het *bedrag* der snelheid die het bezit. Een parabool zou beschreven worden indien deze snelheid even groot was als die welke het in dat punt zou hebben als het vanuit het oneindige naar de zon was komen vallen. Deze snelheid heet „de *parabolische* snelheid;” ze bedraagt ongeveer 7 KM. per sec. op den afstand van *Neptunus* en 42 KM. per sec. op dien van de aarde.

Een lichaam dat op een bepaalden afstand van de zon een snelheid bezit *kleiner* dan de voor dien afstand geldende *parabolische* snelheid, zal onder de attractie der zon een *ellips* gaan beschrijven. Is die snelheid *grooter* dan de *parabolische* dan zou de baan een *hyperbool* worden.

De geringste verandering van snelheid tijdens het beschrijven van een *parabolische* baan doet deze overgaan in een *elliptische* of *hyperbolische*. De *soort* van kegelsnede wordt dus door de snelheid alleen

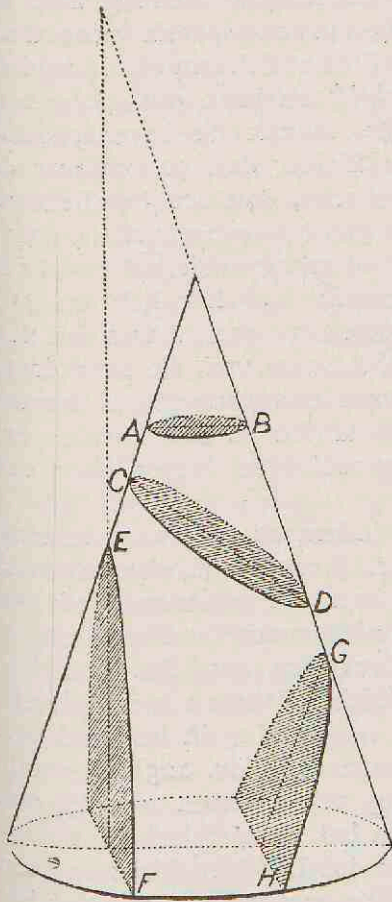


FIG. 98. DE KEGELSNEDEDEN.

bepaald, de *gedaante* der dus bepaalde baan hangt, behalve van de snelheid, af van de richting die deze heeft ten opzichte van de richting naar de zon. Denken wij ons bijv. een lichaam aan de grens van ons zonnestelsel in beweging; staat de richting van die beweging loodrecht op de richting naar de zon en staat de snelheid bovendien in een bepaalde verhouding tot de parabolische, dan beschrijft het lichaam als de zonne-attractie gaat werken een *cirkel*, een baan dus die geheel buiten de *Neptunus-baan* valt. Maken de bovenbedoelde richtingen met elkaar hoeken kleiner dan 90° en was de snelheid kleiner dan de parabolische, dan zou het lichaam ellipsen beschrijven met steeds grootere excentriciteit, naarmate de hoek kleiner werd. Grootere excentriciteit beteekent echter kleinere periheliumafstand; had het lichaam een beweging die nagenoeg naar de zon toe gericht was dan zou de ellips zeer smal worden, het lichaam zou, die baan doorloopende de centrale deelen van ons zonnestelsel komen bezoeken, op zeer korten afstand om de zon heenloopen, *de aardbaan kruisen* en dus groote kans loopen door ons gezien te worden.

Dergelijke hemellichten zijn inderdaad in het zonnestelsel in grooten getale als *k o m e t e n* (haarsterren, staartsterren) aanwezig. Zij openbaren zich aan den waarnemer als een flauw lichtend vlekje, uiterlijk niet verschillend van de z. g. „nevelvlekken,” die bij honderdtallen aan den hemel te vinden zijn, maar zich ten opzichte daarvan kenmerkende door eene meestal zeer snelle verplaatsing in het veld van den kijker. Heeft men micrometrisch (bldz. 125) de plaats van dit vlekje aan den hemel op drie avonden bepaald, dan kan men daaruit de loopbaan in het zonnestelsel vrij nauwkeurig aangeven. Blijkt hieruit dat het hemellicht de zon en de aarde nadert, dan kan men er zeker van zijn dat het vlekje in helderheid zal toenemen en een verdichting zal krijgen, die men de *k e r n* noemt, ter onderscheiding van het minder dichte omhulsel, de *k o m a*. Deze kern wordt helderder, de nevelmassa breidt zich uit, en als de afstand tot de zon nóg kleiner wordt, begint de komeet z. g. „actief” te worden.

Kometenstof maakt zich los van de kern in de richting der zon, buigt zich meestal spoedig om en vormt in een richting, die vrijwel van de zon afgewend is, den z. g. „s t a a r t.”

Hoe dichterbij de zon, hoe actiever het proces; de grootste lengte van den staart wordt dan echter waargenomen, kort nadat de komeet om de zon is heengegaan, omdat het eenigen tijd duurt eer de staartvorming voltooid is. Na den periheliumdoorgang heeft het tegenovergestelde proces plaats; de komeet wordt minder actief, de kern zwakker, de staart korter en ten slotte is de komeet weder een flauw lichtgevend nevelvlekje als bij hare ontdekking.

Daar de banen van deze hemellichten niet zooals dit met die van planeten het geval is, geringe hellingen op de ecliptica hebben, maar hunne baanvlakken dat der aardbaan onder alle mogelijke hoeken snijden, kan een stelselmatig zoeken naar kometen in een bepaalden hemelgordel, zooals dat voor de planetoïden gebruikelijk is, niet plaats hebben en daarmede vervalt, althans voor geheel nieuwe kometen de fotografische methode, waardoor men aangewezen is op het visueel doorzoeken van den hemel met een kometen-zoeker, zooals die op bldz. 132 is afgebeeld. Een catalogus van nevelvlekken is hierbij onmisbaar, ja het ontstaan daarvan dagteekent uit den tijd, toen men telkens in een nevelvlek een komeet meende ontdekt te hebben en tijd-roovende plaatsbepalingen onvermijdelijk waren. Thans zijn alle nevels, die in een kometenzoeker zichtbaar zijn, gecatalogiseerd en een eventueel opgemerkt vlekje, dat niet in dezen catalogus voorkomt, is dus zeer waarschijnlijk een komeet; het constateeren van de beweging heft dan dien-aangaande allen twijfel op.

Het ontdekkingswerk aan kometenzoekers geschiedt door beroeps- of liefhebbersterrenkundigen, die een groot deel van hunnen beschikbaren tijd daaraan besteden en daarom wel eens „kometenjagers” genoemd worden. Geheel willekeurig gaan zij daarbij niet te werk; bij voorkeur wordt in den vooravond in het Westen, in den na-nacht in het Oosten gezocht, omdat in de nabijheid van de zon een

komeet helderder is en dus gemakkelijker ontdekt kan worden.¹⁾ Het aantal ontdekkingen is gemiddeld drie of vier per jaar. Men benoemt deze hemellichten aanvankelijk met vermelding van de letters a, b, c enz. in de volgorde van de ontdekking achter het jaartal geplaatst; later, als de baanelementen bekend zijn, vervangt men deze letters door de cijfers I, II, III enz., in de volgorde vanden periheliumdoorgang.

Zoodra een „kometenjager” een komeet ontdekt heeft, seint hij dit in cijferschrift aan de „Astronomische Zentralstelle” te Kiel, welke het bericht in hetzelfde cijferschrift verder verspreidt. Zoodra er drie goede plaatsbepalingen verkregen zijn, berekent men een voorloopige baan, ten einde uit de elementen daarvan de plaatsen der komeet aan den hemel voor de naaste toekomst te voorspellen. Als vaste regel geldt, dat een komeet zich bij hare ontdekking reeds in het binnenste deel van het zonnestelsel, meestal zelfs *ver binnen de Marsbaan* bevindt. De eerst berekende baan is nagenoeg altijd een parabool; dit beteekent *niet* dat de komeet uit het oneindige gekomen is om, na een boog om de zon beschreven te hebben, weer naar het oneindige te verdwijnen; het beteekent eenvoudig dit: daar de elementen eener parabolische baan, doordat een daarvan (excentriciteit = 1) bekend is, veel gemakkelijker uit de drie gegeven plaatsen te berekenen zijn, dan die van een elliptische baan, en de ondervinding geleerd heeft, dat elliptische kometenbanen bijna altijd zeer langgerekt zijn en nabij het perihelium ongeveer een parabolisch beloop hebben, zoo stelt men zich, althans voor de naaste toekomst, met zulk een baan tevreden. Is de komeet niet meer waarneembaar, na een tijdsverloop sedert de ontdekking, dat van enkele weken tot een paar jaar uiteen kan loopen, dan wordt met behulp van *alle* beschikbare waarnemingen een definitieve baan berekend en dan blijkt meestal, dat de waarnemingen

¹⁾ Staat een komeet *werkelijk* dicht bij de zon, dan staat ze ook *schijnbaar* dicht daarbij, maar staat omgekeerd een komeet bijv. in de avondschemering, dan is het niet zeker dat zij ook in werkelijkheid dicht bij de zon staat.

even goed of beter door een langgerekte ellips worden voorgesteld, met zoo groote excentriciteit echter en met zulk een langen omloopstijd (eenige honderden jaren bijv.) dat men practisch even goed zeggen kan: de komeet doorloopt een parabool. Een dergelijk hemellicht echter loopt op zijn weg naar de grenzen van ons zonnestelsel, vooral als de helling van zijn baan gering is, zooveel kans door storingen der groote planeten de elementen van zijn baan veranderd te zien, dat uit een elliptische baan met een periode van 200 of meer jaren eene eventueele voorspelling van een terugkeer op een bepaald tijdstip en op een bepaalde plaats aan den hemel, niet de minste waarde heeft. Door een storing als hierbedoeld kan een parabolische snelheid sterk verminderd worden, waardoor de komeet een merkbaar gesloten baan gaat beschrijven. Zij kruist dan dus veel eerder weder de loopbanen der groote planeten; wordt nu bij deze en volgende terugkeeren de snelheid wederom verminderd, dan wordt telkens de baan minder langgerekt om ten slotte na vele terugkeeren, waarmede desnoods verscheidene eeuwen gemoeid kunnen zijn, haar tweede ombuigingspunt (aphelium) te krijgen en te behouden in de onmiddellijke nabijheid der loopbaan van die planeet, die de hoofdoorzaak was van de telkens verminderende snelheid.¹⁾ Dan eerst kan men op ondubbelzinnige wijze zeggen dat de komeet tot ons zonnestelsel behoort. De baan is een ellips, de omloopstijd in elk geval kleiner dan 80 jaar en het voorspellen van den terugkeer geen waan meer. In deze omstandigheden spreekt men van een *periodieke komeet* en benoemt ze naar hem die haar ontdekt heeft of hare definitieve baan berekende. De planeet *Jupiter* met hare enorme massa speelt bij dit z. g. „vangen” van kometen de meest belangrijke rol; niet minder dan 13 kometen behooren zeker en verscheidene andere zeer waarschijnlijk tot de „*Jupiter-kometen*”; deze hebben omloopstijden van 5 tot 8 jaar. De kometen die hun *aphelium* hebben dicht bij de loopbaan van *Saturnus*

¹⁾ Er zijn enkele gevallen bekend, waarbij dit proces na slechts 2 of 3 omloopen voltrokken werd.

keeren na ongeveer 13 jaar, die waarvoor dit het geval is bij de loopbaan van *Uranus* na ongeveer 33 jaar in onze nabijheid terug, terwijl de omloopstijden der *Neptunus*-kometen ongeveer 75 jaar bedraagt. In 1909 en 1910 hebben wij in de beroemde komeet van Halley den terugkeer bijgewoond van een *Neptunus*-komeet, in 1912 dien van een der *Saturnus*-kometen (de komeet van Tuttle), in 1910 dien van een der *Jupiter*-kometen (de komeet van Faye). Vele periodieke kometen moeten intusschen, als de invloed der groote planeten een *vermeerdering* van snelheid tengevolge heeft, haar karakter van periodieke komeet weder verliezen; van vele *Jupiter*-kometen is zelfs de eerste terugkeer niet waargenomen en het blijft altijd opnieuw een verrassing of de voorspelling uitkomt, ook al is bij de berekening zooveel mogelijk met de storende invloeden rekening gehouden. Het volgende overzicht van kort periodische kometen moge dit verduidelijken. Hierin stelt T. voor de omloopstijd in jaren, A het aantal waargenomen verschijningen, L het jaar van de laatste, of eerst komende verschijning.

Komeet van	T	A	L	Opmerkingen
Encke ¹⁾	3.3	32	1911	
Tempel ₂	5.2	5	1909	In 1904 gezien.
Tempel-Swift	5.5	3	1914	In 1902 niet, in 1908 wel gezien.
Winnecke	5.5	8	1909	In 1892 en 1898 gezien, in 1904 niet.
Brorsen	5.6	5	1912	Sedert 1895 niet meer gezien.
Tempel ₁	6.0	2	1910	Sedert 1879 niet meer gezien.
Perrine	6.5	2	1909	In 1903 niet gezien.
Finlay	6.5	4	1913	
d'Arrest	6.6	6	1910	In 1903 niet gezien.
Wolf	6.8	3	1912	In 1905 niet gezien.
Holmes	6.9	3	1913	Altijd verschenen.
Brooks ₂	7.1	3	1910	
Faye	7.4	9	1910	Alleen in 1903 niet gezien.

¹⁾ Deze komeet rekent men een afzonderlijke plaats in te nemen; haar aphelium ligt ver binnen de baan van *Jupiter*.

Wat op bldz. 315 over het kometenzoeken gezegd is, geldt natuurlijk niet voor de periodieke kometen; het tijdstip van haar eventueele wederverschijning en de plaats aan den hemel waar dit zal geschieden, zijn ongeveer bekend en de fotografie kan nu de behulpzame hand bieden. Zoo is in 1909 de komeet van Halley, nadat aangaande haren terugkeer eene op nauwkeurige berekeningen steunende voorspelling gedaan was, *fotografisch* teruggevonden als een vlekje, welks helderheid aan de grens der allergrootste kijkers stond.

Het aantrekkelijke van kometenverschijningen is gelegen in de, zoowel blijde als teleurstellende verrassingen, die hare kortstondige zichtbaarheid ons rijkelijk biedt. Alle kometen hebben dit gemeen, dat van hare kernen, hetzij voortdurend, hetzij periodiek, uitstromingen van lichtende kometenstof plaats heeft en dat de staartvorming en in het algemeen het geheele „activiteitsproces” een functie is van den afstand tot de zon. Maar de wijze waarop dit proces verloopt is telkens een verrassing. De staartvorming kan geleidelijk plaats hebben, maar ook plotseling, ze kan zelfs geheel wegblijven (bij periodieke kometen is dit regel), en op een afstand van de zon waarop de eene komeet een fraaijen staart ontwikkelt, blijft de andere volkomen werkeloos. Soms heeft een komeet één, soms meer staarten (die van het jaar 1744 had er zes), nu eens is de staar' gelijkmatig gevormd, dan weer komen er verdichtingen en plotselinge scheuringen in, soms is hij sterk actinisch, zoodat een fotografische opname een sterk ontwikkelden staart vertoont, waarvan visueel in de grootste kijkers nauwelijks iets te zien is, een andermaal heeft het omgekeerde plaats, en nadat verscheidene achtereenvolgens ontdekte kometen nagenoeg hetzelfde spectrum vertoond hebben, verschijnt er een komeet met een geheel ander spectrum. Langzamerhand heeft men echter toch gegevens verkregen, waardoor men zich een min of meer bevredigend beeld van deze geheimzinnige hemellichten heeft kunnen vormen; die gegevens zijn de volgende:

a. de massa is zeer gering, het volume zeer groot, het hemellicht daardoor van een haast onbegrijpelijke ijlheid. Een komeet moge zeer nabij een der planeten komen, of zooals in 1770 is voorgekomen, haar weg nemen door het satellietenstelsel van *Jupiter*, nooit is het effect van hare door de massa bepaalde attractie op eenigerlei wijze aangetoond kunnen worden. Uit het feit van het enorm groote volume, grooter soms dan dat der zon, volgt dan de geringe dichtheid vanzelf, maar deze blijkt bovendien ten duidelijkste uit het feit, dat het licht der sterren, wanneer het zijn weg neemt door den staart en zelfs door den kop, daarin noch gebroken noch geabsorbeerd wordt; de dichtheid van een kometenkop moet met die van een luchtpomp-luchtledig te vergelijken zijn.

b. het spectrum van den kop is een z. g. bandenspectrum (bldz. 147), dat van den staart is als regel, behalve vlak achter den kop, te zwak voor spectroscopisch of spectrografisch onderzoek. Eerst de toepassing der fotografie heeft dit onderzoek vruchtdragend kunnen maken; zooals wij in het Negende hoofdstuk bespraken, kan men wegens de geringe lichtsterkte van het spectrum geen nut hebben van lange kijkers met groote dispersie en vele lichtabsorbeerende lenzen en prisma's, en gebruikt daarom (sedert 1902) prismacamera's (bldz. 142) met korten brandpuntsafstand. Fig. 99 geeft een op deze wijze verkregen kometenspectrum; het bestaat eenvoudig uit zooveel naast elkaar gerangschikte beelden van de komeet, als er enkelvoudige stralingen in het door haar uitgezonden licht voorkomen. De voornaamste daarvan zijn drie emissiebanden in het geel, groen en blauw, vrij scherp begrensd naar de roode en geleidelijk uitvloeiende naar de violette zijde van het spectrum; deze banden zijn zichtbaar op een continuen ondergrond van veel geringer intensiteit, dien men gewoon is, vooral nadat de fotografie daarin Fraunhofersche lijnen heeft kunnen toonen, aan teruggekaatst zonlicht toe te schrijven.

Dit is het *regelmatige* kometenspectrum, maar ook hier treden weer vele grilligheden op. Soms voegen zich, als de

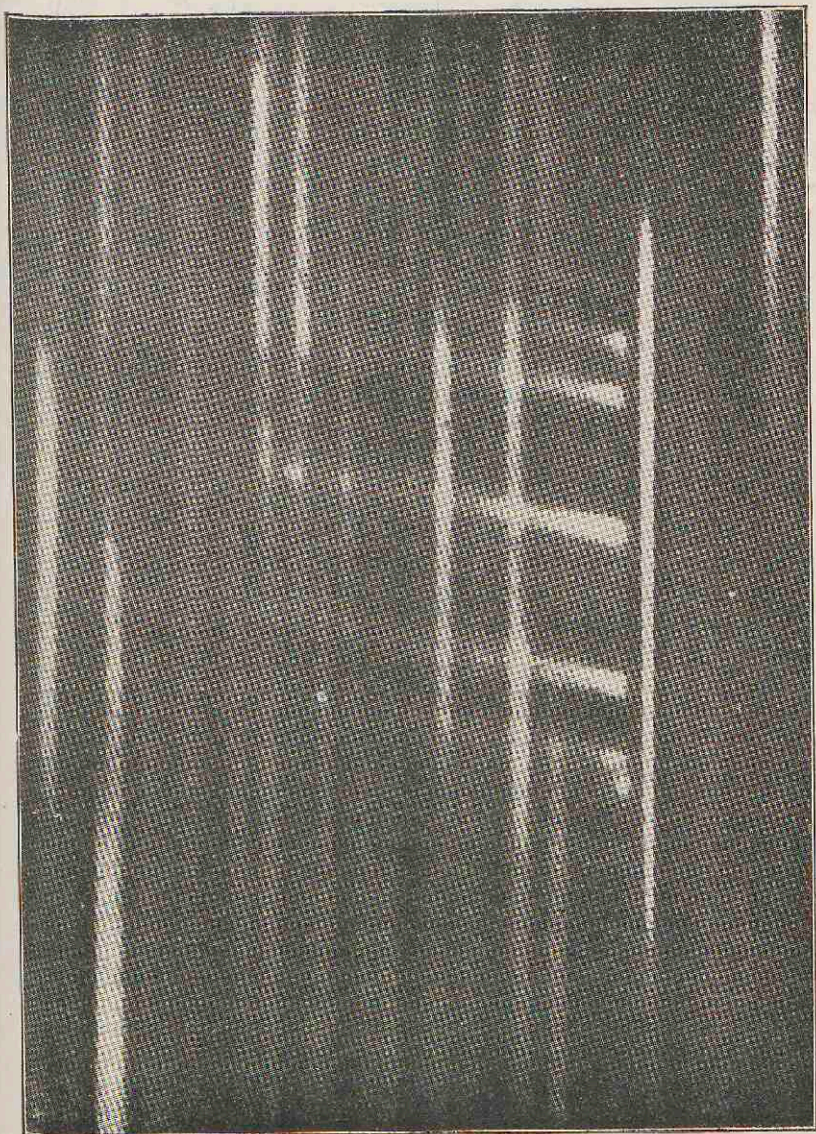
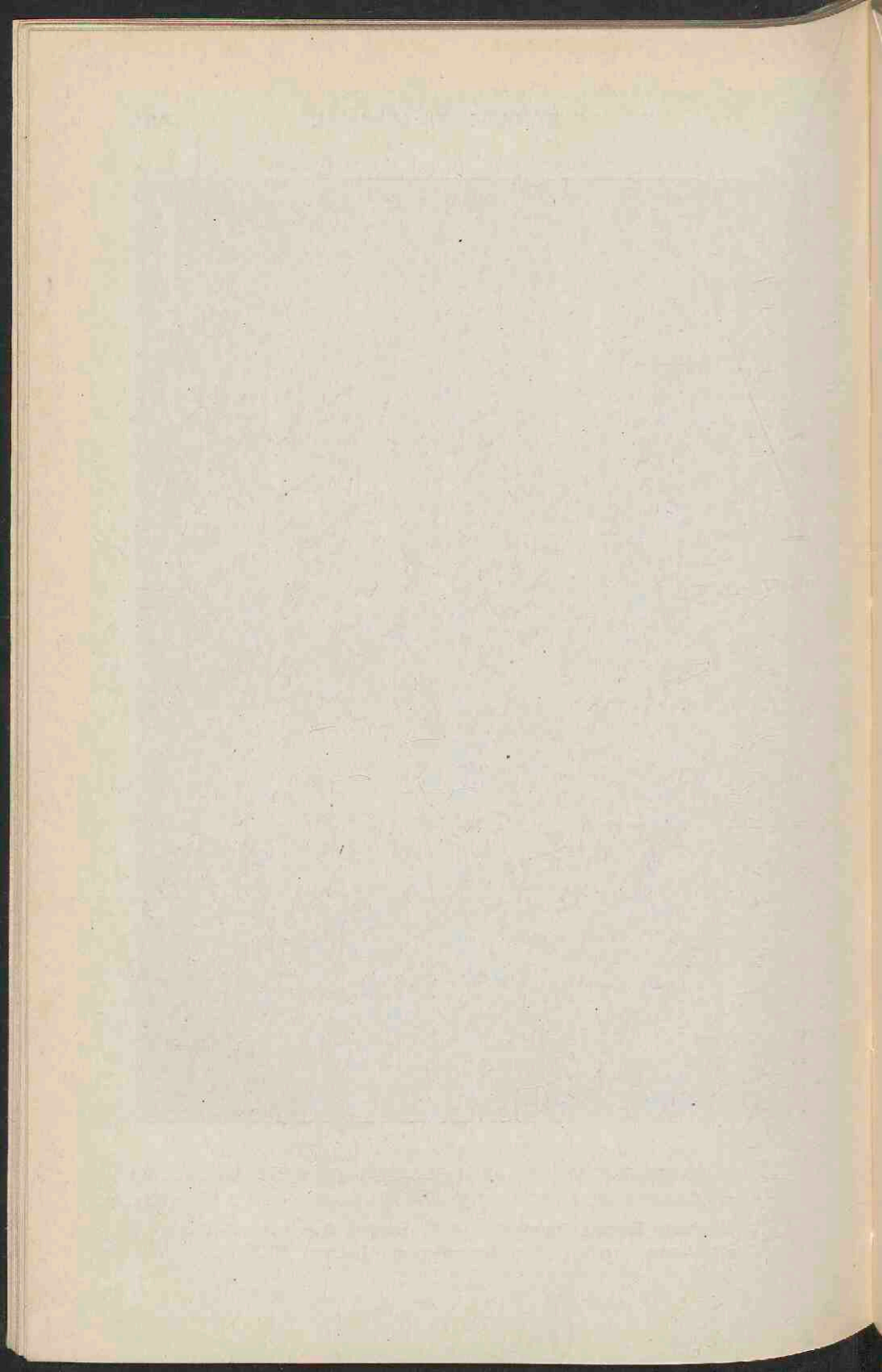


FIG. 99. KOMETENSPECTRUM EN STERRESPECTRA GEFOTOGRAFEERD MET EEN PRISMA-CAMERA. BELICHTINGSTIJD $3^u 57^m$. VERGROOTING 4.7 MAAL.

(Uit: A. de la Baume Pluvinel and F. Baldet, Spectrum of Comet Morehouse (1908c) *The Astrophysical Journal* XXXIV).



komeet zeer dicht bij de zon gekomen is, bij de banden heldere lijnen van natrium en magnesium en wellicht ook die van ijzer; nu eens wordt bij het naderen van de zon het continue spectrum helderder, dan weer niet, soms is er zelfs (bijv. in het spectrum van de komeet 1908c) geen spoor van eenigen continuen ondergrond te vinden; vaak ook zijn er andere banden dan die van het regelmatige spectrum waar te nemen. Dit laatste is volkomen gelijk aan dat van de blauwe vlam van een Bunsen-brander; het leert dat de lichtgevende bestanddeelen van een komeet bestaan uit verbindingen van koolstof met waterstof, zuurstof en stikstof; vooral één bepaalde kool-stikstofverbinding, het cyaan, is de laatste jaren in kometenspectra herhaaldelijk waargenomen. Daar overigens de koolstofverbindingen ook in laboratoria moeilijk gescheiden te bestudeeren zijn, is er altijd eenige onzekerheid in de meer nauwkeurige interpretatie van kometenspectra blijven bestaan, welke er door de nieuwere fotografische methode niet op verbeterd is; deze levert wel heldere, maar zeer ineengedrongen spectra, die voor nauwkeurige metingen van golflengten weinig geschikt zijn.

c. De directe fotografie heeft over het gedrag der kometen een nieuw en uitvoerig licht verspreid. Was het eertijds gebruikelijk een komeet eens op een avond in te stellen, hare plaats te bepalen en eenige korte aantekeningen over haar uiterlijk te maken, de fotografie heeft geleerd dat in de meeste kometen het activiteitsproces *voortdurend* van fase verandert en dat het terwille van een uitvoerige en nauwgezette levensbeschrijving noodzakelijk is, zulk een hemellicht fotografisch a. h. w. niet meer los te laten. De wijze waarop kometenstof zich losmaakt van de kern en uitstroomt naar den staart, de wijze waarop de koma in den kop geplaatst is en de periodieke standwisselingen die daarbij vaak optreden, vooral echter de grillige staartprocessen, het zich verdeelen in tweeën of drieën, het optreden van verdichtingen die zich plotseling oplossen, het loslaten van sommige staartdeelen zóó onverwacht en plotseling, dat het den indruk maakt alsof de staart eensklaps een weerstand heeft ondervonden, dit

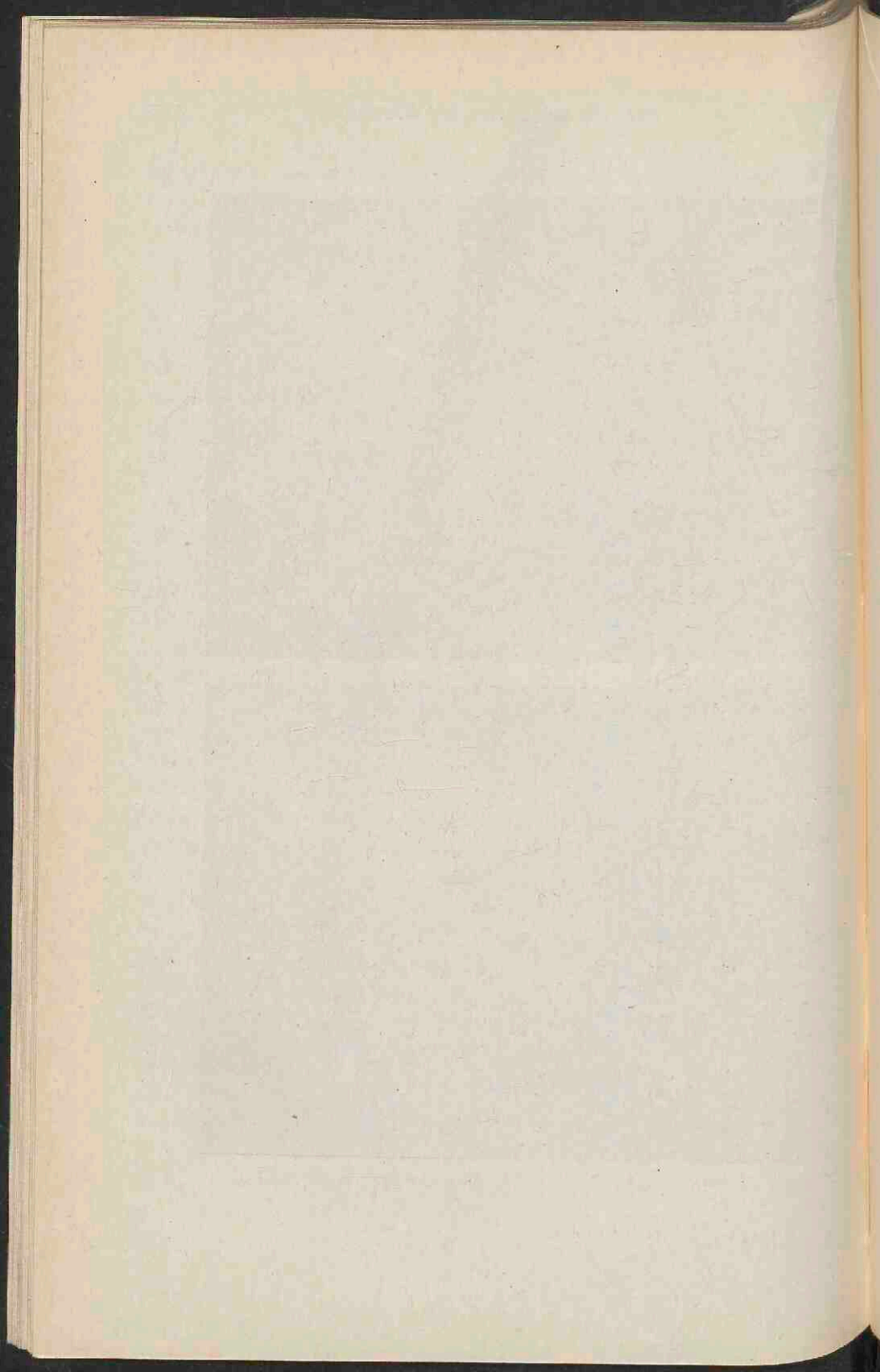
zijn bijna alle episoden uit een kometenbestaan, die eerst door onafgebroken reeksen van fotografieën, met tusschenpoozen van enkele uren genomen, bekend zijn geworden. Fig. 100 toont twee opnamen door Barnard van de komeet 1908c, met slechts drie uur tusschenpooze verkregen; de rechtsche foto toont duidelijk hoe het ijlere deel van den staart bezig is los te geraken. Bij dergelijke opnamen „volgt” men op de kometenkern, zoodat de sterrestreepjes in de richting van de schijnbare beweging der komeet loopen; de lengte van die streepjes hangt af van de schijnbare snelheid der komeet en van den belichtingstijd.

d. De visueele bestudeering van den kop eener komeet heeft sedert lang geleerd dat zich kometenstof van de kern uit eerst in de richting van de zon beweegt, en na een betrekkelijk korten weg afgelegd te hebben, onder den invloed van de een of andere van de zon uitgaande *afstootende* werking ombuigt in tegenovergestelde richting, aldus aanleiding gevende tot een vaak zeer regelmatig, lichtend omhulsel, dat in enkele gevallen uit meerdere lagen bestaat, in andere gevallen niet tot volle ontwikkeling schijnt te komen en den indruk kan maken van een staartvorming *naar de zon toe*. Een werkelijke kometenstaart is echter van de zon afgewend en vertoont doorgaans een geringe kromming, die bij de verlengde richting zon-komeet achterblijft. Mathematisch is deze gedaante gemakkelijk te verklaren als men aanneemt dat op eenigen afstand van de kern de deeltjes onder den invloed van de zonne-werking *zelfstandige* banen m^I , m^{II} enz. (Fig. 101) gaan beschrijven. Verbindt men nu de plaatsen 1, 2 enz., die de achtereenvolgens losgelaten deeltjes *op hetzelfde oogenblik* elk in zijn (hyperbolische) baan innemen, dan krijgt men het waargenomen staartbeloop. Evenzoo is de rookpluim van een zich voortbewegende locomotief de verbindingslijn der plaatsen, waar zich op één bepaald oogenblik de op verschillende tijdstippen verticaal omhoog gezonden rookdeeltjes bevinden.

Kometenstaarten hebben niet altijd dezelfde kromming;



FIG. 100. TWEE OPNAMEN, DRIE UUR NA ELKAAR, VAN DE KOMEET 1908 C.
(Foto Barnard, Yerkes-sterrenwacht).



ze zijn naar de onderzoekingen van Bredichin in drie hoofdtypen te onderscheiden.

1°. lange, rechte staarten, welke uit stoffen moeten bestaan voor welke de afstootende werking 18 maal zoo groot is als de zonne-attractie.

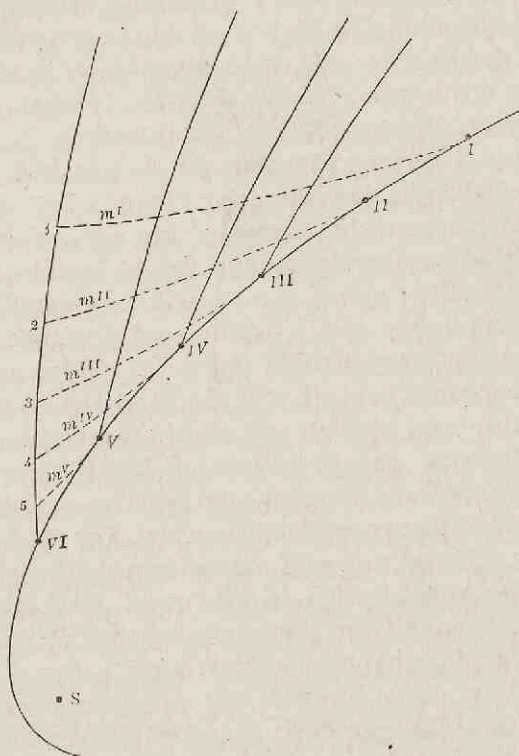


FIG. 101. VORMING VAN EEN KOMETENSTAART.

2°. lichtgebogen staarten, waarvoor deze verhouding 0.5 tot 2.2 moet zijn.

3°. sterk gebogen staarten, voor welke ze 0.1 tot 0.3 moet zijn.

Neemt men verder aan dat de afstootende werking omgekeerd evenredig is met het moleculair gewicht der stoffen, dan blijken deze theoretische beschouwingen

werkelijk te voeren tot de waargenomen staartvormen, als het 1^{ste} type gevormd wordt door waterstofgas, het 2^{de} door koolstofverbindingen en lichte metalen, het 3^{de} door zware metalen (ijzer, koper, zilver, goud). De aanwezigheid van deze stoffen is intusschen, zooals wij zagen, alleen voor het 2^{de}, en in een enkel geval ook voor het 3^{de} type spectroscopisch aangetoond; het 1^{ste} type is voor dit onderzoek veel te lichtzwak, het 3^{de} type komt uiterst zelden voor. Zoo is over de theorie van Bredichin het laatste woord nog niet gesproken, temeer daar o. a. in enkele kometen van 1907 en 1908 veel grootere afstootende krachten werkzaam geweest moeten zijn dan Bredichin voor het 1^{ste} type afleidt, en vele staartvormen der nieuwere kometen niet onder één van zijne typen blijken gerangschikt te kunnen worden.

De afstootende werking zelve heeft men jaren lang voor een elektrische gehouden, tegenwoordig houdt men ook rekening met de mogelijkheid dat de *drukking van het licht* hierbij de hoofdrol vervult. Uit de moderne opvatting dat lichtopwekking een electromagnetisch verschijnsel is, volgt dat een lichtstraal op elk voorwerp dat er door getroffen wordt eene drukking uitoefent, die behalve van den afstand afhankelijk is van de *oppervlakte* van dat voorwerp. Daar de aantrekking afhangt van zijn *massa* kan voor genoegzaam kleine deeltjes (deeltjes die in elk geval kleiner doorsnede hebben dan 0.0015 mm.) de „*lichtdruk*” de aantrekking overwinnen, en daar het bestaan van dezen licht-, of stralingsdruk zoowel op vaste deeltjes als op gasmoleculen proefondervindelijk is aangetoond, is inderdaad de mogelijkheid niet uitgesloten dat daarin de hoofdoorzaak van de staartvorming gelegen is. Dat de gassen in den staart licht geven, zal intusschen toch waarschijnlijk aan een of ander electrisch of radioactief proces geweten moeten worden.

Men kan zich derhalve het wezen van een komeet ongeveer zóó voorstellen: een verspreide groep zeer kleine vaste deeltjes beweegt zich met groote snelheid in een langgerekte elliptische baan om de zon; nadert zij deze, dan ontwikkelen zich achtereenvolgens *drie* verschillende processen: *a.* een

warmteproces, waardoor uit de vaste deeltjes gassen worden vrijgemaakt; *b.* een afstootingsproces door lichtdruk, waardoor de deeltjes worden gedreven in een richting die van de zon is afgewend; *c.* een lichtproces, waardoor deze weggedreven deeltjes zichtbaar worden. Dat een dergelijke voorstelling niet geheel bevredigend is en in hare details zeer veel aanvulling behoeft, die nog niet gegeven kan worden, ligt voor de hand. Even weinig bevredigend is de gebruikelijke voorstelling omtrent den oorsprong der kometen. De zon beweegt zich (zie bldz. 367) met groote snelheid in de ruimte en het geheele zonnestelsel deelt deze beweging; het zou dus a. h. w. op zijn weg kometenstof kunnen ontmoeten, die zich in de interstellaire ruimte bevindt. Maar dan zou: 1°. de snelheid bij het begin der attractie zoo groot zijn, dat bijna alle banen hyperbolen zouden worden en 2°. de richting waarin de kometen zichtbaar worden bij voorkeur die zijn, waarin de zon zich voortbeweegt. Noch het een, noch het ander wordt echter waargenomen; alle uitkomsten van de z. g. „kometenstatistiek” wijzen er op dat er geen bezwaar is, aan te nemen dat alle kometenbanen of elliptisch zijn of even goed voor elliptisch als parabolisch gehouden kunnen worden en deze hemellichten dus „van huis uit” tot het zonnestelsel behooren en aan de beweging van de zon in de ruimte deelnemen. Het feit echter dat het zonnestelsel nagenoeg een plat vlak is en kometenbanen daarmede als regel groote hoeken maken, werkt op een verdere voorstellingswijze zeer belemmerend.

Herhaaldelijk is de vraag gesteld of een komeet tengevolge van de boven beschreven processen langzamerhand „op” kan raken. Een dergelijke vraag moet eigenlijk in tweeën gesplitst worden, vooreerst deze: verliest een komeet op den duur niet het vermogen een *staart* te ontwikkelen? en 2°. kan door stringen *de kop* uiteengerukt worden, en de komeet daardoor haar bestaan als zoodanig eindigen? Beide vragen moeten in bevestigenden zin beantwoord

worden, de eerste om het zeer opmerkelijke feit dat *geen enkele der kort-periodische kometen een staart vertoont*. Door het telkens wederkeerend activiteitsproces moeten de inwendige gassen der kopdeeltjes langzaam maar zeker verloren gaan. De *lang periodische kometen* hebben in het algemeen een te klein aantal verschijningen gemaakt om behoorlijk bestudeerd te zijn; de eenige die hierop een uitzondering maakt is de beroemde komeet van Halley, de eerste waarvan de periodiciteit ontdekt is en waarvan reeds 26 min of meer nauwkeurig bestudeerde verschijningen zijn aangeteekend. Voor haar is er geen enkele aanwijzing van een vermindering in helderheid en staartvorming; zij werd in Mei 1910 o. a. in onze koloniën gezien met een staart die nagenoeg van de kim naar het zenith liep en zoo helder was als de bundel van een electrisch zoeklicht. Het is niet onmogelijk dat zij op haren langen weg naar de grenzen van het zonnestelsel telkens nieuwe hulptroepen kan aanwerven.¹⁾

Ook de 2^{de} vraag moet bevestigend beantwoord worden sedert Schiaparelli ontdekte dat de elk jaar geregeld op dezelfde data uit dezelfde richting komende vallende sterren beschouwd moeten worden als meteorenzwermen, die elliptische banen rond de zon beschrijven, *welke met die van een reeds bekende komeet nagenoeg volkomen identiek zijn*. Dit vereischt een eenigszins uitvoerige toelichting. Wanneer men plotseling een lichtend punt aan den hemel ziet, dat zich, vaak met achterlating van een lichtende streep, snel verplaatst, dan noemt men dit verschijnsel het „verschieten” of „vallen” van een ster. In werkelijkheid gebeurt er natuurlijk niets van dien aard; een klein, meestal zeer klein lichaam, dringt met groote snelheid den dampkring der aarde binnen, geraakt daar door de sterke wrijving in gloeiing, en verdwijnt, hetzij door verbranding hetzij door verspreiding, vóór het de aardoppervlakte bereikt heeft. Treft zulk een lichaam

¹⁾ De twee andere Neptunus-kometen worden eerst omstreeks 1955 en 1960 terugverwacht; zij zullen dan hun 3de verschijning maken.

wèl het aardoppervlak, dan spreekt men niet meer van een vallende ster of meteor, maar van een meteorsteen; deze is dan als regel vrij groot met een gewicht tot honderden Kilogrammen en het vuurverschijnsel vóór het bereiken der aarde is zeer intens. In dit stadium spreekt men van een vuurbol of bolide.

Het is voornamelijk de kennis van de nagenoeg parabolische snelheden waarmede de vallende sterren zich bewegen, die geen twijfel overlaat aan hunnen kosmischen oorsprong. Van de drie met verschillende namen (meteoren — boliden — meteorstenen) aangeduide verschijnselen waarvan nog altijd de identiteit niet met zekerheid is vastgesteld, zijn zij het meest frequent; in elke maanvrije nacht kan men gemiddeld 3 of 4 vallende sterren per uur waarnemen, welk aantal echter na middernacht grooter is dan daar vóór, en in het najaar grooter dan in het voorjaar. Neemt men n. l. aan dat de ruimte, waarin de aarde zich voortbeweegt, gelijkmatig met meteoren gevuld is, dan is de in de ecliptica gelegen voortbewegingsrichting der aarde a. h. w. een „bevoorrechte richting” van waaruit meteoren verwacht kunnen worden. Deze richting maakt om 6 uur 's morgens deel uit van het meridiaanvlak van den waarnemer en is dan dus voor dien dag zoo hoog mogelijk boven den horizon, waardoor theoretisch het dagelijksch maximum op dat uur te stellen is. Practisch valt het ongeveer te 3 uur 's nachts, daar het aanbreken van de schemering meestal een later waarnemen belet.

De *jaarlijksche* periode ontstaat doordat de meridiaanshoogte van de bevoorrechte richting op verschillende tijdstippen van het jaar verschillend is. Wij komen hierop in het volgende hoofdstuk nader terug; uit de op bldz. 340 gegeven tabel blijkt dat het jaarlijksch maximum in October valt.

De waarneming van de dagelijksche en jaarlijksche periodiciteit der meteoren-verschijningen is eveneens een bewijs voor hunnen kosmischen oorsprong, daar zij niet zouden bestaan als men te doen had met dampkringsverschijnselen.

Er zijn echter, afgescheiden van het jaarlijksch maximum bijzondere tijdstippen in een jaar, waarop het aantal vallende sterren ver boven het gemiddelde stijgt; teekent men in die nachten hunne schijnbare banen op een hemelbol, d. w. z. verbindt men daarop door een grootcirkelboog de punten waar zij opvlammen en onzichtbaar worden, dan blijken al deze grootcirkelbogen, na verlengd te zijn, elkaar ongeveer in één punt te snijden. Dit bewijst dat deze meteoren zich bewegen in nagenoeg evenwijdige richtingen; immers deze worden aan de sfeer door een enkel punt vertegenwoordigd. Dit punt heet het radiatie (uitstralings-) punt of kortweg de r a d i a n t. Enkele van deze radianten hebben wij reeds in het Derde hoofdstuk bij de bespreking der sterrenbeelden leeren kennen; zooals daar reeds bleek, heeft men uit de namen der sterrenbeelden, waarin zich enkele van de meest werkzame radianten bevinden, namen afgeleid voor de uit die richting den dampkring binnensnellende meteorenzwermen. De voornaamste daarvan zijn in de onderstaande tabel opgenomen; ze zijn ontleend aan den radianten-catalogus van Denning, een Engelsch sterrenkundige, die zijn geheele leven gewijd heeft aan de theoretische en practische vraagstukken die zich met betrekking tot de meteoren en hunne banen voordoen.

Datum	Radiant		Naam van den zwerm	Bijzonderheden
	α	δ		
Jan. 2-3	230°	+ 53°	Draconiden	Snelle beweging; lange banen.
April 20-22	271°	+ 33°	Lyriden	Snelle beweging.
Mei 1-6	338°	- 2°	Aquariden	Snelle beweging
Juli 28	339°	- 11°	Aquariden	Langzame bew., lange banen.
Aug. 10-13	45°	+ 57°	Perseiden	Snelle beweging.
Oct. 18-20	92°	+ 15°	Orioniden	Snelle beweging.
Nov. 14-16	150°	+ 22°	Leoniden	Snelle beweging.
Nov. 17-23	25°	+ 43°	Andromediden	Zeer langzame beweging.
Dec. 10-12	108°	+ 33°	Geminiden	Snelle beweging; korte banen.

In November 1799 woonde Alex. von Humboldt in Zuid-Amerika een meteoren-regen uit den *Leeuw* bij, die ettelijke uren aanhield en waarbij de geheele hemel onafgebroken met lichtende strepen doortrokken was, en hij vernam van de bevolking dat in 1766 een dergelijk verschijnsel was waargenomen. Toen dit zich in 1833 herhaalde, werd het duidelijk dat men hier met een periodiek verschijnsel te doen had en dat de periode ongeveer 33 jaar bedraagt. Het schouwspel was in 1833 voor waarnemers in Noord-Amerika nagenoeg even schitterend als von Humboldt het beschreven had; in één enkelen nacht werden tusschen 9^u en 12^u 193 Leoniden waargenomen, tusschen 12^u en 2^u 6900 en tusschen 2^u en 5^u ongeveer 1400. Een dergelijke meteorenstroom voor de 1^{ste} helft van Augustus was reeds sedert eeuwen onder den naam van *Laurentius-stroom* (de tranen van den heiligen Laurentius) bekend. Van dezen zwerm, de Perseïden, gelukte het Schiaparelli in 1866 uit de plaats van den radiant, en de als parabolisch aangenomen snelheid der meteoren, de elementen der baan af te leiden waarin zij zich bewegen. Deze bleek een zeer langgerekte ellips te zijn, waarvan het aphelium zich ver voorbij de *Neptunus*baan bevindt en die in ongeveer 110 jaar doorloopen wordt; deze baan was nagenoeg identiek met die van een komeet, die vier jaar te voren was waargenomen, de komeet 1862 III. Dit eene geval kon een toevallige overeenkomst zijn, maar toen Schiaparelli kort daarop ook de loopbaan der Leoniden berekende en de elementen daarvan dezelfde bleken te zijn als die van de *Uranus*-komeet 1866 I, kon aan een fysisch verband tusschen de beide soorten van hemellichten moeilijk getwijfeld worden. De Leoniden volgden het spoor der komeet en passeerden 10 maanden na deze de aardbaan.

Het was duidelijk dat men hier met een ontledingsproces van de kometen-kop te doen had, zooals dat op bldz. 330 beschreven werd; de komeet was, hetzij onder den invloed van de zon, hetzij onder dien van de aarde, misschien ook onder dien van beide, a. h. w. opgelost, *gedisgregeerd* zooals

men het meestal noemt, en uit het feit dat *elk* jaar Perseïden en Leoniden worden waargenomen, mag worden afgeleid dat de geheele kometenbaan een ring van gemeenschappelijk reizende meteoren geworden is, welke niet overal dezelfde dichtheid heeft, zoodat de verschijningen nu eens meer, dan weer minder opvallend zijn en alleen bij het passeeren van een zeer dicht gedeelte van den zwerm het karakter van een vallende sterren-*regen* aannemen. Hoe gelijkmatiger de dichtheid van den ring, des te langer is waarschijnlijk het disgregeeringsproces werkzaam; den naam Laurentiusstroom komt men reeds in de Middeleeuwen tegen, en de *Uranus*-komeet, die de Leoniden levert, werd waarschijnlijk reeds in 126 v. Chr. door de planeet waarnaar zij genoemd wordt, gevangen. De komeet zelve is intusschen alleen in 1866 waargenomen, toen de omstandigheden voor hare zichtbaarheid bijzonder gunstig waren; ongetwijfeld bestaat zij echter nog en is het ontledingsproces nog niet voltooid. De Perseïden-komeet kan eerst omstreeks 1985 terug verwacht worden.

Na de bovengenoemde ontdekkingen zijn er meer dan 100 radianten bekend, waaruit men gemeend heeft gemeenschappelijke elementen van meteoren- en kometenbanen te kunnen afleiden¹⁾; een der oudste zwermen is die der Lyriden, welke n. l. reeds in Chineesche kronieken van 687 v. Chr. vermeld worden.

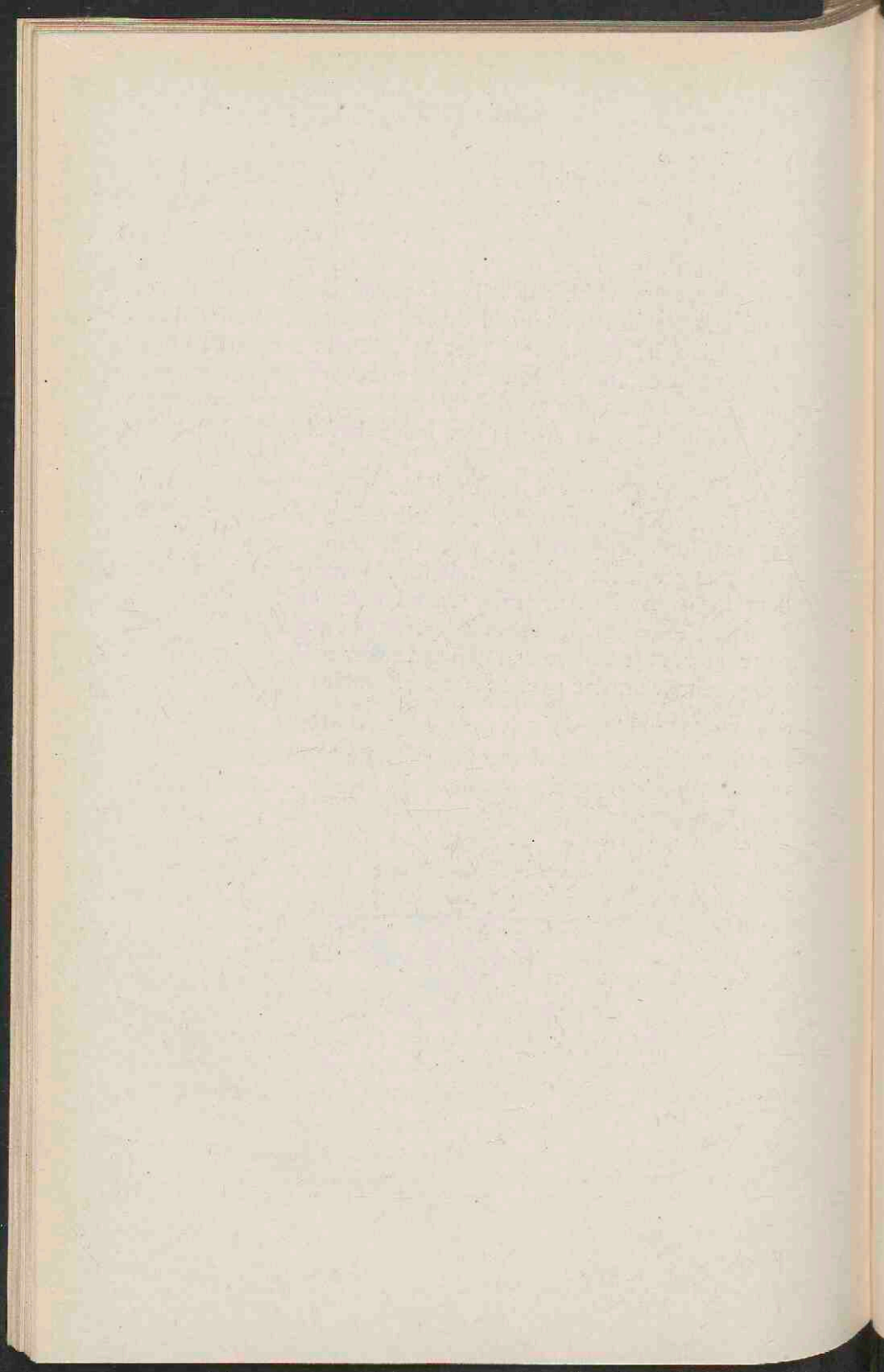
Zes jaren na de ontdekking van Schiaparelli kon men zich van de waarheid van zijne beschouwingen met eigen oogen overtuigen; van eene door Biela in 1826 ontdekte *Jupiter*-komeet kon men in 1845 en 1852 een splitsing in tweeën waarnemen, en toen, nadat in 1859 en 1865 geen van deze deelen zichtbaar geweest was, de aarde in 1872 wederom de loopbaan der komeet kruiste, vertoonde zich geheel onverwachts een vallende sterren-*regen*, nog schitterender dan de Leoniden-verschijning van 1866. Deze meteoren-

¹⁾ Storingsinvloeden maken echter dat slechts de resultaten van een 10-tal als volkomen zeker te beschouwen zijn.

zwerm, in de tabel dien der Andromediden genoemd, wordt naar den naam van den ontdekker van zijn komeet meestal die der Bieliden genoemd. Een merkwaardigheid van dezen zwerm is de opvallend langzame schijnbare beweging, hierdoor veroorzaakt dat hij de aarde moet achterhalen en de waargenomen snelheid dus de werkelijke snelheid van den zwerm is, *verminderd* met de snelheid der aarde. Gaat daarentegen de aarde een meteorenzwerm tegemoet, dan moet deze onzen dampkring binnentreden met een schijnbare snelheid die de *som* is der beide bovengenoemde snelheden.

In hoeverre de op ongeregelde tijden waargenomen, de z. g. „wilde” meteoren, deel uitmaken van een zwerm, waarvan de aarde wellicht alleen de buitenste grens doorkruist, is moeilijk uit te maken. De meteorostenen (die niet alleen gesteenten, maar veelal ook ijzer, nikkel a. a. bevatten) rekent men niet te behooren tot opgeloste kometen, maar men is eerder geneigd hen een zeker zelfstandig bestaan toe te schrijven, dat met de eene of andere kosmische ramp is aangevangen.







HET ZODIAKAAL-LICHT.

(Uit: M. W. Meyer. Das Weltgebäude).

De „volle maan” in het helderste deel van de lichtpyramide
is een fout in het cliché.

XV HET LICHT VAN DEN DIEREN- RIEM EN HET OPPOSITIE-LICHT.

REEDS de Arabische sterrenkundigen kenden onder de ook in den Koran opgenomen benaming van: „valsche schemering” een zeer mat pyramide-vormig lichtverschijnsel dat kort na het einde der avondschemering in het Westen, kort vóór den aanvang der morgenschemering in het Oosten zichtbaar wordt. Eerst in 1630 werd op dit verschijnsel door Descartes en in 1659 door Childrey de aandacht der Europeesche waarnemers gevestigd, waarna het in 1683 door den Franschen sterrenkundige J. D. Cassini wetenschappelijk werd onderzocht.

De as van deze lichtpyramide ligt ongeveer in de ecliptica, volgt dus den *Dierenriem* en daarom spreekt men van het licht van den *Dierenriem* of van het *Zodiakaallicht*. Uit de ligging van deze as volgt dadelijk, dat hoe schuiner sfeer de waarnemer aanschouwt, des te moeilijker het wordt deze lichtpyramide in haar vollen omvang en schoonheid te aanschouwen. De voorwaarden van zichtbaarheid worden immers bepaald door den hoek, dien de ecliptica met den horizon van den waarnemer maakt; hoe grooter deze hoek, hoe steiler rijst het zodiakaallicht omhoog en des te beter vertoont het zich. Bevindt de waarnemer zich aan den aequator ($\varphi = 0$) dan beschrijft zijn zenith in den loop van een dag een cirkel met een straal van 90° ($90^\circ - \varphi$) rond de hemelpool en daar de pool der ecliptica daarvan 23°

verwijderd is, wisselt dus in den loop van een dag de afstand zenith-eclipticapool d. i. de hoek tusschen horizon en ecliptica van $90^\circ + 23^\circ = 113^\circ$ tot $90^\circ - 23^\circ = 67^\circ$. Het Zodiakaallicht verheft zich voor hem altijd steil (soms loodrecht) op zijn kim en de kort durende schemering komt de zichtbaarheid ten goede. Voor een waarnemer op de breedte van Nederland ($\varphi = 52^\circ$) zijn echter de omstandigheden veel minder gunstig; *zijn* zenith beschrijft door de schijnbare hemeldraaiing een cirkel rond de hemelpool van slechts $90^\circ - 52^\circ = 38^\circ$ en de hoek dien de ecliptica met *zijn* horizon maakt, wisselt dus van 15° tot 61° ; de gelegenheid voor de waarneming van het avondverschijnsel is dus alleen dan zoo gunstig mogelijk, *wanneer de hoek van 61° gemaakt wordt korten tijd na de avondschemering*. Uit de onderstaande tabel blijkt dat deze zeer gunstige gelegenheid slechts kort duurt.

Datum	Uur	Helling ecl./hor.	Datum	Uur	Helling ecl./hor.		
Januari	1 15	6 u 6	47° 51	Juli	1 15	10 u 10	18° 15
Februari	1 15	7 7	58 60	Augustus	1 15	10 9	16 16
Maart	1 15	8 8	61 60	September	1 15	9 9	19 24
April	1 15	9 9	55 51	October	1 15	8 8	25 29
Mei	1 15	9 10	46 35	November	1 15	7 7	30 36
Juni	1 15	10 11	28 18	December	1 15	6 6	36 42

Voorwaarden voor zichtbaarheid van het avond-zodiakaallicht.

Hieruit blijkt dat de gunstigste gelegenheid zich voordoet in het begin van Maart; maakt men een dergelijke tabel op voor de zichtbaarheid van het morgen-zodiakaallicht, dan blijkt de gunstigste tijd voor de waarneming daarvan

het begin van October te zijn, evenveel *na* het zomersolstitium als die voor het avondverschijnsel daarvóór valt.

Latere onderzoekingen hebben omtrent dit nog altijd niet voldoende verklaarde lichtverschijnsel geleerd, dat het niet zeker is of het inderdaad in de ecliptica gelegen is; door de vage grenzen van de pyramide is de juiste ligging van de as moeilijk aan te geven en zoo meenen enkele onderzoekers uit hunne waarnemingen te mogen afleiden dat de as der lichtpyramide in het aequatorvlak van de zon is gelegen, dat ruim 7° op de ecliptica helt: weer anderen berekenen dat de bedoelde richting tusschen het vlak van de ecliptica en dat van den zonne-aequator in gelegen is, en een volkomen bevredigende beslissing is in deze nog niet gevallen. Toch zou zij van groot belang zijn, om uit te kunnen maken of het verschijnsel al dan niet afhankelijk van de zonne-rotatie is.

Wat de helderheid betreft, zoo zijn alle waarnemers het er over eens dat zij zeer verschillend kan zijn, maar dat het moeilijk uit te maken is of deze verschillen reeël zijn of alleen van plaatselijke omstandigheden bij de waarneming afhankelijk. Soms is de helderheid te vergelijken met die van den hemel even vóórdat de maan boven de kim zal verrijzen, meestal is ze gelijk aan de helderste deelen van den melkweg en vandaar doorloopt ze alle waarden tot nagenoeg onzichtbaarheid toe. Van het zodiakaallicht vertoont zich altijd het eerst de top van de pyramide en naarmate de schemeringsboog onder den horizon verdwijnt, worden ook de lager gelegen deelen van het lichtverschijnsel zichtbaar.

De heldere lichtpyramide is omgeven door een veel zwakkere; de eerste is op den horizon gemiddeld een dertigtal graden breed, welke breedte naarmate men hooger komt snel vermindert, de tweede draagt meer het karakter van een band, die in zeer gunstige gevallen den geheelen nacht zichtbaar blijft en in het diametraal tegenover de zon gelegen deel van den nachtelijken hemel den vorm van een onregelmatig ovaal aanneemt, dat iets helderder dan de band is en om zijne bijzondere ligging bekend is onder den naam

oppositielicht (Duitsch: „Gegenschein”). Het is volgens den Amerikaanschen sterrenkundige Barnard, die het jaren lang heeft waargenomen, gemakkelijker op te merken dan men algemeen aanneemt, mits er geen enkele lichtbron storend werken kan. De wintermaanden leenen zich op onze breedte het best voor de waarneming; te middernacht staat dan de zon op grooten afstand onder, het oppositielicht dus op denzelfden afstand boven den horizon. In Juni en December (en de 1e helft van Januari) maakt het oppositielicht deel uit van den melkweg en is daardoor onzichtbaar; in de andere maanden vertoont het zich als een ijle, zwak lichtende wolk van ongeveer 15° middellijn in de in onderstaande tabel opgenomen sterrenbeelden.

Maand	Sterrenbeeld	Maand	Sterrenbeeld
Januari	Tweelingen	Juli	Schutter
Februari	Kreeft; Leeuw	Augustus	Steenbok
Maart	Leeuw	September	Waterman
April	Maagd	October	Visschen
Mei	Weegschaal	November	Ram; Stier

Zichtbaarheid van het Oppositielicht.

Het is de laatste jaren gelukt het zodiakaallicht te fotografeeren, met camera's waarvoor f slechts $1\frac{1}{2}$ à 2 maal d is. Wolf heeft zelfs met een lensje van 37 mm. middellijn en 35 mm. brandpuntsafstand de verschillende doorsneden van het zodiakaallicht afzonderlijk in beeld kunnen brengen en daardoor zijn vorm en oppervlakte-helderheid fotografisch kunnen bestudeeren.

Dat de „Gegenschein” een kosmisch verschijnsel is, blijkt duidelijk uit het feit dat het door waarnemers op verschillende plaatsen op aarde ongeveer op dezelfde plek aan den hemel gezien wordt, of om het meer technisch te zeggen, dat het geen merkbare parallaxis heeft; en ook het zodiakaallicht kan daardoor moeilijk anders dan een verschijnsel buiten onzen dampkring zijn. De ware aard van dit verschijnsel is

intusschen onbekend; de meeste waarnemers houden het voor een ring van kosmische stofdeeltjes, kleiner nog dan de deeltjes die zich aan ons als vallende sterren vertoonen, en die een zelfstandige beweging rond de zon bezitten, zooals die van den ring van *Saturnus* om dezen. Het onderzoek van de eigenschappen van het door dezen ring uitgezonden licht heeft geleerd, dat men hier zeer waarschijnlijk met op vaste deeltjes teruggekaatst zonlicht te doen heeft.

Een critische bestudeering van een zeer groot aantal door verschillende geoefende personen verrichte waarnemingen zal over eenige jaren door Prof. Nijland, den Directeur der Utrechtsche sterrenwacht, ondernomen kunnen worden. De gegevens daartoe worden geleverd door talrijke officieren der Nederlandsche koopvaardijvloot, die tijdens hunne reizen naar onze koloniën in de gelegenheid zijn zoowel het licht van den *Dierenriem* als het oppositielicht in hunne verschillende fasen te volgen. Een dergelijk uitgebreid waarnemingsmateriaal zal wellicht de beslissing kunnen brengen in de talrijke strijdvragen, waartoe de wonderlijke lichtglans aanleiding heeft gegeven.



XVI HET STERRENSTELSEL IN ZIJN VERSCHILLENDE INDEELINGEN

A. Helderheid; kleur; kaarten.

DE behoefte aan een stelselmatige bestudeering van de helderheid der sterren deed zich het eerst gevoelen, toen het gebleken was dat zij van meerdere sterren niet standvastig is en de lichtwisselingen van deze z.g. „veranderlijke sterren” het beste bestudeerd konden worden door hare helderheid telkens te vergelijken met die van naburige sterren, bij welke een lichtwisseling niet was opgemerkt. Naarmate later het vraagstuk van den bouw van het Heelal, d. w. z. van de beschouwing der sterren, niet als individuën maar als *stelsel* krachtiger ter hand werd genomen, heeft het vaststellen van de helderheid der sterren nog grooter belangrijkheid verkregen; de invoering van fotografische methoden heeft echter de oplossing van het probleem in hooge mate bemoeilijkt.

De lichtsterkte van een voorwerp is de hoeveelheid door ons ontvangen licht, uitgedrukt in die welke wij bijv. van de op 1 Meter afstand geplaatste normaalkaars of Hefnerlamp ontvangen. Om haar te kunnen beoordeelen, moet men gebruik maken van z. g. „fotometers” waarin de beide met elkander te vergelijken lichtbronnen te zamen zichtbaar zijn. Zij berusten alle op het beginsel, dat het menschenlijke oog alleen *kleine* intensiteitsverschillen met juistheid beoordeelen kan en tot de

gelijkheid van twee intensiteiten zelfs tot op 1 percent nauwkeurig vermag te besluiten. Zij moeten dus zóó zijn ingericht, dat bij het vergelijken van zeer verschillende intensiteiten, de grootste in een bekende verhouding verkleind kan worden, of beide tot de gelijke intensiteit „nul” gebracht kunnen worden. Voor het verzwakken der intensiteit maakt men in de hemelfotometrie nagenoeg uitsluitend gebruik van de eigenschappen van twee z. g. „*nichols*.” Dit zijn op bijzondere wijze gesneden kalkspaaht-prisma's, die in onderling verschillende plaatsingen t. o. v. elkaar telkens een ander percentage der ontvangen lichtintensiteit doorlaten, van nagenoeg het volle bedrag (als de hoofddoorsneden evenwijdig aan elkaar gesteld zijn) af, tot nul toe (als deze doorsneden loodrecht op elkaar gesteld zijn).

De tweede methode, het tot nul brengen (uitdooven) van *beide* intensiteiten kan geschieden met behulp van een wigvormig stuk neutraal getint glas¹⁾, dat al het licht van de eene lichtbron absorbeert, wanneer het een dikte a en al het licht van de andere wanneer het een dikte b van het glas doorloopen heeft; het verschil $b-a$ is dan een maat voor de verhouding der beide intensiteiten.

Naar een van deze beide beginselen zou men nu de intensiteit (lichtsterkte) van hemellichten in de gekozen fysische eenheden kunnen uitdrukken; men doet dit evenwel niet, maar heeft er om practische redenen steeds de voorkeur aan gegeven vast te blijven houden aan de methode der oude astronomen, die de sterren naar hunne intensiteiten in een stelsel van z.g. „grootteklassen” (een oneigenlijke benaming voor „helderheidsklassen”) hebben ingerijd. Reeds Ptolemaeus (138 n. Ch.) heeft naar waarnemingen van Eudoxus (366 v. Chr.) en Hipparchus (150 v. Chr.) de voor het bloote oog zichtbare sterren in een dergelijken helderheidscatalogus²⁾

1) Neutraal getint glas absorbeert alle kleuren in dezelfde mate; het is zeer moeilijk te vervaardigen.

2) *Almagestum* Cl. Ptolemaei pheludiensis alexandrini astronomorum principis, opus ingens et nobile omnes coelorum motus continens, felicibus astris eat in lucem. Venetiis 1515 (1e Latijnsche uitgave).

opgenomen. De helderste sterren werden genoemd „sterren der 1^{ste} grootte,” de daarop volgende sterren der 2^{de} grootte enz. tot aan de 6^{de} grootte toe. Deze laatste waren de sterren die bij afwezigheid van maanlicht voor een geoefend oog juist nog zichtbaar waren. Uit een dergelijke indeeling mag intusschen niet afgeleid worden, dat een ster die bijv. 3 grootte-
klassen boven een andere staat, ons driemaal zooveel licht toezendt als deze; het is n.l. gebleken dat het verschil der grootteklassen niet evenredig gesteld kan worden aan de verhouding der lichtintensiteiten. Eene door Fechner (1801–1887) aangegeven wet leert dat de indruk, dien het menschelijk oog van de intensiteit eener lichtbron krijgt, niet evenredig is met deze, doch met haar logaritmie; wiskundig wordt dus het verband tusschen de intensiteit I en den indruk M op het netvlies van het oog gegeven door een uitdrukking van de gedaante

$$M = c \log I.$$

waarin c een constante voorstelt. De indruk M kan nu gevoeglijk de helderheid van het hemellicht heeten; dan is echter van de eene ster de helderheid $M_1 = c \log I_1$, van een andere $M_2 = c \log I_2$ en dus $M_1 - M_2 = c \log \frac{I_1}{I_2}$.

William Herschel merkte reeds tegen het einde der 18^{de} eeuw op dat gemiddeld de intensiteit van eene ster der 1^{ste} grootte het 100-voudige bedrag heeft van die eener ster van de 6^{de} grootte; de intensiteitsverhouding voor twee op elkaar volgende grootteklassen is daaruit gemakkelijk af te leiden.

$$M_1 - M_2 = c \log \frac{I_1}{I_2}$$

$$M_2 - M_3 = c \log \frac{I_2}{I_3} = c \log \frac{I_1}{I_2}$$

$$M_3 - M_4 = c \log \frac{I_3}{I_4} = c \log \frac{I_1}{I_2}$$

$$M_4 - M_5 = c \log \frac{I_4}{I_5} = c \log \frac{I_1}{I_2}$$

$$M_5 - M_6 = c \log \frac{I_5}{I_6} = c \log \frac{I_1}{I_2}$$

Telt men al deze uitdrukkingen op dan komt er $M_1 - M_6 = 5 c \log \frac{I_1}{I_2}$ en daar $M_1 - M_6$ tevens $c \log \frac{I_1}{I_6}$ d.i. naar Herschel $= c \log 100 = 2 c$ is

$$\log \frac{I_1}{I_2} = \frac{2}{5} = 0.4.$$

waaruit $\frac{I_1}{I_2} = \frac{I_2}{I_3}$ enz. = 2.512.

Een ster der eerste grootte, of, zooals men het altijd uitdrukt een ster 1^m (m. = magnitudo) heeft dus een lichtsterkte die ruwweg 2.5 maal die van een ster 2^m bedraagt, $2.5 \times 2.5 = 6.3$ maal die van een ster 3^m enz. ¹⁾ De onderstaande tabel bevat dus eenvoudig de opvolgende machten van 2.512 tot geheele getallen afgerond.

Verskil in grootte-klasse	Verhouding der lichtsterkten	Verskil in grootte-klasse	Verhouding der lichtsterkten	Verskil in grootte-klasse	Verhouding der lichtsterkten
1	2½	5	100	9	3981
2	6	6	251	10	10000
3	16	7	631	11	25119
4	40	8	1585	12	63096

1) Het woord „grootte” in de beteekenis van „helderheid” komt alleen voor in de samenstelling *grootteklasse* en in de uitdrukking: een ster van de zooveelste *grootte*; het is echter niet gebruikelijk van twee sterren te zeggen: deze is de grootste en die is de kleinste, maar men moet zeggen: deze is de *helderste* en die is de *zwakste*.

Deze tabel kan bijv. dienen om ruwweg voor elken kijker aan te geven welke sterren er nog juist mede te zien zijn. De lichtsterkte van een kijker is n.l. (zie bldz. 160) evenredig aan d^2 . Voor het menschelijk oog is $d = 5$ mm. en het ziet sterren 6^m ; een kijker die $d = 60$ mm. heeft is $12^2 = 144$ maal zoo lichtsterk en vertoont dus (zie de tabel) sterren die 5 grootteklassen zwakker zijn, dus sterren 11^m . Het is echter nauwkeuriger hierbij niet uit te gaan van het kleinste objectief dat ter onzer beschikking is, maar van een middelgroot objectief, bijv. dat van den Utrechtschen refractor. Deze heeft $d = 26$ cm. en de grens is 14^m . Wil men nu bijv. weten welke de grens is voor den Yerkes-refractor ($d = 102$ cm.) dan heeft men slechts te redeneeren: d is 4 maal zoo groot, de lichtsterkte dus 16 maal zoo groot, de grens dus 3 grootteklassen dieper. De grootste refractor ter wereld vertoont dus sterren van de 17^{de} grootte, waarvan wij 25000 maal minder licht ontvangen dan van de voor het bloote oog zichtbare!

Ook uit de helderheidsschattingen van Argelander (1799-1875) bleek dat een verschil van één grootteklasse ongeveer een intensiteitsverhouding van $2\frac{1}{2}$ beteekent en daarom heeft men met deze verhouding de indeeling in grootteklassen voorbij de grens voor het ongewapend oog voortgezet. Dit was zeer noodig; zoolang de verschillende waarnemers twee punten van hoû-vast hadden: de helderste sterren = 1^m en de juist voor 't bloote oog zichtbare = 6^m verschilden zij in de *daartusschen* gedane schattingen niet veel, maar het werd anders zoodra zij er *buiten* kwamen en dus één hoû-vast verloren; zoo noemde Argelander een ster 12^m of 13^m die door Herschel 20^m was genoemd.

Het vaststellen van eene algemeen te gebruiken intensiteitsverhouding voor elk grootteklasse-verschil was dus dringend noodzakelijk. Het afleiden der intensiteitsverhoudingen moet, zooals wij zagen, met fotometers geschieden; wij zullen de daarmede verkregen uitkomsten, voorzooverre zij alleen geschiedkundige waarde hebben, buiten bespreking laten en alleen vermelden dat de sterrenkundigen van den tegenwoor-

digen tijd de beschikking hebben over twee uitgebreide helderheidscatalogi, n.l. dien van Potsdam en dien van Harvard. De „Potsdamer Generalkatalog”¹⁾ is samengesteld door

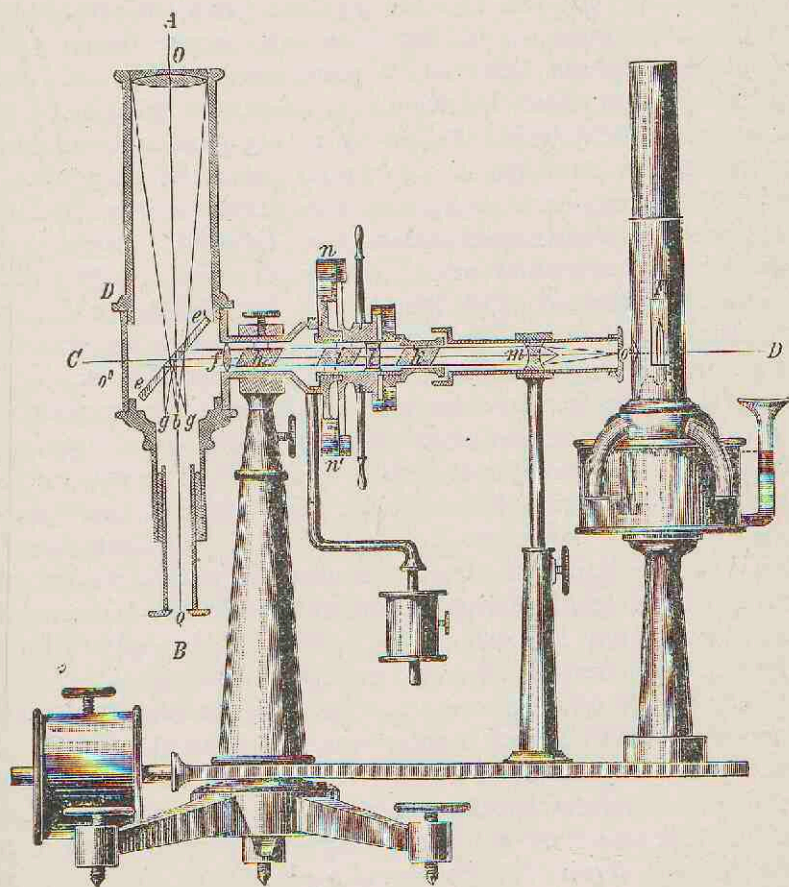


FIG. 102. FOTOMETER VAN ZÖLLNER.

Müller en Kempf met een fotometer van Zöllner, die in Fig. 102 in doorsnede is afgebeeld. Door het oculair o van

1) Photometrische Durchmusterung des nördlichen Himmels. Publikationen des Astrophysikalischen Observatoriums; siebzehnter Band.

den kijker ziet men vooreerst het beeld b van een *werkelijke* ster, door het objectief O gevormd, en verder twee beelden g van een *kunstmatige* ster, welke beelden ontstaan door terugkaatsing op de vóór- en achterzijde van een onder een hoek van 45° met de kijkeras gestelde glasplaat. De kunstmatige ster ontstaat uit het door een nauwe opening bij o' binnentredende licht eener petroleumlamp F ; de lens m maakt van deze nauwe opening een verkleind beeld, waarna de lichtstralen de op bldz. 345 genoemde nichols passeeren en door de lens f treden, alvorens de glasplaat ee' te bereiken; deze lens f kan zoo gesteld worden, dat de nagenoeg puntvormige beelden g in hetzelfde vlak liggen als het beeld b , zoodat men in het veld van den kijker drie beelden van sterren gelijktijdig scherp ziet, dat der te onderzoeken ster tusschen die der kunstmatige ster in. Terwijl twee nichols voldoende zouden zijn, wanneer het er alleen om te doen was het licht der kunstmatige ster te verzwakken, heeft men teneinde aan haar beeld een tint te kunnen geven, welke die der werkelijke ster nabij komt, het nichol i samengekoppeld met een nichol k en daartusschen een bergkristalplaatje l geplaatst. Draait men k ten opzichte van i , dan worden enkele kleursoorten niet meer doorgelaten en nu kan men de dikte van het kristalplaatje zóó kiezen, dat het doorgelaten kleurenmengsel *geelachtig* is; gele tinten zijn n.l. aan den hemel in sterke mate overwegend.

Voor de fotometrie van *zeer* heldere sterren kan men door een oculair bij o'' te plaatsen, het licht der *werkelijke* ster op de glasplaat doen terugkaatsen, terwijl dat der kunstmatige ster onverzwakt wordt doorgelaten, en men krijgt dus in het kijkerveld de gelijke helderheid te beoordeelen van drie beelden $b g b$ inplaats van $g b g$ ¹⁾.

De in F geplaatste lamp is geen normaallamp, daar deze zich voor een gebruik in weer en wind niet leenen kan; de practijk leerde echter, dat men na het nemen van be-

¹⁾ De door terugkaatsing op de glasplaat ontstane beelden zijn, doordat het licht van het eene absorptie in die plaat ondergaan heeft, *niet precies* even helder.

paalde voorzorgen met een petroleumlamp of een electriche gloeilamp een lichtbron kan verkrijgen, die enkele uren lang constant blijft, en daar fotometrische waarnemingen te inspannend zijn om langen tijd achtereen verricht te worden, stelt men zich hiermede tevreden. *Absolute intensiteiten* worden trouwens, zooals wij zagen, niet bepaald; men meet intensiteitsverhoudingen en herleidt deze tot *helderheidsverschillen*, waarbij met den invloed van de op bldz. 72 besproken, *extinctie* terdege rekening moet worden gehouden. Uitgaande van de desnoods willekeurig aan te nemen helderheid van een bepaalde standaardster of van die van een stelsel van dergelijke sterren, komt men dan tot de helderheid der waarnemingssterren. De waarnemers van Potsdam legden eerst door herhaalde onderlinge metingen een stelsel van verschillen van 144 z. g. „*fundamentealsterren*” vast en pasten deze zoo nauwkeurig mogelijk aan aan de helderheden uit een ouderen overzichtscatalogus, de *Bonner Durchmusterung* (zie ook bldz. 357). De catalogus van Potsdam bevat 14200 sterren van den Noordelijken hemel tot en met de grootteklasse 7.5; de helderheden zijn in honderdste deelen eener grootteklasse aangegeven.

De „*Harvard Photometry*” is in drie deelen door verschillende waarnemers, onder leiding van E. C. Pickering, met verschillende instrumenten samengesteld. Deze berusten op hetzelfde beginsel als de fotometer van Zöllner, met dien verstande dat de kunstmatige ster vervangen is door een werkelijke. Zoo is één der instrumenten, de „*meridian fotometer*,” vast opgesteld in de richting Oost-West, samengesteld uit twee naast elkander geplaatste kijkers; in de eene is door een vóór het objectief geplaatsten spiegel een ster zichtbaar op het oogenblik dat zij den meridiaan passeert, terwijl in den anderen kijker door een dergelijke inrichting de *poolster* zichtbaar is. ¹⁾ Alle sterren worden nu met één-

¹⁾ Het is zeer onlangs gebleken dat de helderheid der *Poolster* zelve aan kleine schommelingen onderhevig is, zoodat het werk van Pickering daarvoor gecorrigeerd zal dienen te worden.

zelfde werkelijke ster vergeleken, waarbij weder het veranderen der intensiteit met behulp van twee nichols geschieden kan.

De catalogi van Harvard bevatten ongeveer 46000 sterren; het werk is niet zoo stelselmatig verricht en staat op een lager peil van nauwkeurigheid dan dat der Duitsche sterrenkundigen, doch heeft het voordeel ook Zuidelijke sterren te omvatten en tot een veel lagere grootteklasse te gaan, een voordeel dat o. a. voor de waarnemers van veranderlijke sterren groote waarde heeft.

Jammer genoeg loopen de fotometrische resultaten van twee verschillende waarnemers met verschillende instrumenten vrij veel uiteen, hetgeen aan het ontwerpen van één „einheitliche" fotometrische indeeling der sterren niet ten goede komt. Als voorbeeld van dergelijke verschillen volgen hieronder de helderheden van 17 der helderste Noorderlijke sterren volgens Harvard en Potsdam, met het verschil tusschen deze beide catalogi.

Ster	Ha	Po	Po-Ha	Ster	Ha	Po	Po-Ha
	m	m	m		m	m	m
α Persei	1.85	2.16	+ 0.31	α Leonis	1.36	1.73	+ 0.37
α Tauri	1.09	1.15	+ 0.06	α Ursae maioris	1.95	2.04	+ 0.09
α Aurigae	0.24	0.43	+ 0.19	ϵ Ursae maioris	1.44	2.16	+ 0.72
γ Orionis	1.62	2.06	+ 0.44	η Ursae maioris	1.85	2.26	+ 0.41
β Tauri	1.66	2.01	+ 0.35	α Boötis	0.34	0.24	- 0.10
γ Geminorum	1.90	2.34	+ 0.44	α Lyræ	0.10	0.38	+ 0.28
α Geminorum	1.61	1.94	+ 0.33	α Aquilæ	0.84	1.12	+ 0.28
α Canis minoris	0.45	0.72	+ 0.27	α Cygni	1.26	1.59	+ 0.33
β Geminorum	1.26	1.51	+ 0.25				

Uit een stelselmatig onderzoek van *alle* in beide catalogi opgenomen sterren volgt: $Po-Ha = + 0^m 17$.

Het lijkt geen twijfel dat men hier niet met toevallige, maar met *stelselmatige* verschillen te doen heeft, waardoor de mogelijkheid bestaat dat ze op de een of andere wijze

zullen kunnen worden opgeheven. De oorzaak er van is in hoofdzaak de *kleur* der sterren, in zooverre men van eigenlijke kleuren spreken kan. Sterren met een enkelvoudige kleur afwijkend van geel zijn er eigenlijk niet; een hoogst enkele is beslist rood, geen enkele uitgesproken blauw. Overwegend zijn de overgangen tusschen lichtgeel en rood; de prachtige kleuren, zooals Flammarion e. a. ze vooral bij dubbelsterren beschreven hebben, ontstaan door onvolkomenheden in het oog van den waarnemer of in het objectief van zijn kijker, terwijl bij de verschillend getinte componenten van een dubbelster bovendien contrastwerking een groote rol speelt.

Evenals de bestudeering der veranderlijke sterren aanleiding gaf tot helderheidsbepalingen, gaf zij door het feit dat vele van hen een geelroode of roode tint hebben, aanleiding tot stelselmatige *kleur*-bepalingen. Deze zijn echter zeer moeilijk te verrichten, omdat het oog van den eenen waarnemer een geheel andere kleurgevoeligheid heeft dan dat van den anderen en een ander objectief de ster in een enigszins andere kleur vertoont. Tot groote nauwkeurigheid geven dan ook dergelijke kleurschattingen geen aanleiding en een methode, om uit de kleur eener ster haar door een bepaalden waarnemer gemeten helderheid te corrigeeren, is nog niet gevonden. Op drie verschillende methoden kan men de kleuren der sterren aangeven. De eerste daarvan rangschikt de sterren naar z. g. „kleurklassen,” waarvan er meestal 7 of 8, en soms 10 of meer worden ingevoerd, en men duidt de kleur dan aan door een cijfer en de letter c (color) evenals men de helderheid door een cijfer en de letter m aanduidt. Een bepaalde ster is dus bijv. 4^m.2 en 5^c.5. De beteekenis van de hier ingevoerde cijfers moet dan natuurlijk door ijking vastgesteld worden. De tweede methode bepaalt zich tot het aangeven van bepaalde tinten door één of twee letters; zij is ingevoerd door Müller en Kempf bij het samenstellen van hunnen op bldz. 349 genoemden fotometrischen catalogus. Van *alle* daarin opgenomen sterren is tevens de kleur aangegeven. Wij geven in de

onderstaande overzichtstabel in de 1^{ste} kolom de daartoe gebruikte letters en lettercombinaties, in de 2^{de} kolom de omschrijving daarvan, in de 3^{de} de overeenkomstige waarden uit de kleurklasse van Osthoff en in de laatste de aantallen der sterren uit dezen catalogus voor welke de op denzelfden regel staande tinten genoteerd zijn.

Po.	Omschrijving	Osthoff	Aantal
W	WIT	2.8	} 2043
W ₊	Wit met een neiging tot geel		
GW ₋	Geelwit, maar dichtër bij wit	3.7	} 6324
GW	GEELWIT		
GW ₊	Geelwit, maar dichtër bij geel	5.7	} 3762
WG ₋	Witgeel, maar dichtër bij wit		
WG	WITGEEL	6.5	} 1841
WG ₊	Witgeel, maar dichtër bij geel		
G ₋	Geel met een zweem naar wit	7.1	} 98
G	GEEL		
G ₊	Geel met een zweem naar rood	7.2	} 86
RG ₋	Roodgeel, maar dichtër bij geel		
RG	ROODGEEL	8.8	} 2
RG ₋	Roodgeel, maar dichtër bij rood		
GR ₋	Geelrood, maar dichtër bij geel	7.2	} 5
GR	GEELROOD		
GR ₊	Geelrood, maar dichtër bij rood	8.8	} 9
R ₋	Rood, met een zweem naar geel		
R	ROOD	8.8	0

Het is eenigszins gelukt om met behulp van de aldus bepaalde kleuren de in Potsdam gemeten helderheid te herleiden op die van Pickering, daarbij aannemende dat de verschillen geheel een gevolg zijn van de kleur, en haren invloed weer van de helderheid afhangt. Het verschil is dus bijv. anders voor een geelroode ster 6^m., dan voor een geelroode ster 2^m. Op deze wijze kan men van een Potsdam-

ster eenigszins nagaan hoe helder Pickering ze gemeten zou hebben. Maar de correctietabel geeft natuurlijk geen helderheden zwakker dan $7^m.5$ omdat de catalogus van Potsdam geen zwakkere sterren bevat, en wanneer men dus, omgekeerd als zoeven, een ster zwakker dan $7^m.5$ aan Pickering ontleend heeft en weten wil hoe helder deze in Potsdam gemeten zou zijn, dan tast men daaromtrent in het duister, want de kleur is onbekend en in de correctietabel komt de helderheid niet voor. Wel kan men dan de correctie $0^m.17$ toepassen, die zooals wij zagen de gemiddelde waarde heeft welke men uit de tabel voor alle kleuren en alle helderheden kan opmaken, maar hoeveel deze gemiddelde correctie in het onderhavige geval fout is, is vooral bij een zeer zwakke ster (bijv. $11^m.$) eenvoudig niet te begrooten.

Wij zijn hierbij wellicht eenigszins langer stil blijven staan dan voor een populaire bespreking noodig was, maar wij hebben dit opzettelijk gedaan, omdat de vraag naar een *homogene fotometrische helderheidsschaal* een van de meest dringende behoeften der moderne sterrenkunde is, omdat zij een belangrijk deel uitmaakt van de grondslagen waarop het groote probleem van den bouw van het zichtbare Heelal moet worden opgetrokken. Theoretisch is natuurlijk de kleur van een ster ook af te leiden uit haar spectrum, maar daartoe zijn practisch de meeste sterrenspectra te zwak; intusschen is deze reeds op bldz. 149 met een enkel woord genoemde „spectraalfotometrische” methode, reeds te Potsdam op een klein aantal (109) heldere sterren toegepast.

De invoering der fotografische methoden heeft de zaken hoe langer hoe ingewikkeld gemaakt. Er zijn twee belangrijke methoden om uit de fotografische beelden der sterren tot hunne relatieve helderheid te besluiten; volgens de eerste meet men de *middellijn* van het op de plaat verschenen sterreschijfje, volgens de tweede zijn *diepte*. De eerste methode leent zich niet tot nauwkeurigheidsmetingen, vooreerst omdat de schijfjes geen scherpe begrenzing hebben, maar ook omdat door dampkringsinvloeden de resultaten van

twee bij verschillende luchttoestand verkregen opnamen niet zonder meer met elkander te vergelijken zijn. Dit laatste geldt ook voor de tweede methode, maar zij ondervangt het eerste bezwaar door de opnamen te verrichten met de fotografische plaat een weinig *buiten het brandvlak* van den kijker geplaatst; men krijgt dan groote, scherp begrensde ringen, als men het drijfwerk van den kijker in beweging heeft gesteld, en breede banden, als men het heeft laten stilstaan, en men heeft nu slechts de doorzichtigheid der plaat ter plaatse van elken ring of band te beoordeelen. Hiertoe is een bepaald instrument uitgedacht, waarin de te onderzoeken plaat vergeleken kan worden met eene waarop een willekeurige „vergelijkingsster” bij verschillende belichtingstijden in beeld is gebracht.

Beide methoden vereischen dus, en ziedaar een eerste moeilijkheid, de theoretische kennis van het verband tusschen helderheid en belichtingstijd. Dit zou zoo eenvoudig mogelijk zijn indien de lichtsterkte (intensiteit i) d. i. hier de middellijn van het sterreschijfje, in dezelfde reden toeneemt als de belichtingstijd (t) vergroot wordt. Dit is echter niet het geval; de afwijkingen van de eenvoudige wet $i \times t = \text{constant}$ zijn vrij groot en grillig, daar zij afhangen van de gevoeligheid der plaat. Ze zijn dus verschillend voor de verschillende soorten van platen en bovendien voor platen van dezelfde soort die op hetzelfde tijdstip vervaardigd, maar op verschillende tijdstippen belicht zijn. Intusschen zijn deze bezwaren alleen een beletsel voor nauwkeurigheidsmetingen, bijv. voor de bepaling der helderheid in honderdste deelen eener grootteklasse; wil men deze niet nauwkeuriger kennen dan in tiende deelen daarvan, dan is de fotografische methode een uitstekend hulpmiddel.

Fotografisch-fotometrisch werk als hier beschreven, is uit den aard der zaak relatief; wat men meet zijn verhoudingen der intensiteiten en als men deze wil herleiden tot grootteklassen en niet een afzonderlijk onafhankelijk begrip „*fotografische grootteklasse*” wil invoeren, moet men de metingen herleiden op het *visueele* begrip grootteklasse.

Ook dit is niet gemakkelijk, immers de kleurgevoeligheid van het oog en die van de fotografische plaat liggen in verschillende deelen van het spectrum en de uitkomsten van deze beide kunnen dus alleen voor *witte* sterren overeenstemmen; hoe rooder een ster, des te grooter wordt het verschil, dat tot meer dan twee grootteklassen kan aangroeien.¹⁾ Met behulp van witte sterren heeft men echter in vele gevallen de gemeten fotografische helderheid tot visueele kunnen herleiden, terwijl in de laatste jaren meer dan ééne methode is voorgeslagen en beproefd om de verhouding van fotografische intensiteiten *nauwkeurig* af te leiden. Om hieruit echter tot grootteklassen te besluiten, is voorloopig nog een visueel nulpunt noodig.

Plaatsbepalingen en helderheidsmetingen van sterren voeren als vanzelf tot sterrencatalogi en sterrenkaarten. De catalogi zijn te onderscheiden in overzichts- en nauwkeurigheds-catalogi. Van de overzichtscatalogi noemen wij allereerst de z.g. *Bonner Durchmusterung*, geldende voor den aanvang van het jaar 1855, die in 4 deelen en 64 kaarten met behulp van een kleinen kijker aan de sterrenwacht te Bonn in het midden der 19^{de} eeuw door Argelander, Krüger en Schönfeld is samengesteld en op geen enkele sterrenwacht ontbreekt, omdat zij a. h. w. de klapper is op alle andere catalogi. De *Bonner Durchmusterung* is noch wat de sterrenplaatsen, noch wat de sterrenhelderheden betreft, nauwkeurighedswerk, maar daar zij alle sterren tusschen $+ 90^{\circ}$ en $- 23^{\circ}$ declinatie bevat, die helderder zijn dan 9^m en nog vele die zwakker zijn (te zamen ongeveer 460.000) heeft zij, bij gebrek aan beter, uitstekende diensten voor de z.g. „stellaire statistiek” bewezen, en zij vormt sedert haar ontstaan, door de practische en overzichtelijke samenstelling het A. B. C. van elken waarnemer. De indeeling naar volle graden declinatie maakt het ge-

¹⁾ Omgekeerd is het verschil tusschen de visueele en de fotografische helderheid van een ster een maat voor haar kleur. De 3^{de} der op bldz. 353 genoemde methoden van kleurbeplating berust dan ook (naar Schwarzschild) op de juiste beplating van deze „*Farbentönung*.”

makkelijk alle sterren te benoemen, daar het natuurlijk ondoenlijk is de sterren naar de oudere methode, door letters te blijven aangeven; de aanduiding van een ster als B. D. + 33° 2359¹⁾ is voor elken sterrenkundige, van welken landaard ook, begrijpelijk.

Het werk van Argelander is voor een deel van den Zuidelijken hemel vervolgd door de *Cordoba* —, voor een ander deel door de *Cape - Durchmusterung*. De laatste, geldende voor den aanvang van het jaar 1875, is de eerste fotografische catalogus, ten behoeve waarvan de 2400 platen, door Gill van 1885 tot 1889 aan de sterrenwacht te Kaapstad opgenomen, door Kapteijn te Groningen zij uitgemeten, een arbeid die hem 10 jaar heeft bezig gehouden. Deze catalogus bevat ongeveer 455000 sterren tusschen $\delta = -19^\circ$ en $\delta = -90^\circ$ en geeft de door meting van de middellijnen der sterreschijfjes gevonden fotografische helderheden in tiende deelen eener grootteklasse; hij staat uit den aard der zaak op een veel hooger peil van nauwkeurigheid dan de *Durchmusterung* van Argelander c. s.

Van de *nauwkeurigheidscatalogi* willen wij de twee grootste en voornaamste noemen.

1. De „*Sternkatalog der Astronomischen Gesellschaft*,” in het kort aangeduid als de *A. G.* catalogus. Hij bevat in 14 deelen nauwkeurige, met een meridiaancirkel bepaalde plaatsen van alle sterren tot en met de 9^m.0, die in de B. D. zijn opgenomen; dit zijn er ongeveer 130.000. Dertien sterrenwachten, waaronder die te Leiden, hebben sedert 1869 aan dezen omvangrijken arbeid deelgenomen; de catalogus A. G. Leiden is door Wilterdink bewerkt en in 1902 gereed gekomen.

De rechte klimming α is nu gegeven in 0^s.01, δ in 0'.1 en naast beide zijn in twee kolommen nauwkeurig berekende gegevens verstrekt om op eene aan den catalogus ontleende sterreplaats de praecessie (bldz. 22) toe te passen, waardoor

¹⁾ no. 2359 van de zône $\delta = + 33^\circ$.

de voor den aanvang van 1875 geldende plaats herleid kan worden op den aanvang van elk ander jaar. In de laatste kolom is voor elke ster haar B.D.-naam vermeld, waardoor de beteekenis van deze Durchmusterung als „klapper” op andere catalogi duidelijk uitkomt.

2. De „*Carte du Ciel*,” algemeen met den Franschen naam aangeduid, omdat de Congressen waarop deze onderneming besproken en geregeld is, alle te Parijs zijn bijeengekomen. De bedoeling, die men met dezen magistralen arbeid heeft, is door samenwerking van verschillende sterrenwachten in het bezit te geraken van 1° een *fotografischen* nauwkeurigheidscatalogus van alle sterren tot en met de 11^{m.o}; dit zijn er 3 à 4 millioen, en 2° een *fotografischen* atlas in 22054 bladen, bevattende alle sterren tot en met de 14^{m.o}; dit zijn er ongeveer 30 millioen. Na alles wat over de fotografische en fotometrische methoden en hare moeilijkheden gezegd is, zal het geen betoog behoeven dat deze opgave gemakkelijker gesteld dan opgelost kan worden. Een achttiental sterrenwachten over de geheele aardoppervlakte verspreid, hebben sedert 1892 elk een deel van het werk onderhanden, dat hen nog jaren lang zal bezig houden; zij zijn daartoe alle van hetzelfde instrument voorzien, n. l. van den reeds op bldz. 159 beschreven fotografischen refractor van $d = 34$ cm. $f = 340$ cm. Dit is de eerste stap, noodig om te geraken tot een homogeen resultaat; om dit zoo volledig mogelijk te bereiken moet men bovendien, geleid door theoretische en practische overwegingen, een zeer groot aantal technische moeilijkheden overwinnen, die de beschikbare ruimte ons niet toelaat hier te ontvouwen. De lezer zal echter geen moeite hebben zich in te denken in den omvang en den ernst van de hier besproken onderneming; wil het resultaat er werkelijk zóó uitzien alsof het door één waarnemer met één instrument, onder dezelfde gemiddelde klimaatsomstandigheden, tot stand gebracht is, dan moeten het vaststellen van belichtingstijden, het uitmeten der sterreplaatsen, het bepalen der helderheden, de aansluiting aan reeds bestaande catalogi a. a. even zoovele problemen vertegenwoordigen, die deels voorzien, deels uit

voorloopige proeven doorgrond moeten worden, en wie hierover meer wil weten leze het boeiend geschreven werkje „*The great star map*” van H. H. Turner,¹⁾ waarin hij de voorgeschiedenis, de besprekingen en plannen en de groote waarde van deze „*Carte du Ciel*” op bevattelijke wijze uiteengezet zal vinden.

B. Afstanden.

Evenals voor de leden van het zonnestelsel wordt de afstand der sterren bepaald door hare „*parallaxis*”; terwijl echter voor de eerste de straal der aarde daartoe de grondslag vormde en hun parallaxis de hoek is die aan het hemellicht dezen straal onderspant, is voor de laatste een veel langere basis noodig teneinde voor de parallaxis een bedrag te krijgen, dat tenminste ongeveer van dezelfde orde is als de met onze meetwerktuigen bereikbare nauwkeurigheid. Men heeft daarvoor gekozen de langste basis waarover een waarnemer op aarde beschikken kan, n. l. den straal van hare loopbaan; de parallaxis der sterren is dus het halve verschil in de richtingen Aarde—Ster voor twee plaatsen der aarde die een half jaar uiteen liggen.²⁾ Zelfs deze basis is te klein; voor verreweg de meeste sterren gaat n. l. ook bij haar de parallaxis schuil in de onvermijdelijke fouten der waarneming. Het aantal behoorlijk verantwoordde, langs *directen* weg gemeten sterre-parallaxen bepaalt zich dan ook tot enkele weinige honderden en voor alle andere moet men trachten ze op de een of andere *indirecte* wijze af te leiden. Dit beteekent dat de afstanden der sterren zeer onnauwkeurig bekend zijn, en voorloopig zullen blijven; een nog langere basis is niet verkrijgbaar, daar de waarnemer daarvan deel uit moet maken en men dus tot de afmetingen der aardbaan beperkt blijft³⁾ en een uitzicht op meer nauwkeurige methoden en instrumenten heeft zich nog niet voorgedaan.

1) Uitg. J. Murray, London. Prijs 2 sh. 6 d.

2) De excentriciteit der aardbaan kan hierbij buiten beschouwing blijven.

3) Wanneer de beweging van de zon in de ruimte (bldz. 366) eenmaal goed bekend zal zijn, vervalt deze beperking.

Zelfs van de dichtstbij zijnde sterren is de parallaxis een zóó kleine hoek, dat zij vóór de invoering der micrometers (bldz. 125) aan groote kijkers onmogelijk bepaald kon worden. Door hiermede op tijdstippen, die 6 maanden uiteen liggen, den schijnbaren afstand uit te meten van twee sterren, die wel te zamen in het veld van den kijker zichtbaar zijn, maar waarvan men vermoedt dat ze zich op zeer verschillende afstanden van ons bevinden, kan men, zooals wij dit reeds op bldz. 182 bespraken, tot het vaststellen van een geringe plaatsverandering der dichtst bij zijnde ster komen. Een dergelijk vermoeden kan op twee verschillende feiten gegrond worden; vooreerst kan men aannemen dat gemiddeld de heldere sterren dichter bij zijn dan de zwakkere en ten tweede kan men hetzelfde veronderstellen van een ster, die een betrekkelijk groote jaarlijksche eigen beweging (E. B.) bezit.¹⁾ Deze overwegingen hebben inderdaad geleid tot de eerste parallaxismetingen van Bessel en Struve omstreeks 1837. Bessel koos een ster met groote E. B. (61 *Cygni*), Struve een ster van groote helderheid (*Wega*) en van beiden werden de pogingen met goeden uitslag bekroond; de parallaxis van 61 *Cygni* bleek te zijn $0''.35$, die van *Wega* $0''.26$, welke laatste waarde intusschen veel te groot was. Tegelijkertijd trachtten Henderson en Maclear aan de Kaapsche sterrenwacht de parallaxis eener ster te vinden, door geruimen tijd achtereen hare *absolute* plaatsen aan den hemel met een meridiaan-cirkel te bepalen; wij zagen op bldz. 27 hoe dan in den loop van een jaar de gemeten plaatsen gelegen zijn op den omtrek van een zeer kleine ellips, te kleiner naarmate de ster op grooteren afstand staat. Zij kozen hiervoor de heldere ster α *Centauri*, die een zeer groote parallaxis van $0''.76$ bleek te bezitten, een waarde die ook thans nog door geen andere wordt overtroffen.

De beide boven behandelde methoden worden ook thans nog algemeen toegepast, de eerste, de *relatieve*, het meest,

¹⁾ Hierover wordt onder *C* (bldz. 366) afzonderlijk gehandeld.

vooral met den heliometer, de tweede, de *absolute*, minder veelvuldig; deze methode is echter door Kapteijn eenigszins gewijzigd, teneinde de stelselmatige fouten waarmede zij behept was, onschadelijk te maken en in dezen gewijzigden vorm vindt zij meer en meer toepassing.

De parallaxen der zeer heldere sterren zijn thans alle gemeten; daarbij is gebleken dat groote helderheid en geringe afstand *niet* samen gaan, zooals uit de onderstaande tabel ten duidelijkste blijkt. De daarin opgenomen sterren zijn (zie de tabel op bldz. 41/352) de helderste van den hemel, en toch blijken de parallaxen π daarvan, ontleend aan de jongste gegevens daarover¹⁾ zeer verschillend te zijn.

Ster	Eigen naam	π	Ster	Eigen naam	π
α Centauri		0".76	β Geminorum	Pollux	0".06
α Canis maioris	Sirius	0.38	α Leonis	Regulus	0.03
α Canis min.	Procyon	0.32	α Orionis	Betelgeuze	0.03
α Aquilae	Altair	0.23	α Scorpii	Antares	0.03
α Piscis austr.	Fomalhaut	0.14	α Geminorum	Castor	0.03
α Lyrae	Wega	0.09	α Argus	Canopus	0.01
α Boötis	Arcturus	0.07	α Cygni	Deneb	onmerkbb.
α Tauri	Aldebaran	0.07	α Virginis	Spica	onmerkbb.
α Aurigae	Capella	0.07			

Een groote E. B. is een eenigszins beter criterium dan groote helderheid, maar ook hier is een algemeene regel niet uitgesproken; *Arcturus* bijv. heeft, behalve zeer groote helderheid, ook een groote E. B. en toch geen opvallend groote parallaxis.

De langs bovenstaanden weg direct gemeten afstanden bepalen zich natuurlijk slechts tot een zeer gering aantal sterren; een zeer veel grootere oogst verkrijgt men door het uitmeten van fotografische platen naar in het bijzonder voor dit doel verrichte opnamen, waaraan, het is reeds

1) List of parallax determinations compiled by Prof. J. C. Kapteijn and Dr. H. A. Weersma. Publ. of the Astr. Laboratory at Groningen N°. 24 (1910).

vroeger (bldz. 155) gezegd, de allerhoogste eischen gesteld moeten worden. Een zeer vernuftige methode is die van Kapteijn, volgens welke de plaat na de eerste opname *onontwikkeld* bewaard wordt en zes maanden later opnieuw, thans een gering bedrag verschoven, aan het licht der sterren wordt blootgesteld. Wordt hierna de plaat wederom zonder ontwikkelen opgeborgen en een jaar na de 1^{ste} opname nog eens belicht en dan ontwikkeld, dan zijn er van elke ster drie beelden zichtbaar, waarvan de nos. 1 en 3 kunnen leiden tot het vinden der E. B. (immers twee sterreplaatsen, die een jaar na elkaar gemeten zijn, kunnen geen parallaxische verschuiving vertoonen) en de nos. 1 en 2; 2 en 3 tot het vinden der parallaxis, waarbij nu met de gevonden E. B. rekening gehouden kan worden.

Ook hierbij dus geen *absolute* parallaxen, maar relatieve, d. w. z. een overmaat van parallaxis ten opzichte van een gemiddelde van alle op de plaat afgebeelde sterren. Dergelijke waarnemingen en metingen behooren vooral door de moeilijkheid van het vermijden van kleine stelsclmatige fouten tot het fijnste en daardoor zwaarste astronomische werk, en de tot nu toe verkregen resultaten zijn niet zeer talrijk.

Wil men, bijv. ten behoeve van eenig statistisch onderzoek, de parallaxen van een groot aantal sterren *ongeveer* kennen, dan moet men in de meeste gevallen toch weder zijn toevlucht nemen tot de criteria: groote helderheid (H) en groote E. B. Men maakt dan uit een zoo groot mogelijk aantal sterren, waarvan deze twee elementen en bovendien de parallaxis bekend is, een tabel op welke het verband tusschen deze drie geeft, *en laat deze tabel ook voor andere sterren gelden*. Het onderstaande, aan de onderzoekingen van Kapteijn ontleende voorbeeld, moge dit verduidelijken.

E. B. p. jaar	H	m	m	m	m	m
		1.0	3.0	5.0	7.0	9.0
0.0		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.1		0.03	0.02	0.02	0.02	0.01
0.2		0.05	0.04	0.03	0.03	0.02
0.5		0.10	0.08	0.06	0.05	0.04
1.0		0.15	0.13	0.10	0.08	0.07
2.0		0.25	0.21	0.17	0.14	0.11
4.0		0.41	0.34	0.28	0.23	0.19

Van een ster der 7^{de} grootte, die een E. B. van 2".0 heeft, neemt men dus aan dat de parallaxis 0".14 bedraagt.

Ook op andere wijzen kan men in bijzondere gevallen van een ster een schatting omtrent de parallaxis wagen; die gevallen zijn 1. wanneer de ster een dubbelster is; 2. wanneer zij met andere sterren vereenigd is tot een groep met gemeenschappelijke E. B. Wij komen hierop nader terug.

Uit de parallaxis en den straal van de aardbaan (149.5 mill. KM.) volgt de afstand eener ster in KM.; onze gebruikelijke lengtematen zijn echter ten eenenmale onvoldoende om een sterre-afstand daarin uit te drukken en daarom heeft men een lengte-eenheid ingevoerd, die den door het licht in één jaar doorloopen weg voorstelt. Deze eenheid heet een lichtjaar; een ster met een parallaxis van 1" staat op een afstand van $3\frac{1}{4}$ van deze eenheden. Wij geven in de volgende tabel nog eene lijst van direct gemeten parallaxen methun aequivalent in lichtjaren en de waarschijnlijke fout (w. f.) d. i. de onzekerheid die de parallaxis nog aankleeft. Zulk eene opgave is nuttig, omdat ze duidelijk toont dat het meten van sterreparallaxen onder het allermoeilijkste astronomische werk gerangschikt moet worden en van vele sterren het resultaat veel van zijne waarde verliest, doordat de onzekerheid die er in ligt nagenoeg even groot is.

Ster	π	w. f.	Methode	l. j.
	"			
β Cassiopeiae	0.135	0.028	vis.	24
" "	0.082	0.009	fotogr.	40
β Hydrae	0.134	0.007	vis.	24
η Cassiopeiae	0.443	0.043	fotogr.	7
μ Cassiopeiae	0.07	0.026	vis.	47
" "	0.275	0.024	fotogr.	12
θ Ceti	0.09	0.056	vis.	36
δ Cassiopeiae	0.029	0.026	vis.	112
β Aurigae	0.015	0.018	fotogr.	217
θ Ursae maioris	0.052	0.026	vis.	63
ξ Ursae "	0.171	0.042	vis.	19
τ Boötis	0.029	0.055	fotogr.	112
γ Serpentes	0.090	0.043	vis.	36
ϱ Coronae bor.	0.023	0.045	vis.	142
η Herculis	0.40	0.072	vis.	8
γ Draconis	0.10	0.02	fotogr.	33
β Cygni	0.61	0.03	fotogr.	5
σ Draconis	0.243	0.016	vis.	13
θ Cygni	0.062	0.035	vis.	53
η Cephei	0.088	0.037	vis.	37
ι Piscium	0.138	0.059	vis.	24

Wat deze onzekerheid in lineaire maat beteekent is gemakkelijk te berekenen; ze bedraagt voor de heldere sterren gemiddeld $0''.02$ d. i. $\frac{2}{100} \times 3\frac{1}{4} \times 365 =$ ongeveer 24 lichtdagen d. i. $24 \times 24 \times 60$ lichtminuten en daar de zon op een afstand van 8 lichtminuten staat, overeenkomende met ongeveer 150 mill. KM., zoo kan men zeggen dat er in de direct gemeten afstanden der heldere sterren een onzekerheid is van ongeveer $180 \times 24 \times 150$ mill. KM.

Wij willen ten slotte nog wijzen op het groote belang van nauwkeurige parallaxis-metingen van de sterren die zich aan het oog als een sterrengroep of sterrenhoop voordoen; deze alleen kunnen uitmaken 1° . of de opeenhooping schijn of werkelijkheid is, en 2° . of zulk eene groep ongeveer op denzelfden afstand staat als de enkelvoudige sterren,

of, zooals men wel eens gemeend heeft, op zeer veel grooteren afstand, a.h.w. als een ander Heelal dan het onze. Ook op dit gebied hebben Kapteijn en de Sitter groote diensten aan de sterrenkunde bewezen.

C. Bewegingen.

De werkelijke E. B. der sterren in het Heelal kan alleen dan bekend worden, indien wij de twee ontbondenen kennen, waaruit zij voor den waarnemer op aarde natuurlijkerwijze is samengesteld, n.l. de beweging *in-*, en die *loodrecht op de gezichtslijn*. De eerste van deze ontbondenen, de z.g. radiale eigen beweging¹⁾ leeren wij, zooals in het Achtste hoofdstuk besproken is, kennen uit geringe verplaatsingen van de lijnen in het spectrum der ster, de tweede, de z.g. schijnbare eigen beweging door verplaatsingen der ster zelve *aan de sfeer*, verplaatsingen welke met die, waarvan de parallaxis de oorzaak is, niet verward kunnen worden, daar in de laatste een periode aanwezig is, in de E. B. echter niet. Deze E. B. kan dus gevonden worden uit een zorgvuldige vergelijking van goede catalogi, die ettelijke jaren na elkaar zijn samengesteld, en het bepalen van dezen component kan dus met betrekkelijk geringe moeite geschieden; de andere component echter, de radiale E. B., kan alleen van heldere sterren gevonden worden, aangezien daartoe aan de spectra van zwakkere sterren geen voldoende dispersie gegeven kan worden, en zodoende kan men van de *werkelijke* bewegingen der sterren, in de ruimte hetzelfde zeggen als van hare afstanden: voorloopig zal onze kennis daaromtrent tot een zeer klein aantal sterren beperkt blijven.

1. De E.B. van de Zon.

Wij hebben in het Achtste hoofdstuk uitvoerig besproken hoe men uit de verplaatsing der lijnen in een waargenomen spectrum kan afleiden, dat de lichtbron en de waarnemer *elkaar* naderen of zich van *elkaar* verwij-

¹⁾ Veelal spreekt men ook van de radiale *snelheid*.

deren. Willen wij dus in het geval van een sterrespectrum de beweging van de lichtbron afleiden, dan moet daartoe die van den waarnemer bekend zijn. Voor een deel levert dit geen bezwaar op; de beweging van de aarde om de *Zon* is met groote nauwkeurigheid bekend en haar invloed op de lijnverplaatsingen in het spectrum van een in een willekeurige richting zichtbare ster is altijd zuiver te berekenen (zie bldz. 151); dat bovendien de waarnemer zich met het geheele zonnestelsel in de ruimte voortbeweegt is niet a priori zeker, maar toch zeer waarschijnlijk. De *Zon* toch is een ster, die noch in helderheid, noch in ontwikkeling een eenigszins bijzondere plaats onder de andere sterren bekleedt; geplaatst op den afstand van *Capella* bijv. zou zij zich aan ons vertoonen als een ster, die juist voor het bloote oog zichtbaar was. Het is dus te verwachten dat ook zij, evenals de meeste andere sterren, een E. B. zal bezitten. Dit is dan ook het geval, maar het vaststellen van de richting en snelheid daarvan is niet gemakkelijk, omdat de waarnemer aan de beweging deelneemt en haar dus alleen kan bespeuren indien zich ergens *vaste* merkteekens bevinden. Wanneer een zeeman een zee-engte moet doorvaren en weten wil of zijn schip de snelheid van den tegenstroom overwint, bepaalt hij met behulp van het kompas de richting van vaste merken op den wal en teekent op de kaart de plaats van het schip als snijpunt van de gemeten richtingen aan; herhaalt hij dit na eenigen tijd, dan geeft de nieuwe plaats hem de gevraagde aanwijzing. Een astronoom kan dit echter niet doen, omdat hij geen kaart te zijner beschikking heeft. De zeeman kan echter ook antwoord op zijn vraag krijgen door op gezette tijden den hoek te meten tusschen twee merken ter weerszijden van zijn weg. Beweegt hij zich inderdaad vooruit, dan zal die hoek voor vóór hem geplaatste merken steeds grooter, voor merken die hij achter zich laat steeds kleiner worden, tot ze ten slotte door perspectiefwerking schijnen samen te vallen. Dit beginsel kan de astronoom zich wél ten nutte maken; men behoeft slechts het schip door de *Zon* en de

landmerken door de sterren te vervangen om het naar het Heelal over te brengen, maar nu wordt de toepassing ervan bemoeilijkt door de omstandigheid dat de sterren geen *vaste* merken zijn! Het *beginsel* gaat echter niet verloren en als wij aannemen dat onze merken zonder bepaalde regelmaat van plaats veranderen en wij zorgen dat wij er voor ons onderzoek zooveel mogelijk gebruiken, zal de streek van den hemel die wij vóór ons hebben zich perspectivisch *openen*, de streek die wij achter ons laten zich perspectivisch *sluiten*, en het ontdekken van die streken leidt onmiddellijk tot de oplossing van het ons gestelde probleem. Dat verschillende waarnemers daarbij tot verschillende uitkomsten geraakt zijn, ligt voor de hand; vooreerst gebruikten zij niet allen hetzelfde materiaal en bewerkten het niet op dezelfde wijze, maar bovendien is het niet zeker dat de gemaakte onderstelling juist is. Integendeel, er zijn de laatste jaren aanwijzingen te over, dat de sterren zich volstrekt niet zonder regelmaat door elkaar heen bewegen, maar de gegevens daarover zijn nog te onzuiver om in het onderhavige geval met succes toegepast te kunnen worden. Onderstaande tabel geeft eenige uitkomsten van de onderzoekingen over de E. B. der Zon; de 2^{de} en 3^{de} kolom geven de plaats van het punt aan de sfeer, waarheen de beweging gericht is. Dit punt heet de *Apex*, het centrum van perspectief achter ons de *Anti-apex* van de zonsbeweging.

Berekenaar	Apex	
	α	δ
Newcomb	277°.5	+ 38°.0
Kapteijn	274.8	+ 29.8
Boss	275	+ 45
Weersma	267.7	+ 31.4
Dziewulski	268.4	+ 27.2

Om deze uitkomsten te verkrijgen, heeft men intusschen niet de *werkelijke* E. B. der sterren, maar slechts één der

componenten, n. l. de schijnbare E. B. gebruikt. Dit doet, in de gemaakte onderstelling aan het resultaat geen afbreuk; als de werkelijke E. B. zonder regelmaat verlopen, geldt dit ook voor hare componenten, doch met het oog op de mogelijkheid dat deze onderstelling onjuist is, is het van groot belang hetzelfde onderzoek ter hand te nemen voor den anderen component, de radiale E. B. Zooals wij reeds zeiden, is daarbij echter het beschikbare materiaal zeer veel kleiner en de uitkomst dus minder nauwkeurig. Uit eene bestudeering van de radiale snelheden van 280 sterren vond Campbell in 1900 voor den Apex $\alpha = 277^\circ$ $\delta = + 20^\circ$ en voor de snelheid der zonsbeweging: $V = 20$ KM/sec., terwijl in 1909 Hough en Halm uit 490 sterren vonden: $\alpha = 271^\circ$ $\delta = + 26^\circ$ $V = 21$ KM/sec.

Van de beweging der *Zon* in de ruimte kan men dus niet meer zeggen, dan dat zij ongeveer gericht is naar een plek aan den hemel op de grens der sterrenbeelden *Lier* en *Hercules*.

2. De radiale E. B. der Sterren.

Eerst na de invoering der fotografische methoden en de daarmede gepaard gaande verbeteringen in de techniek der groote spectroscopische instrumenten, is het gelukt de snelheid der sterren in de gezichtslijn te meten met een nauwkeurigheid, die meestal toelaat van de uitkomst tot op 1 KM/sec. zeker te zijn. Daar het hierbij vooral op groote dispersie aankomt, kan het werk alleen aan groote, lichtsterke instrumenten ondernomen worden en aan deze is het dan ook te danken (zie Fig. 103) dat onze kennis der radiale snelheden zich niet is blijven bepalen tot die van het vijftiental zeer heldere, maar tot die van eenige honderden die daarop in helderheid volgen, is uitgebreid. De verplaatsing der spectraallijnen heeft tot oorzaak de bewegingscomponenten langs de gezichtslijn van ster en waarnemer beiden; hiervan is er één periodiek, n. l. die van de beweging der aarde in haar baan; krachtens deze beweging is de radiale snelheid van den waarnemer

nu eens naar de ster toe-, dan weer van de ster af gericht. Verwijdert de ster zich dus bijv. van het zonnestelsel, dan zal in het laatste geval een *grootere* verplaatsing der spectraallijnen gemeten worden, terwijl in het eerste geval de radiale component der aardbeweging in *minderung* van de te meten lijnverplaatsing komt. Een praktisch voorbeeld moge dit toelichten: 7 Nov. 1888 werd de radiale beweging van α Ursae majoris gemeten als $- 31$ KM., en den 22sten Mei 1889 als $+ 6$ KM.¹⁾ Dit verschil is geheel op rekening van de beweging der aarde in haar baan te stellen; hare snelheid in de ecliptica is 30 KM., de ontbondene daarvan in de richting naar α Ursae majoris is nagenoeg 19 KM., maar in November verwijdert zij zich van de ster, in Mei nadert ze haar en de radiale snelheid van de ster is dus resp. $- 31 + 19 = - 12$ KM. en $+ 6 - 19 = - 13$ KM.

Op de aldus verkregen radiale E. B. der ster ten opzichte van de *in rust onderstelde* zon, moet nu nog de onder 1 behandelde snelheid van het zonnestelsel worden toegepast om de absolute radiale E. B. der ster te krijgen; het bedrag van deze correctie hangt af van het verschil in de richtingen Zon-Ster en Zon-Apex en is *nul* wanneer deze richtingen loodrecht op elkaar staan. Daar echter de snelheid van het zonnestelsel zooals wij zagen slecht bekend is, de aan te brengen correcties derhalve onnauwkeurig en de werkelijke bewegingen der sterren toch niet afgeleid kunnen worden wanneer niet *beide* componenten bekend zijn, geeft men er de voorkeur aan de radiale snelheden der sterren altijd *ten opzichte van de zon* te geven. Hetzelfde geldt voor den onder 3 te behandelen tweeden component.

Wij geven in de onderstaande tabel de radiale snelheden van dezelfde sterren, waarvoor op bldz. 362 de parallaxis gegeven is.

¹⁾ Het negatieve teeken duidt op een nadering, het positieve op een verwijdering.

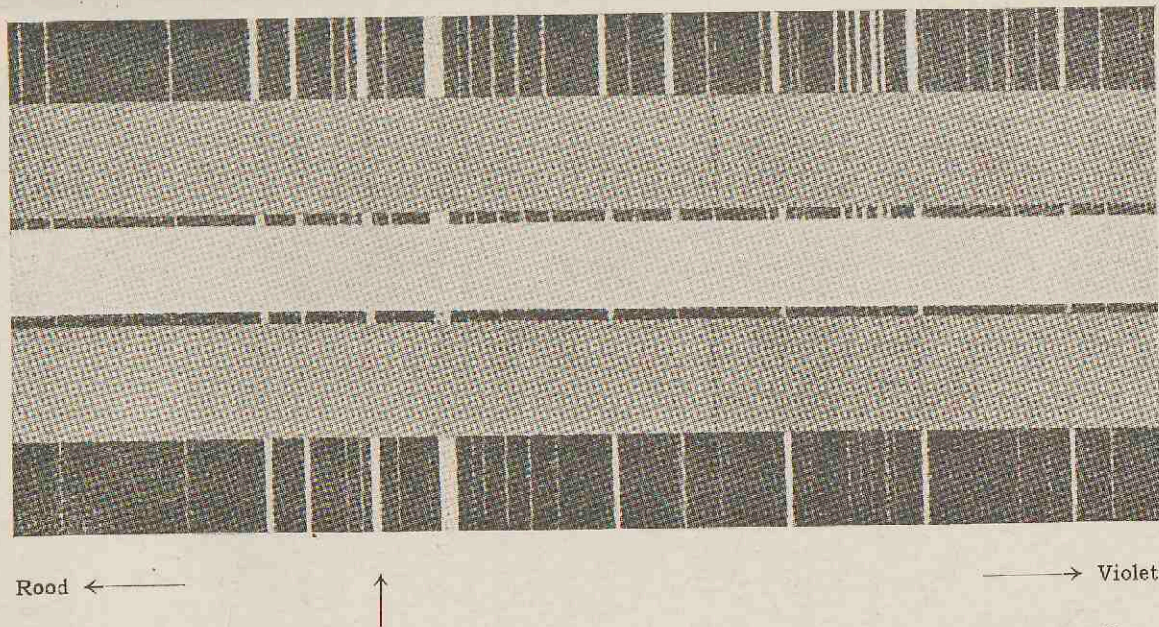
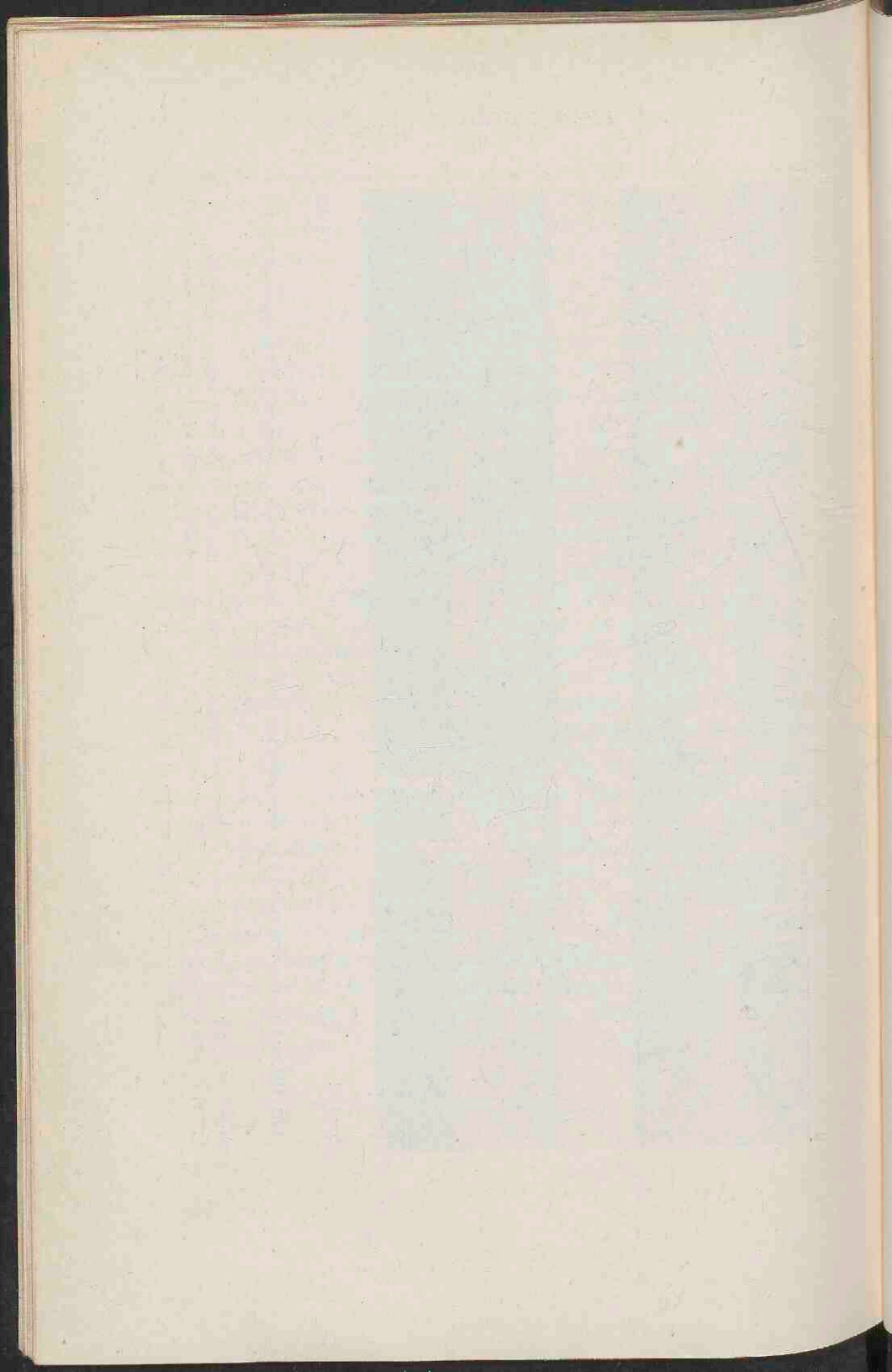


FIG. 103. RADIALE SNELHEID VAN DE SPECTROSCOPISCHE DUBBELSTER α DRACONIS. HELDERHEID $3^m.3$.
(Uit: The Astrophysical Journal XXIII).

Boven: de ster nadert de aarde met een snelheid van 41 K.M. per sec.; lijnverschuiving naar violet.
Onder: de ster verwijdert zich van de aarde met een snelheid van 24 K.M. per sec.; lijnverschuiving naar rood.
Het vergelijkingsspectrum is (evenals in Fig. 105) dat van titanium.



Ster	Eigen naam	V_r	Ster	Eigen naam	V_r
α Centauri		- 22	β Geminorum	Pollux	+ 3
α Canis maioris	Sirius	- 8	α Leonis	Regulus	- 6
α Canis minoris	Procyon	- 4	α Orionis	Betelgeuze	+ 11
α Aquilae	Altair	- 33	α Scorpii	Antares	- 3
α Piscis austr.	Fomalhaut	—	α Geminorum	Castor	- 18
α Lyrae	Wega	- 15	α Argus	Canopus	+ 20
α Boötis	Arcturus	- 3	α Cygni	Deneb	onz.
α Tauri	Aldebaran	+ 56	α Virginis	Spica	+ 2
α Aurigae	Capella	+ 34			

Uit deze tabel blijkt dat de snelheid der zon, vergeleken bij die van andere sterren, niet bijzonder groot of opvallend klein is; de grootste radiale snelheid is gemeten bij een ster van den Zuidelijken hemel; ze bedraagt 242 KM./sec.

De hier besproken radiale snelheden zijn binnen de fouten der waarneming gedurende langen tijd als constant te beschouwen; zijn ze dit niet, dan bewijst dit dat de verschuiving der spectraallijnen nog *aan een andere beweging* te wijten is dan aan de eigenlijke ruimtebeweging der ster. Het licht dat in den spectroscop onderzocht wordt is dan niet afkomstig van één enkele ster, maar van een *stelsel* van hemellichten, waarin bewegingen plaats hebben, die een periodieke verandering der gemeten verschuivingen veroorzaken op dezelfde wijze als de beweging der aarde rond de zon dit doet. In het Zeventiende hoofdstuk komen wij hierop nader terug.

3. De schijnbare E. B. der Sterren.

De beweging der sterren loodrecht op de gezichtslijn, de op de sfeer geprojecteerde werkelijke E. B., kan visueel en fotografisch worden gevonden. Visueel is er slechts ééne, reeds boven genoemde methode, n. l. de onderlinge vergelijking van sterrencatalogi of sterrenplaatsen, die op ver uiteen liggende tijdstippen vervaardigd of verkregen zijn; in tegenstelling met den sub 2. behandelden, kan *deze*

component der werkelijke E. B. niet als een *snelheid* gegeven worden; *tenzij tevens de afstand der ster bekend is*, met behulp waarvan men de gemeten boogmaat kan omzetten in lineaire maat.

De schijnbare E. B. der sterren is zéér gering, zoo gering dat men ze na honderden jaren nog niet met het bloote oog kan bemerken; men geeft ze gewoonlijk in hoogseconden per jaar en spreekt daarom meestal, met weglating van het woord schijnbaar, van „de jaarlijksche E. B. der sterren.” Bij het afleiden daarvan doet zich het gemis aan nauwkeurigheidscatalogi uit vroegere eeuwen ten zeerste gevoelen; de eerste die als zoodanig waarde heeft is die van Bradley (1692—1762). Hij bevat ongeveer 3200 sterren en kwam omstreeks 1755 gereed. Naarmate de catalogi uitgebreider en nauwkeuriger werden, kon ook het aantal goed bekende E. B. vergroot worden, zoodat Boss in staat was in 1910 een catalogus te geven, die de jaarlijksche E. B. van 6188 sterren bevat.

Ook uit eene bestudeering van fotografische platen kan men de jaarlijksche E. B. der sterren leeren kennen; de methoden die daarbij gebruikt worden zijn de volgende:

a. de *absolute* methode; men meet twee fotografische opnamen uit van dezelfde hemelstreek, maar met een groote tijdsruimte daartusschen verkregen, en vergelijkt de afgeleide sterreplaatsen.

b. de *relatieve* methode; men fotografeert op verschillende tijdstippen telkens dezelfde hemelstreek, desnoods (Fig. 104) op dezelfde plaat, en leidt door een bepaalde rekenmethode de E. B. der sterren af uit de *onderlinge* plaatsen der sterren op de verschillende opnamen.

Welke methode men ook voor het afleiden van eigen bewegingen aanwendt, altijd vindt men een zeer klein bedrag, een bedrag dat slechts zelden grooter is dan $1''$. De grootste waarde is (Fig. 104) ruim $8''$ (ééne ster) en slechts 47 sterren hebben een E. B. grooter dan $1''.5$. Merkwwaardigerwijze wordt de grootste jaarlijksche E. B. gevonden bij dezelfde (Zuidelijke) ster die de grootste radiale snelheid

heeft, en daar van deze ook de parallaxis ($0''.31$) bekend is, kan hare *werkelijke* E. B. berekend worden; zij blijkt te zijn 275 KM. per sec. in eene nauwkeurig bekende richting. Dit is eene snelheid, waarbij die van de zon geheel in het niet valt, maar het is, zooals wij zeiden, een uitzonderings-

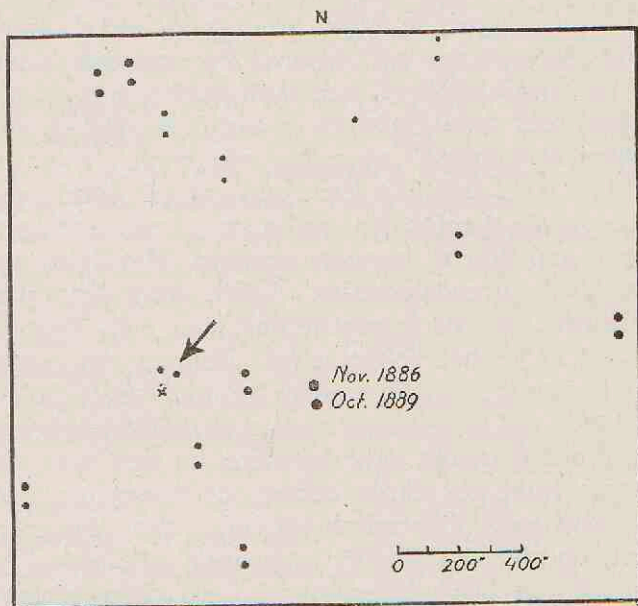


FIG. 104. STER MET GROOTE JAARLIJSCHE E. B. ($8''.7$)
ONTDEKT DOOR KAPTEYN.

De opnamen liggen drie jaar uiteen; de orientatie der beelden is alleen voor de door de pijl aangeduide ster sterk veranderd.

geval. Wij brengen hierbij in herinnering dat zelfs een schijnbare E. B. als hier wordt waargenomen, n. l. $8''.7$, zich op een fotografische plaat nauwelijks met het bloote oog bemerkbaar laat; zij beteekent in het brandvlak van den Yerkes-refractor een jaarlijksche verschuiving van 0.7 mm.!

De hier besproken eigen bewegingen zijn binnen de fouten der waarneming grootcirkelbogen; waar men een duidelijke

afwijking hiervan waarneemt, kan men, evenals bij de veranderlijke radiale snelheden, aannemen dat de ster geen enkelvoudige is. Ook hierop komen wij in het Zeventiende hoofdstuk nader terug.

4. *De werkelijke E. B. der Sterren.*

Uit het bovenstaande blijkt voldoende, dat de werkelijke beweging der sterren niet bekend kan worden tenzij men kent: *a.* de radiale snelheid, *b.* de jaarlijksche E. B., *c.* de parallaxis. Voor zéér weinig sterren is aan deze eischen voldaan; één uitzonderingsgeval noemden wij reeds en er zijn er meer, maar veel grooter kan hun aantal voorloopig niet worden, daar de spectra der zwakkere sterren niet op radiale snelheden onderzocht kunnen worden. Het lijkt derhalve hopeloos, vaste grondslagen te vinden voor den opzet van het vraagstuk van de samenstelling van het sterrenstelsel en de wetten die het beheerschen; immers een eerste vereischte daartoe is de nauwkeurige kennis van de helderheid, den afstand, de beweging en den ontwikkelingsgang van een zoo groot mogelijk aantal sterren en van deze vier zijn er drie moeilijk, de vierde echter, de beweging, vooreerst *niet* te verkrijgen. Daarom heeft men, door den nood gedwongen, de sterrenstatistiek nagenoeg uitsluitend uit de *schijnbare* eigen bewegingen opgebouwd. Een uitzondering kan alleen dan gemaakt worden, als de *beide* componenten bekend zijn en het is inderdaad gelukt een enkele belangrijke ontdekking te doen, waaraan de werkelijke E. B. der sterren ten grondslag ligt. Die ontdekking was een gevolg van de vraag of er in het Heelal sterren zijn, die hoewel zich bewegende op afstanden van ettelijke lichtjaren, toch bijeen hooren, een gemeenschap vormen met één doel. Voor een eerste onderzoek in deze richting is men aangewezen op de sterren die hetzij door een bijzondere groepeerings, hetzij door een opvallende overeenkomst in één of meer der bovengenoemde vier elementen daarvan allereerst verdacht mogen worden. Inderdaad is men hierbij tot resultaten gekomen die ten zeerste de aandacht trekken. Van de *Pleiaden*, van

een grootere sterrengroepeering in den *Stier* en van de groepeerings van 5 der heldere sterren van den *Grooten Beer*, is men nagenoeg zeker dat zij bijéén hooren. Voor de laatste groepeerings zijn de uitkomsten het meest overtuigend, omdat hare sterren helder genoeg zijn om op radiale snelheid onderzocht te worden. Ludendorff heeft in de allerlaatste jaren dit stelsel aan een nauwgezette bestudeering onderworpen en gevonden dat werkelijk deze sterren een even groote en gelijkgerichte beweging hebben, met een snelheid van 19 KM./sec., naar een punt aan de sfeer dat $\alpha = 309^\circ$ $\delta = -42^\circ$ heeft. Deze ontdekking wordt nog belangrijker, nu Hertzsprung aangetoond heeft dat nog vier sterren, op zeer verschillende punten aan de sfeer geplaatst, naar alle waarschijnlijkheid, en drie andere stellig, leden van deze zelfde gemeenschap zijn. Deze laatste zijn α *Coronae*, β *Aurigae* en *Sirius*. Een uitgebreid veld voor nieuwe ontdekkingen ligt hier nog braak.

De resultaten voor de groepeerings in den *Stier* (waartoe ook een aantal der *Hyaden* behooren) zijn nog niet zoo overtuigend, daar men slechts van enkele sterren de radiale E. B. heeft kunnen meten; hier loopen echter van niet minder dan 41 sterren de schijnbare E. B. nagenoeg naar hetzelfde punt aan de sfeer en hebben hetzelfde bedrag, en dit kan bezwaarlijk aan het toeval te wijten zijn. Deze groepeerings neemt thans aan den hemel een ruimte van 344 vierkante graden in, maar ze verwijdert zich van het zonnestelsel; hare schijnbare oppervlakte wordt dus steeds kleiner en na 65 miljoen jaren kan ze het luttele bedrag van 20' bereiken hebben. De wijdvertakte groepeerings is dan een z. g. „compacte sterrenhoop” geworden.

De ontdekking van dergelijke groepeerings van te zamen blijvende sterren, van „*migrating stars*” zooals Turner ze gedoopt heeft, is, daar ze grootendeels gegrond is op de werkelijke bewegings der sterren, als een gedocumenteerd feit te beschouwen. Om zich een denkbeeld te kunnen vormen over den bouw van het sterrenstelsel, moet men echter ruimere, zij het dan minder nauwkeurige wegen inslaan; daartoe

heeft men ingezien dat men even goed één der componenten der E. B. benutten kan, mits men dezen beschouwt van een zéér groot aantal sterren; naarmate dit aantal grooter wordt zullen de uitkomsten minder gaan afwijken van, of zooals men het noemt *convergeeren* tot die welke men verkrijgen zou indien men de beide componenten in de rekening betrokken had. Alle statistische onderzoekingen der laatste jaren, waaraan de naam van Kapteijn zoo nauw verbonden is, hebben dan ook tot grondslag de schijnbare (jaarlijksche) eigen bewegingen, *niet* de werkelijke; één van de hier bedoelde ontdekkingen is die van de sterrenstroomen.

5. De Sterrenstroomen.

Eene bestudeering van 2400 eigen bewegingen leerde Kapteijn in 1904 dat de onderstelling, die (zie bldz. 368) aan de berekening van den Apex der zonsbeweging ten grondslag was gelegd, onjuist was, hetgeen vóór hem wel door anderen was opgemerkt, doch waarvan zij de oorzaak niet hadden opgespoord. Die onderstelling luidde dat de E. B. der sterren willekeurig verdeeld waren, dat men dus a priori alle richtingen met dezelfde kans op succes voorspellen kan, en als dit vermoeden juist is, dan moet de bestudeering van zeer vele E. B. ten opzichte van een in rust gedacht zonnestelsel tot uitkomst geven, dat er daaronder ééne bevoorrechte richting is, n.l. die welke tegengesteld is aan de richting waarin de zon zich beweegt, de richting dus naar den Anti-apex. Dit bleek echter niet het geval te zijn; bij de 2400 bewegingen werden *twee* bevoorrechte richtingen opgemerkt, waarvan er eene nagenoeg naar den Anti-apex loopt, de andere echter naar een geheel ander punt aan de sfeer. De waarde van wat hier een bevoorrechte richting genoemd is moge met een enkel woord verduidelijkt worden: oppervlakkig beschouwd zijn onder de 2400 bewegingen alle richtingen vertegenwoordigd, maar men kan aan het oppervlakkig oordeel ontkomen door zich een mathematisch criterium te stellen. Zijn werkelijk alle richtingen even waarschijnlijk en kiest men er daarvan ééne

uit, dan kan men verwachten dat er een zeker aantal een hoek van bijv. 2° daarmede maken, een *gelijk* aantal een hoek van 4° enz. Er is geen enkele reden waarom die aantallen van elkaar zullen verschillen; maar als men een richting kan uitkiezen zóó, dat een zeer groot aantal richtingen er een kleinen hoek mede maken en grootere hoeken telkens door een kleiner aantal richtingen vertegenwoordigd worden, dan heeft men het recht te zeggen dat er voor die gekozen richting een „voorkeur” blijkt te bestaan. Bij het onderzoek van Kapteijn bleken er, zooals gezegd, *twee* van dergelijke richtingen te zijn; ze zijn later meer dan eens door andere onderzoekers afgeleid, en de uitkomst is voor de eerste der genoemde richtingen bijna altijd dezelfde gebleken. Voor de tweede richting echter loopten de resultaten sterk uiteen; ook hierbij ontkomt men niet aan de bezwaren die elken statistischen arbeid bemoeilijken: de uitkomsten zijn in hooge mate afhankelijk van het gekozen materiaal en de wijze waarop het verwerkt wordt.

Sedert de ontdekking van Kapteijn spreekt men van de twee sterrenstroomen van het Heelal; hoewel minder gedocumenteerd dan de „migrating stars” vormen zij toch een belangrijke grondslag om stap voor stap in het moeilijke probleem voorwaarts te schrijden.

D. de Spectra.

Terwijl eene indeeling der sterren naar hunne afstanden en bewegingen in de eerste plaats dienstig moet zijn voor het algemeen, heeft de laatst te bespreken indeeling tevens in hooge mate waarde voor de individuen, want al is nog altijd niet de lijn zuiver vastgelegd die het uiterlijk van een sterrespectrum bindt aan het stadium van hare ontwikkeling, zoo is het toch niet aan twijfel onderhevig, dat in de spectra de ontwikkelingsgeschiedenis is neergelegd en dat te eeniger tijd geen duistere punten daarin het schrijven van die geschiedenis zullen bemoeilijken. Het was Secchi, die in 1867 inzag, dat de grondslag voor dezen tak van astrophysisch onderzoek een, zij het dan ook grove, verdeling der bestu-

deerde spectra in bepaalde groepen moest zijn en de indeeling in spectraalklassen, welke hij daarbij aan de astronomen heeft voorgelegd, heeft tot voor enkele jaren nog altijd de door hem gewenschte grondslag uitgemaakt; niet het minst omdat zij dadelijk een aannemelijk verband legde tusschen het spectrum en de kleur eener ster en dus indirect tusschen het spectrum en het stadium van ontwikkeling. Zijne indeeling in 4 klassen was in hoofdzaak de volgende:

1^{ste} type: de witte en blauwe sterren, zooals *Wega*, *Sirius*, *Allair* en *Procyon*; het spectrum kenmerkt zich door krachtige absorptielijnen van waterstof en het nagenoeg volkomen ontbreken van metaallijnen.

2^{de} type: de gele sterren, zooals de *Poolster*, *Arcturus*, *Capella*, *Aldebaran* en de *Zon*; het spectrum is nagenoeg identiek aan dat der zon, d. w. z. doortrokken met ontelbare fijne metaal-lijnen.

3^{de} type: de oranje en roode sterren, zooals *Betelgeuze* en *Antares*; de waterstoflijnen zijn voornamelijk aanwezig in het roode deel van het spectrum en minder opvallend; kenmerkend voor dit type zijn een aantal absorptiebanden, die scherp begrensd zijn naar de violette zijde en naar de roode zijde uitvloeien. Latere onderzoekingen hebben geleerd, dat deze banden vermoedelijk optreden tengevolge van de aanwezigheid van oxyden van mangaan en titanium.

4^{de} type: de zeer roode sterren; ook deze hebben een bandenspectrum, waarin echter de banden scherp begrensd zijn naar de roode zijde van het spectrum. Deze banden zijn te wijten aan de aanwezigheid van koolstofverbindingen; slechts zeer weinig sterren, waaronder geen enkele heldere, zenden dit spectrum uit.

Toen na de toepassing der fotografische methoden, sterrenspectra „en masse” konden worden opgenomen en bestudeerd, bleek de klassieke indeeling van Secchi niet meer afdoende te zijn, vooral ook omdat nieuwe ontdekkingen tot geheel nieuwe gezichtspunten aanleiding gaven. De eerste daarvan was die van het helium in den zonnedampkring, waardoor vele spectra van het 1^{ste} type met tot dusverre

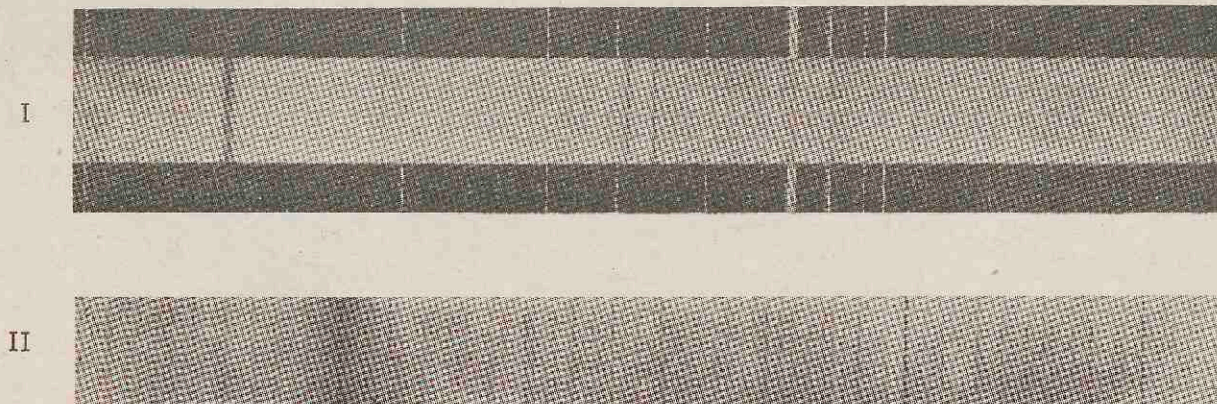
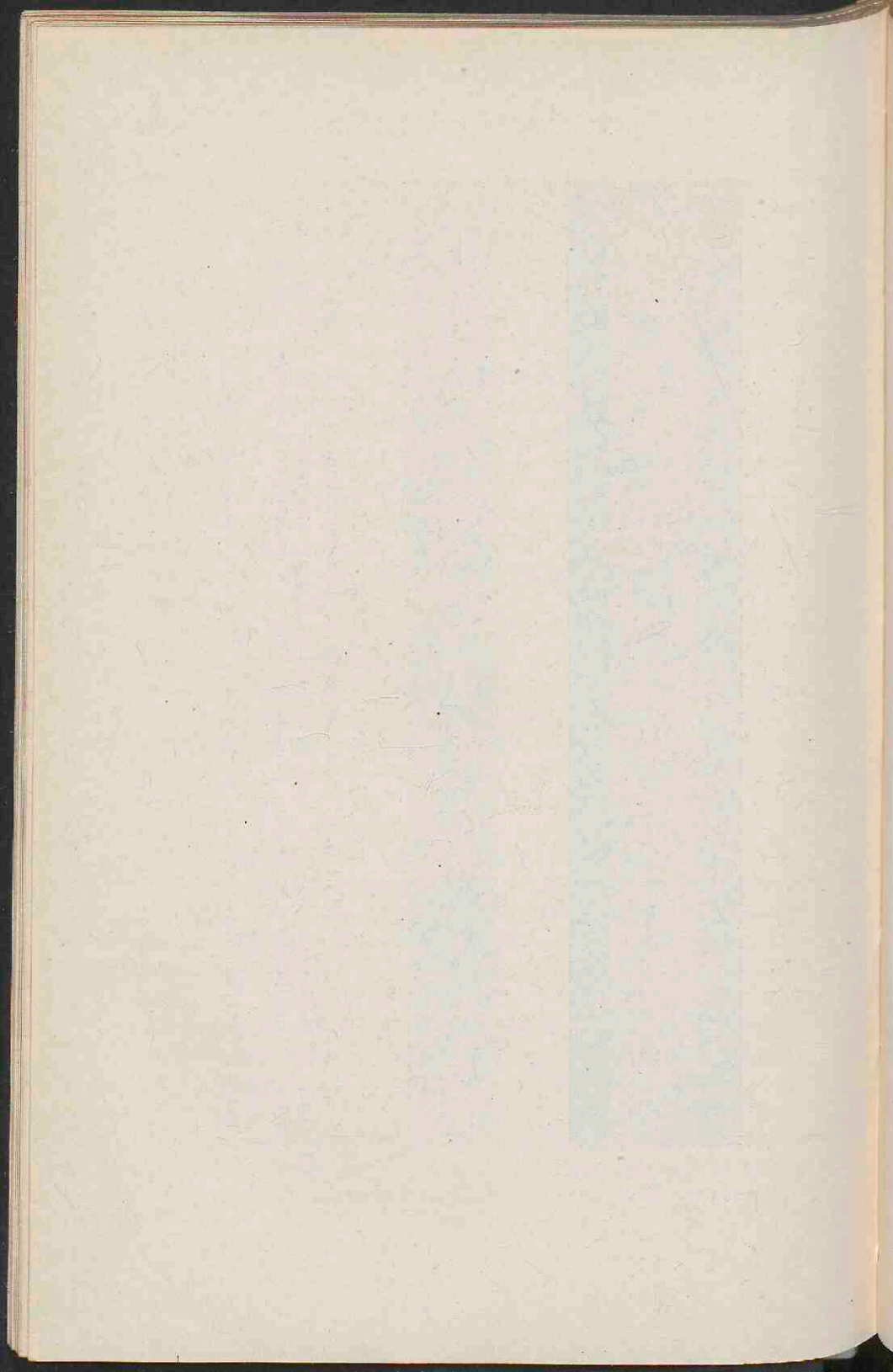


FIG. 105. TYPEN VAN STERRESPECTRA.

(Uit: G. E. Hale. The study of stellar evolution).

- I Groep *b*. Helium-ster *Rigel*. De krachtige lijn links is een waterstoflijn, de 2 lijnen die daarop volgen en de lijn geheel rechts zijn heliumlijnen. Onder en boven het sterrespectrum is het vonkspectrum van titanium gefotografeerd.
- II Groep *c*. Waterstof-ster *Sirius*. De drie krachtige lijnen zijn waterstoflijnen.



III

IV

V

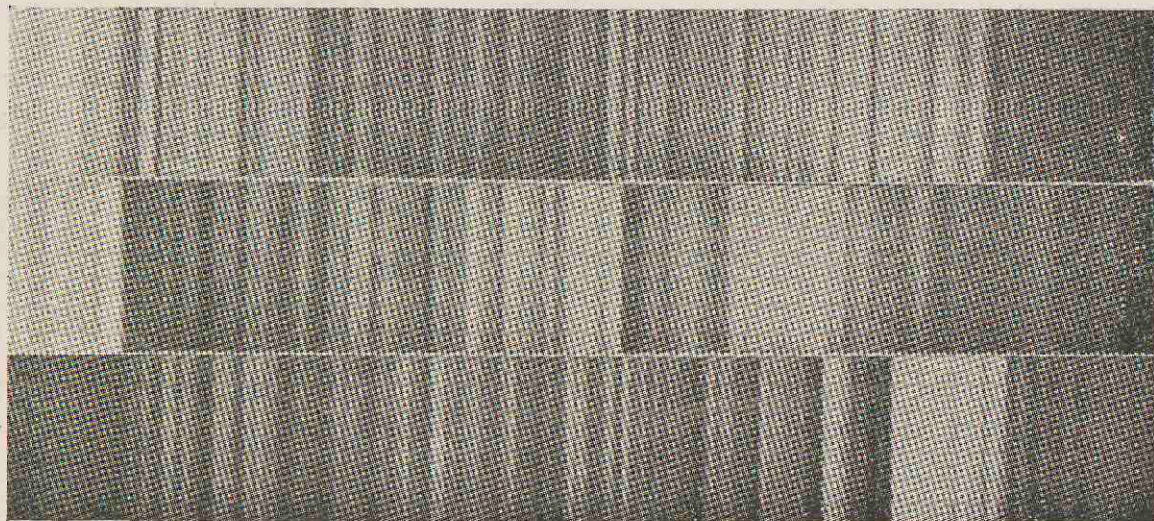
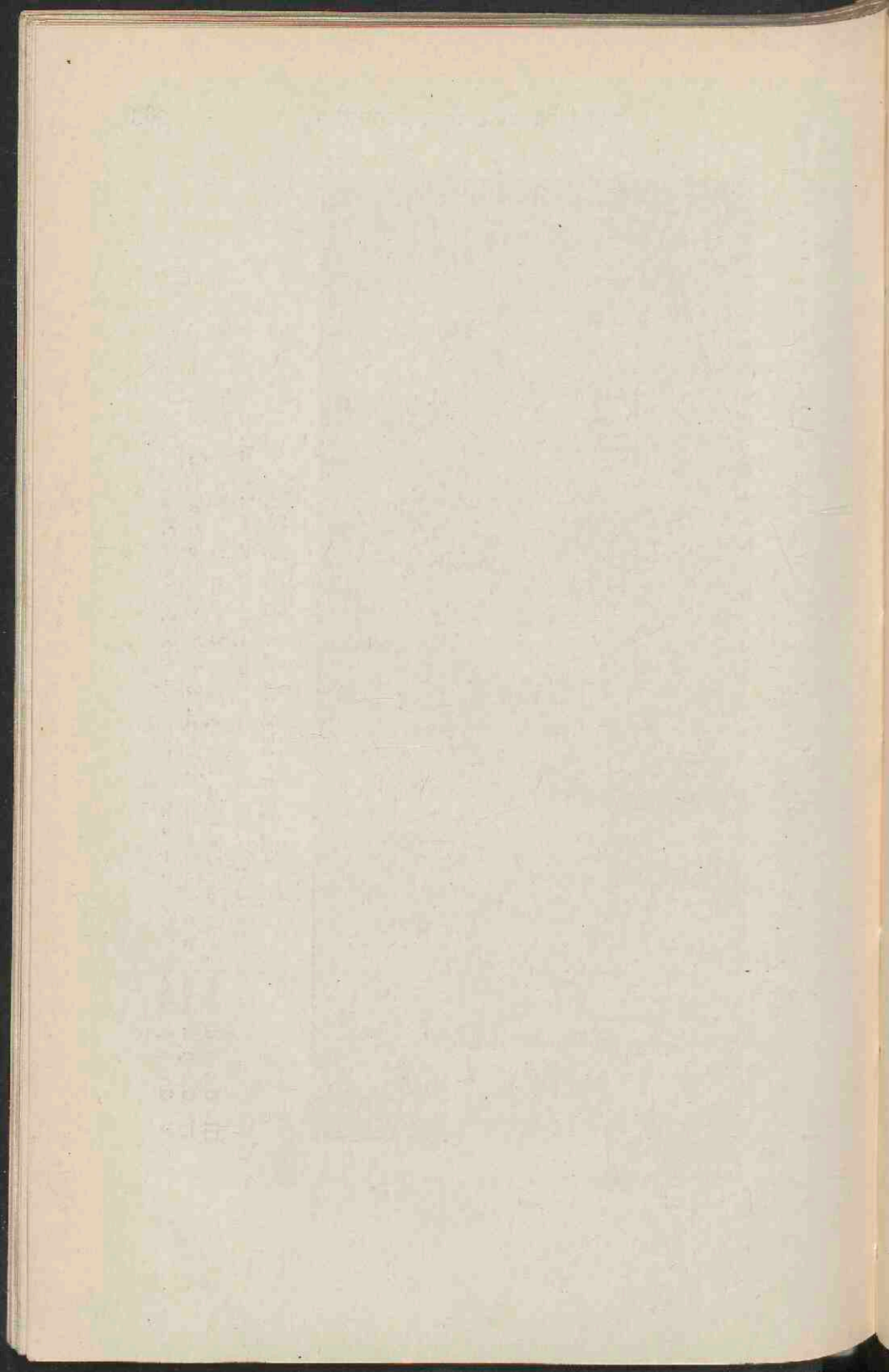


FIG. 105a. TYPEN VAN STERRESPECTRA.

(Uit: G. E. Hale. The study of stellar evolution).

- III Groep *d*. Roode en gele deel van het spectrum der zon.
 IV Groep *e*. Roode ster (μ Geminorum) van Secchi's 3de spectraaltype.
 V Groep *f*. Roode (Koolstof-) ster van Secchi's 4de spectraaltype.



onbekend gebleven lijnen zich als vanzelf tot een afzonderlijk type groepeerden; de tweede was de ontdekking van een nieuw waterstofspectrum, de derde die van emissielijnen in sterrespectra. Wij zagen reeds op bldz 202 dat verschillende stoffen, wanneer zij onder verschillende omstandigheden lichtgevend zijn gemaakt, spectra kunnen uitzenden die alle gelijkenis met elkander verloren hebben. Kent men die omstandigheden niet, dan is het vaak onmogelijk, uit een bepaald spectrum de stof te bepalen, die het heeft uitgezonden, doch hierop zijn gelukkig uitzonderingen. Van vele elementen toch hebben de spectraallijnen een bepaalde, in een wiskundige formule aan te geven, rangschikking; ze vormen een „reeks,” zóó dat als men de golflengte van één der lijnen kent, uit de formule de golflengten van alle andere, mits haar rangnummer in de reeks bekend is, gevonden kunnen worden.

In dat geval verkeerden o. a. de waterstoflijnen van het spectrum der zon en van vele sterren; nu bleek het echter E. C. Pickering, dat in de gebruikte formule nog een tweede rangschikking verscholen was en dat deze „2^{de} waterstofreeks,” op aarde volkomen onbekend, in het Heelal vertegenwoordigd was in het spectrum van vele sterren van Secchi's 1^{ste} type. Ook hierdoor was een nieuwe indeeling wenschelijk geworden en langzamerhand zijn van de vier klassieke typen slechts de twee laatste nagenoeg ongewijzigd gebleven; de twee eerste heeft men in talrijke groepen moeten onderverdeelen en zeer waarschijnlijk heeft men zelfs daarmee nog niet ten volle het doel bereikt. Behalve de reeks van heliumlijnen en de 2^{de} waterstofreeks merkt men in de spectra van enkele sterren nog lijnen op, waarvan men niet weet of ze op zichzelf staan of bijeen behooren en welker oorsprong onbekend is. Deze heeten naar de ontdekkers: Wolf-Rayetlijnen.

De moderne indeeling der sterrespectra is in de laatste jaren uitsluitend het werk geweest van den wetenschappelijken staf der Harvard-sterrenwacht in de V. S., onder leiding van Pickering. De opnamen worden er uitsluitend verricht

met het objectief-prisma (bldz. 141) en het werk is na het ontvangen van aanzienlijke donaties over den Zuidelijken hemel uitgebreid, waardoor thans van ruim 9000 sterren het karakter van het spectrum is vastgesteld. Wij zullen van deze nieuwe, vrij samengestelde indeeling slechts de ruwe omtrekken in korte woorden vermelden (zie Fig. 105); de volgorde geeft volgens sommigen tevens het verloop van een ster van zeer hooge temperatuur door alle stadiën van degradatie naar een zoo goed als uitgedoofd hemellicht.

a. *De Wolf-Rayet sterren*, in welker spectra de bovenbedoelde lijnen in het blauw en geel zeer intens optreden; ook de waterstoflijnen, voornamelijk die van de 2^{de} reeks, treden niet alleen als absorptie-, maar ook als *emissielijnen*, krachtig op den voorgrond en hetzelfde geldt voor de heliumlijnen. Geen enkele metaal-lijn is echter zichtbaar en de ondergrond van continu spectrum, waartegen het lijnenspectrum zich afteekent, is zeer helder in het ultra-violet. Hieruit leidt men af (zie bldz. 149) dat men hier met hemellichten van zeer hooge temperatuur te doen heeft; zij komen vooral in de op bldz. 63 genoemde Kaapsche wolken en in den melkweg voor, en zijn op één enkele uitzondering na niet voor het bloote oog zichtbaar.

b. *De Helium-sterren*; van deze kenmerkt het spectrum zich door het optreden van een groot aantal absorptielijnen van helium en waterstof in de 1^{ste} reeks. Toch treedt nu en dan ook de 2^{de} waterstofreeks op, terwijl ook metaallijnen, zwak en gering in aantal, en ook *emissielijnen* van helium, waterstof en magnesium in enkele spectra worden waargenomen. Vele sterren van *Orion* met *Rigel* aan de spits, bijna alle *Pleiaden*-sterren en o. a. *Regulus* en *Deneb*, behooren tot deze groep. De kleur der helium-sterren is zuiver wit.

c. *De Waterstof-sterren*; deze vormen de hoofdmacht van Secchi's 1^{ste} type. Het spectrum kenmerkt zich door een krachtig optreden der absorptielijnen van de 1^{ste} waterstofreeks. Die der 2^{de} reeks treden in het geheel niet, de heliumlijnen nauwelijks meer op. In tegenstelling met de

spectra der groepen *a* en *b* worden nu ook de lijnen van calcium en ijzer, zwak maar toch onmiskenbaar, waargenomen. Van de waterstof-sterren, waaronder wij *Wega*, *Sirius* en *Fomalhaut* tellen, is de kleur blauwachtig wit; het spectrum strekt zich nog tot voorbij λ 3000 in het violet uit.

d. De Zonne-sterren, getypeerd door het ons bekende zonnespectrum, waarvan in dit verband de hoofdkenmerken zijn, het in grooten getale optreden van metaal-lijnen, het krachtiger worden der calcium- en een zich terugtrekken der waterstoflijnen uit het violette deel van het spectrum. De kleur dezer sterren is geel.

e. De roode sterren van Secchi's 3^{de} type.

f. De Koolstofsterren, d. i. Secchi's 4^{de} type; van waterstof noch helium is meer een spoor te vinden, nauwelijks is er een vage aanduiding van calciumlijnen. Tot deze groep behoort in hoofdzaak eene bepaalde klasse van veranderlijke sterren, die een bandspectrum met *emissielijnen* van waterstof uitzenden en waarover wij in het volgende hoofdstuk uitvoeriger zullen handelen.

Men kent nauwelijks een 300 tal koolstof-sterren en van deze zijn er slechts een 7-tal voor het bloote oog zichtbaar.

De bovenstaande rangschikking laat zich vrij eenvoudig verklaren als het gevolg van een uitstralingsproces, dat zoolang de ster een volkomen gasbol is, die zijn warmteverlies door inkrimping nagenoeg kan compenseeren, vrij langzaam verloopt; bij toenemende dichtheid zal er echter een tijd komen dat die compensatie slechts voor een klein deel kan plaats hebben, waarna het afkoelingsproces snel gaat verlopen. Het aantal roode sterren dat wij kennen is dan ook daarom zooveel geringer dan dat der overige, omdat zij in hare ontwikkeling het stadium waarop zij bij voortgezette afkoeling onzichtbaar worden, dicht genaderd zijn.

Of intusschen een ster als Wolf-Rayet-ster *ontstaat* en dus hare ontwikkeling alleen een degradatie is, is een onopgeloste vraag. Men kan ook aannemen, dat alle sterren

oorspronkelijk „donker” waren en zij den bovenbeschreven ontwikkelingsgang eerst stijgend van *f* (of *e*) tot *a* en daarna dalend van *a* tot *f* doorloopen moeten en Lockyer heeft zelfs naar deze gedachte een naar hem genoemde verdeling der spectraal-typen ontworpen. Het vraagstuk van den ontwikkelingsgang der sterren is niet gemakkelijk op te lossen en het stelt ons telkens voor nieuwe moeilijkheden. Uit het zoeven ontvouwde, eenvoudige beeld, zou bijv. volgen dat als regel een gele ster kleiner is dan een witte; nu wordt echter, zoodra de parallaxis eener ster gevonden is, hare *intrinsieke lichtkracht* bekend, waarvoor men een bepaalde eenheid kan aannemen. Twee sterren kunnen dezelfde *helderheid* hebben, maar, als de eene veel verder van ons verwijderd is dan de andere, aanzienlijk in *intrinsieke lichtkracht* verschillen.

Wanneer het nu blijkt dat sterren als *Capella* en *Betelgeuze*, een gele en geel-roode ster, zeer groote *intrinsieke lichtkracht* hebben, dan moet men aannemen dat zij een zeer groot volume en dus (bij gelijk onderstelde massa's) een opvallend kleine *dichtheid* hebben, en daarmede is de eenvoud van het ontwikkelingsbeeld verbroken.

Wij zagen reeds op bldz. 149 hoe een bestudeering van het intensiteitsverloop in een continu spectrum leiden kan tot een schatting van de *temperatuur* der lichtbron die het heeft uitgezonden. Deze methode verliest natuurlijk daar, waar het continue spectrum bijna onzichtbaar wordt door de vele absorptielijnen, veel van hare waarde; zij is dan ook slechts op een rotaal sterren door *Wilsing* en *Scheiner* toegepast; zij vonden daarbij, uitgaande van het intensiteitsverloop in het zonnenspectrum, temperaturen tusschen 9600° en 3200° . In de laatste jaren tracht men door toepassing van verschillende *fysische* methoden, waarover wij niet kunnen uitweiden, de *temperatuur* der sterren nauwkeuriger te bepalen.

XVII DUBBELSTERREN EN VERANDERLIJKE STERREN

WIJ zagen in het vorige hoofdstuk dat men de relatieve parallaxis van een ster verkrijgt, door hare plaats uit te meten ten opzichte van een naburige ster, die men om hare geringe helderheid op grooteren afstand waant. Ten behoeve van dit onderzoek zocht W. Herschel opzettelijk naar dergelijke paren van sterren, en hij werd getroffen door het groote aantal dat hij vond; in korten tijd, d. w. z. na een vluchtig overzicht van den hemel, kon hij reeds een catalogus van 270 z. g. „visueele dubbelsterren” samenstellen. Dit groote aantal trof ook den wiskundige Michell, die zichzelf de vraag stelde of een dergelijke overdaad van paarsgewijze aan den hemel prijken- de hemellichten wel in overeenstemming was met wat de kansrekening uit het aannemen van een volkomen willekeurige groepeerings der sterren leerde. De uitkomst van zijne berekening (1783) was van het grootste belang. Terwijl de kansrekening bijv. leerde dat er in de gemaakte onderstelling aan den Noordelijken hemel onder de 3200 sterren van de 1^{ste} tot de 6^{de} grootte geen twee gevonden moesten worden op een onderlingen afstand kleiner dan 30", bedroeg het aantal in werkelijkheid 52.

Het was duidelijk dat de gemaakte onderstelling foutief was, dat de sterren *niet* willekeurig geplaatst waren, dat de waargenomen kleine afstanden niet een gevolg waren

van een toevallige plaatsing op onze gezichtslijn, maar dat de sterren *werkelijk* dicht bijeen stonden, dat zij geen „optische” maar „fysische” dubbelsterren waren. Deze wiskundige uitkomst zou spoedig door astronomische waarnemingen volledigen steun krijgen. Wanneer werkelijk de twee bijeenstaande sterren bijeen hooren, zullen zij zeer waarschijnlijk banen beschrijven om haar gemeenschappelijk zwaartepunt en men zal dus hare verbindingslijn én van grootte (afstand) én van richting (positiehoek) zien veranderen. Vooral William Herschel en zijn zoon John Herschel, de eerste in Engeland, de laatste ook in Kaapstad, en W. Struve in Rusland, maakten zich in het begin der 19^{de} eeuw met dergelijke dubbelster-metingen verdienstelijk; het is een zeer moeilijk werk, waarvan de nauwkeurigheid een sterken invloed ondervindt van stelselmatige, den waarnemereigen, fouten. Het is a priori moeilijk te zeggen hoever de componenten van elkaar verwijderd moeten zijn, om nog aanspraak te kunnen maken op de benaming dubbelster; meestal neemt men echter naar Struve dien afstand niet grooter dan 30" en zelfs dan nog is het materiaal enorm groot. John Herschel verrichtte metingen op 4500 dubbelsterren van het Noordelijk en 2100 van het Zuidelijk halfmond, Struve leverde een klassiek geworden arbeid door het uitmeten (1824-1837) van ongeveer 2700 sterrenparen en in het laatst der 19^{de} eeuw verblufte Burnham de astronomische wereld door het uitmeten van een groot aantal zeer enge dubbelsterren (afstand 0".2!) met de micrometers der groote refractors van de Lick- en Yerkes sterrenwachten. Zijn in 1906 verschenen catalogus bevat 13665 paren en thans, 6 jaar later, zijn er ongeveer 16000 bekend. Ook aan de Leidsche sterrenwacht zijn de laatste jaren door Voûte een 200-tal dubbelsterren uitgemeten. Van ongeveer 10% der thans gevonden dubbelsterren is een besliste verandering van afstand en positiehoek waargenomen en van slechts 35 zijn deze veranderingen voldoende in aantal en nauwkeurig genoeg, om op eenigszins bevredigende wijze een baan te berekenen. W. Herschel leefde lang genoeg om

de ster ξ Ursae maioris, waarop hij de eerste metingen verricht had, een halven omloop te zien volbrengen.

Wij spreken nu kortweg van de baan en niet van de banen der componenten; in overeenstemming met de waarneming, waarbij men slechts de *onderlinge* plaatsverandering kan meten, beschouwt men ook bij de berekeningen de eene ster, de helderste, in rust en leidt de baan van den anderen component ten opzichte van deze af. Van deze baan weet men a priori niets en de waarnemingen leeren er in de meeste

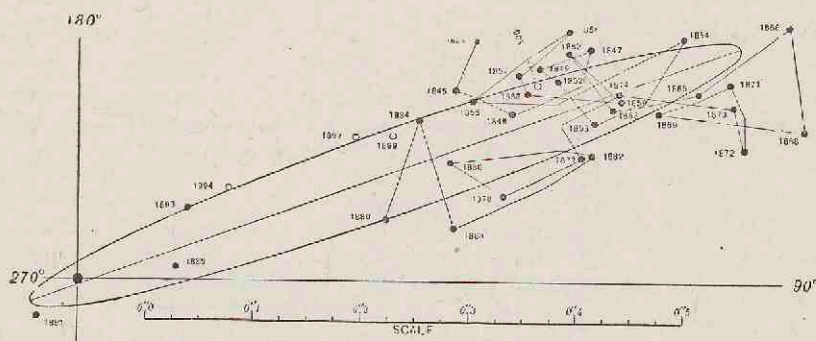


FIG. 106. LOOPBAAN VAN γ ANDROMEDAE.

$$\frac{1}{2} \text{ gr. as} = 0''.35.$$

(Uit: S. W. Burnham: A general catalogue of double stars. Washington 1906).

gevallen evenmin iets van door de betrekkelijk groote fouten in de metingen. Fig. 106 moge dit duidelijk maken. Het is in dit geval volkomen ondoenlijk om met eenige zekerheid te zeggen door welke lijn de waargenomen plaatsen het best worden voorgesteld. Alleen in enkele gevallen, zooals *Sirius* en *70 Ophiuchi* waarbij de afstand der componenten groot is, en die door vele waarnemers langdurig bestudeerd zijn, kan (zie Fig. 107) de baan vrij nauwkeurig worden aangegeven. Men neemt in elk geval willekeurig aan dat de schijnbare baan een *ellips* is, de werkelijke baan dus een ellips of een cirkel en dit beteekent, dat men onderstelt dat de beweging van de componenten eener dubbelster om hun

gemeenschappelijk zwaartepunt de „attractiewet” van Newton (bldz. 80) volgt. Dit is evenwel niet streng bewezen, maar op theoretische gronden wel uitermate waarschijnlijk.

Men trekt dus door de waargenomen punten zoo goed

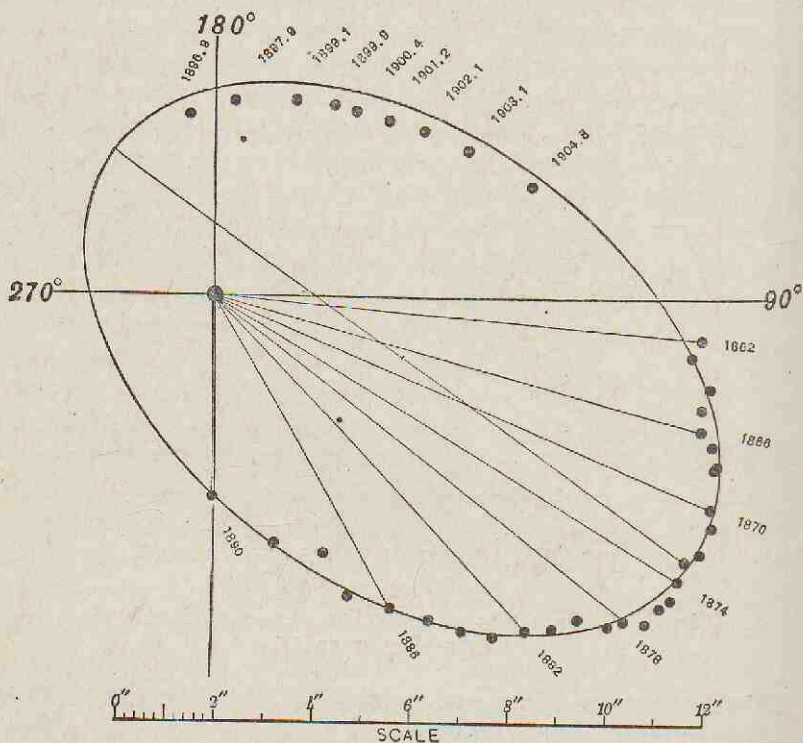


FIG. 107. LOOPBAAN VAN SIRIUS.

$\frac{1}{2}$ gr. as = $7''.2$.

(Uit: S. W. Burnham: A general Catalogue of double stars. Washington 1906).

mogelijk een ellips en kan daaruit op verschillende manieren, waarvan er eene door Zwiers te Leiden is uitgedacht, den stand van de werkelijke baan in de ruimte afleiden. In de uitkomsten treft ons dadelijk de groote excentriciteit, die gemiddeld 3 maal zoo groot is als die der planetoïden-

banen, maar van dezelfde orde als die der *Jupiter*-kometen. De onderstaande tabel geeft de namen van een twintigtal goed bekende dubbelsterren met de helderheid (H) der componenten, de halve groote assen (a) en de excentriciteiten (e) der banen en de omloopstijden (T) in jaren.

Ster	H		a	e	T in jaren
	m	m			
η Cassiopeiae	4.0;	7.6	9.5	0.51	328
Sirius	-1.4;	10.0	7.6	0.59	49
Castor	2.7;	3.7	5.8	0.44	347
Procyon	0.5;	13.5	5.8	0.45	40
ζ Cancri	5.5;	6.2	0.9	0.34	59
ϵ Hydrae	4.0;	6.0	0.2	0.69	16
φ Ursae maioris	5.0;	5.6	0.3	0.44	100
ω Leonis	6.2;	7.0	0.9	0.56	116
γ Leonis	2.0;	3.5	2.0	0.73	407
ξ Ursae maioris	4.0;	4.9	2.5	0.41	60
γ Virginis	3.6;	3.6	4.0	0.90	194
α Centauri	0.1;	1.9	17.7	0.51	81
ξ Boötis	4.7;	6.6	5.0	0.72	148
η Coronae bor.	5.5;	5.2	0.9	0.27	42
ξ Scorpii	5.0;	5.2	0.7	0.77	44
ζ Herculis	3.1;	6.5	1.4	0.46	35
γ Ophiuchi	4.1;	6.1	4.6	0.50	88
ζ Sagittari	3.4;	3.6	0.6	0.18	21
β Delphini	4.6;	5.0	0.5	0.35	28
λ Cygni	5.0;	6.3	0.5	0.60	93

Visueele Dubbelsterren.

Wil men de schijnbare halve groote as der baan a in lineaire maat kennen, dan moet daartoe eerst de parallaxis der ster bepaald worden; is dit geschied, dan kent men ook door toepassing van de 3^{de} wet van Kepler de gezamenlijke massa. Omgekeerd: neemt men de massa willekeurig aan = 1, 2 of 3 maal de zonnemassa, dan levert deze wet (zie geval 1 van bldz. 364) de „hypothetische parallaxis.”

Van een 7-tal dubbelsterren is de parallaxis vrij nauwkeurig gemeten; de werkelijke halve groote as harer banen

blijkt hieruit gemiddeld te zijn 15.7 astronomische lengte-eenheden (voor de baan van *Saturnus* is deze waarde 9.5, voor die van *Uranus* 19.1) en de totale massa gemiddeld $1.6 \times$ de zonnemassa. De afmetingen zijn dus van dezelfde orde als die van ons zonnestelsel.

In enkele bijzondere gevallen heeft men ook de *verhouding* der massa's van de componenten kunnen afleiden, en men is daarbij tot merkwaardige uitkomsten gekomen, o. a. deze, dat de massa van *Sirius* slechts 2.5 maal zoo groot is als die van haar begeleidster; daar zij echter 11 grootteklassen in helderheid daarmede verschilt, d. w. z. (zie bldz. 347) een 25000 maal zoo groote lichtsterkte heeft, zou men de verhouding der massa's veel aanzienlijker verwacht hebben.

Behalve dubbelsterren kent men ook drie-, vier- en vijf-voudige sterren, o. a. die van het z. g. „trapezium" in den nevel van *Orion* (zie bldz. 427). Dergelijke stelsels kunnen op den duur een welkom materiaal leveren voor de theoretische behandeling van de vraag, hoe méér dan twee lichamen zich onder hunne wederzijdsche aantrekking gedragen, een uitbreiding van het probleem dat Newton zich stelde, maar dat zelfs voor drie lichamen niet is opgelost.

Wanneer de afstand der componenten eener dubbelster zeer klein is, zijn deze niet meer visueel als zoodanig waarneembaar; daar echter in het algemeen met een vermindering van den afstand een vergrooting van de baansnelheid gepaard gaat, kunnen zij zich kenbaar maken door een meetbare verschuiving der spectraallijnen. De ster heet dan een spectroscopische dubbelster. De verplaatsing der lijnen in het spectrum kan zijn een enkele periodieke *verschuiving* of een periodieke *verdubbeling*; in het 1^{ste} geval zendt slechts eene, in het 2^{de} geval zenden beide sterren een zichtbaar spectrum uit. De eerste ontdekking op dit gebied dagteekent van 1889, toen Vogel en Scheiner te Potsdam uit spectrogrammen van β *Perseï* (*Algol*) afleidden dat de periodieke lijnverschuivingen

verklaard konden worden, indien men onderstelde te doen te hebben met een stelsel van *twee* sterren, waarvan de eene onzichtbaar was, en die met snelheden resp. van 41 en 80 KM./sec. banen beschreven om haar gemeenschappelijk zwaartepunt. Uit het karakter van *Algol* als veranderlijke ster (zie bldz. 400) was het vermoeden van de aanwezigheid van zulk een donkeren begeleider reeds vóórdien geopperd. De gezichtslijn ligt hier nagenoeg in het baanvlak der sterren, vandaar dat de eene periodiek het licht der andere aan ons oog onttrekt. Waar dit niet het geval is, kan men het dubbel zijn der ster niet ontdekken uit een periodieke verandering der *helderheid* en blijft de periodieke *lijnverschuiving* als eenig criterium over, en ook dit middel laat ons in den steek, wanneer de gezichtslijn ongeveer of zuiver loodrecht staat op het baanvlak der sterren, daar deze dan geen radiale snelheid bezitten. Ondanks de ongunstige voorwaarden echter zijn er thans toch nagenoeg 400 spectroscopische dubbelsterren bekend en dit aantal wordt snel grooter, dank zij de ontwikkeling der sterre-spectrografen.

Uit de bestudeering van een groot aantal spectrogrammen kan ook de baan van deze klasse van dubbelsterren berekend worden, maar evenmin als bij de visueele de *absolute* elementen. Dáár moet men zich tevreden stellen met de *schijnbare* halve groote as; hier kan, omdat niet de werkelijke snelheid maar hare projectie op de gezichtslijn gemeten wordt, ook slechts de daarop *geprojecteerde* halve groote as gevonden worden.

De onderstaande tabel geeft eenige der heldere spectroscopische dubbelsterren met deze geprojecteerde halve assen (a') in astronomische lengte-eenheden, de excentriciteiten (e) en de omloopstijden (T) in *dagen*.

Ster	a'	e	T in dagen
α Andromedae	0.24	0.52	96.7
Poolster	0.001	0.13	4.0
β Ariëtis	0.15	0.88	107.0
Algol	0.01	0.05	2.9
Capella	0.25	0.02	104.0
ζ Geminorum	0.01	0.22	10.2
α_1 Geminorum	0.01	0.01	2.9
α_2 Geminorum	0.01	0.50	9.2
ζ Ursae maioris	0.11	0.52	20.5
Spica	0.05	0.10	4.0
η Boëtis	0.39	0.24	497.1
α Draconis	0.20	0.38	51.4
δ Librae	0.02	0.05	2.3
β Herculis	0.40	0.55	410.6
Antares	0.41	0.20	2120.
β Lyrae	0.22	0.07	12.9
η Aquilae	0.01	0.47	7.2
β Capricorni	2.53	0.44	1375.
β Cepheï	0.0004	0.00	0.19
δ Cepheï	0.01	0.36	5.4

Spectroscopische Dubbelsterren.

Deze tabel leert dat de spectroscopische dubbelstelsels in allerlei grootten aan den hemel te vinden zijn. De componenten der *Poolster* staan ongeveer op denzelfden afstand van elkaar als de *Aarde* en de *Maan* en bewegen zich in slechts 4 dagen om elkaar heen, en in β *Cepheï* wentelen twee zonen in enkele uren om elkander! De tabel leert tevens, dat er onder de opgegeven sterren slechts eene hoogst enkele is, die als alle omstandigheden medewerkten, ook als visueele dubbelster zichtbaar zou zijn. De omstandigheden schijnen echter daartoe slechts zelden samen te werken, tenminste het aantal zoowel visueele als spectroscopische dubbelsterren is uiterst gering. Dit mag ook daarom geen verwondering baren, omdat hetgeen de ontdekking van de eerste klasse bevordert, n. l. groote afstand der com-

ponenten, de ontdekking der tweede klasse door de daarmede gepaard gaande kleinere snelheden belemmert.

Ten slotte leeren wij uit de tabel nog, dat elk der componenten van de visueele dubbelster *Castor* (*a Geminorum*) een spectroscopische dubbelster is, zoodat wij hier met een viervoudig stelsel te doen hebben.

Van bijna alle der vermelde sterren is de dupliciteit ontdekt door lijnverschuiving, alleen van *Capella*, ζ *Ursae maioris* en *Spica* door lijnverdubbeling.

Terwijl de dubbelsterren hemellichten zijn, waarvan wij de geheimen van haar wezen eerst na inspannenden arbeid aan groote instrumenten ontsluijeren kunnen, zijn de veranderlijke sterren, waarover wij nu zullen spreken en die eveneens tot de meest belangwekkende verschijnselen aan den hemel gerekend mogen worden, dankbare onderwerpen van waarneming voor elk instrument van het ongewapende oog af tot de krachtigste refractors toe, en voor elken waarnemer, hetzij hij een pasbeginnend liefhebber is hetzij een beroepssterrenkundige met jarenlange oefening.

Holwarda te Franeker ontdekte in 1639, dat het feit, dat zich de ster σ van den *Walvisch* (bldz. 60) nu eens in grooten luister vertoonde, dan weer volkomen onzichtbaar was, aan periodieke lichtwisselingen geweten kon worden, en deze ontdekking moest vooral in een tijd, waarin de instrumenten nog in het eerste stadium van hunne ontwikkeling verkeerden en dus nog geen inbreuk hadden kunnen maken op de eeuwenoude wet van de onveranderlijkheid der hemelverschijnselen, grooten indruk maken; het is dus niet te verwonderen dat men aan de ster, die zulke onverklaarbare grillen vertoonde, den naam van *Mira* (de Verwonderlijke) gaf. Een 30-tal jaren later merkte Montanari op, dat ook de bekende ster *Algol* in het door *Perseus* gedragen *Medusa*-hoofd, aan periodieke lichtwisselingen onderhevig is, en sedert dien is men langzamerhand vertrouwd geraakt met het denkbeeld dat talrijke sterren in processen gewikkeld

zijn, die invloed hebben op de in onze richting uitgezonden hoeveelheid licht. Vóór de invoering der fotografische methode was de ontdekking van zulk eene „veranderlijke” ster louter toeval en ook thans is het dit in zeker opzicht nog, daar zij meestal gevonden wordt op fotografische platen die in eersten aanleg voor een ander doel werden opgenomen, maar toch stelselmatig op de eventueele aanwezigheid van veranderlijke sterren worden onderzocht. Op verschillende manieren kan men de veranderlijkheid daarbij op het spoor komen: 1° uit eene vergelijking van op verschillende tijdstippen verkregen opnamen, zoo mogelijk met behulp van den stereocomparator (bldz. 284); 2° uit het optreden van heldere lijnen in een spectrum van Secchi's 3^{de} type. De 1^{ste} ontdekkingswijze is zonder meer duidelijk; de veranderlijke ster wordt op de eene plaat veel lichtzwakker afgebeeld dan op de andere; op de 2^{de} ontdekkingswijze komen wij later terug.

Zoodra de veranderlijkheid is vastgesteld, wordt getracht uit een groot aantal helderheidswaarnemingen een beeld van het karakter der lichtwisseling te verkrijgen; dit kan geschieden: 1° met behulp van een fotometer, zooals wij dien in het vorige hoofdstuk leerden kennen, en 2° door een eenvoudige schatting (geen *meting*) der helderheid. Deze laatste werkwijze, naar Argelander (1844) die haar heeft uitgedacht, algemeen als „*Stufen-methode*” bekend, is voorloopig de eenige manier om snel en gemakkelijk de lichtwisseling van een groot aantal sterren te onderzoeken. Naar eene door Nijland aangegeven verbeterde toepassing van deze methode kiest de waarnemer zich in de naaste omgeving der veranderlijke (*v*) twee andere sterren, waarvan op het tijdstip der waarneming de eene (*a*) iets helderder, de andere (*b*) iets zwakker is dan deze, en tracht nu zoo goed mogelijk de verhouding der helderheidsverschillen $a-v$ en $v-b$ aan te geven, en tevens elk verhoudingsgetal a. h. w. onbewust in een bepaalde eenheid uit te drukken. Die eenheid, door Argelander „*Stufe*” genoemd, is het helderheidsverschil dat zich aan een bepaalden waarnemer nog juist als zoo-

danig openbaart. Uit de liefst fotometrisch bepaalde helderheden der vergelijkingssterren a en b is dan die van v voor het tijdstip der waarneming onmiddellijk af te leiden.

Beide methoden ondervinden den nadeeligen invloed van de kleurverschillen der sterren. Een waargenomen helderheidsverschil blijkt afhankelijk te zijn van de kleur der objecten, en wel in sterkere mate naarmate de gebruikte kijker grooter is. Dit heeft in zeker opzicht invloed op alle helderheidsmetingen, maar vooral op die van veranderlijke sterren daar vele van haar een hoog nummer in de kleurenschaal hebben en bovendien dikwijls in instrumenten met verschillende openingen moeten worden waargenomen. De zooeven genoemde ster *Mira Ceti* bereikt in grootste helderheid gemiddeld de 2^{de} grootte, moet dan met het bloote oog of in een binocle worden waargenomen en in haar minimumfase is een kijker van minstens 10 cm. opening daarvoor wenschelijk. Schat men echter een roode ster in een binocle even helder als een witte, dan kan men er zeker van zijn, dat in een grooten kijker de roode ster *veel* helderder lijkt en dit z. g. „verschijnsel van Purkinje” belet het tot één geheel vormen van aan verschillende instrumenten verichte waarnemingen.

Een betrekkelijk klein aantal helderheidsschattingen is meestal voldoende om het karakter der lichtwisseling, althans voorloopig, vast te leggen. Het blijkt dan dat de sterren op allerlei verschillende, vaak zeer grillige, maar ook dikwijls opvallend regelmatige wijze hare helderheid wisselen. Maakt men een grafisch beeld hiervan door op een horizontale lijn de verschillende tijdstippen af te zetten en loodrecht daarboven de voor elk daarvan geldende helderheid in een willekeurigen, zelf te kiezen lineairen maatstaf, dan ontstaat een lichtkromme der ster; het hoogste punt daarvan heet het maximum, het laagste punt het minimum, het helderheidsverschil van beide heet de amplitude. Naar hare lichtkrommen onderscheidt men de veranderlijke sterren in hoofdzaak in vier groepen, waarvan de voor- naamste zijn:

1. de *Algol*-veranderlijken;
2. de kortperiodische veranderlijken;
3. de langperiodische veranderlijken;
4. het *U Geminorum* type.

1. De *Algol* veranderlijken kenmerken zich door een standvastige helderheid gedurende het grootste deel der periode, gevolgd door een snelle regelmatige helderheidsafname, die meestal na enkele uren door een symmetrisch daarmede verloopende helderheidstoename gevolgd wordt. Van *Algol* zelf bedraagt de periode $2^d 20^u 49^m$, waarvan zij $2^d 10^u$ de constante helderheid $2^m.3$ behoudt, gedurende $5\frac{1}{2}$ uur afneemt tot de $3^m.5$ om dadelijk daarop weer tot de normale helderheid te rijzen, welke zij $5\frac{1}{2}$ uur na het minimum weder bereikt. De lichtkromme van *Algol* is in Fig. 109 afgebeeld, recente waarnemingen met een nieuw, zeer gevoelig type van fotometer schijnen er op

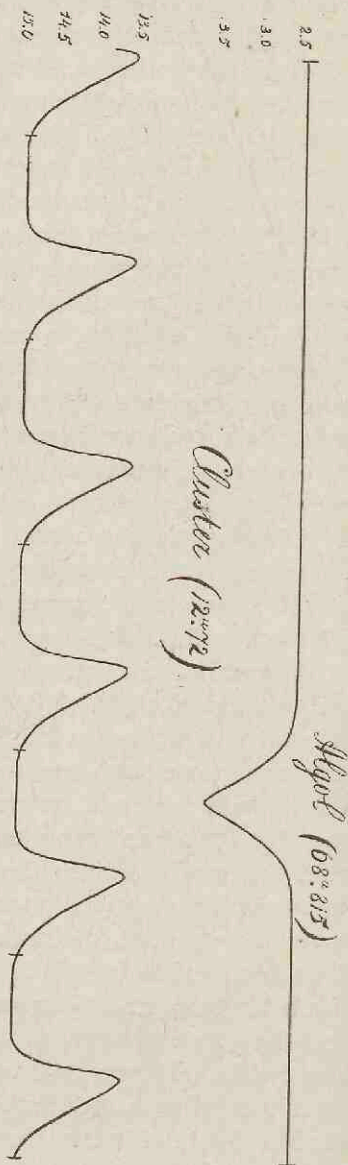


FIG. 109. BOVEN: LICHTKROMME VAN ALGOL.
 BENEDEN: LICHTKROMME VAN EEN CLUSTER-VERANDERLIJKE.
 (De perioden zijn in uren en decimalen daarvan aangegeven).

te wijzen dat de ster tusschen twee minima een tweede (zeer geringe) lichtvermindering ondergaat.

Er zijn thans 93 *Algol*-sterren bekend; hare perioden

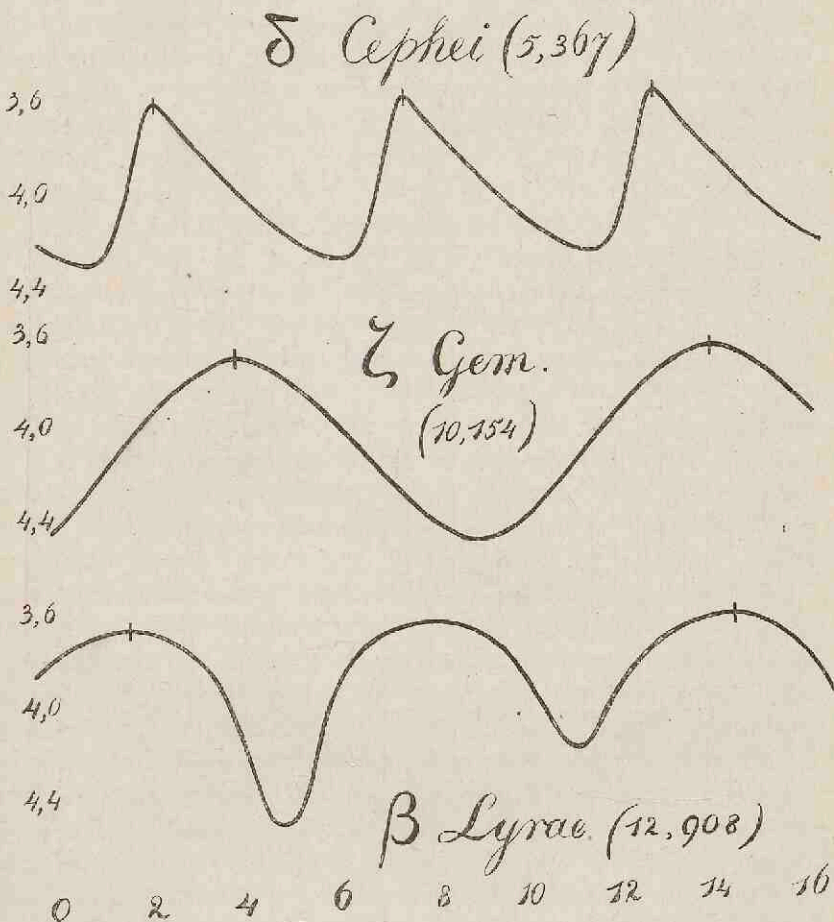


FIG. 110. LICHTKROMMEN VAN KORTPERIODISCHE VERANDERLIJKEN.
(De perioden zijn in dagen en decimalen daarvan aangegeven).

wisselen af van enkele uren tot eenige maanden en de amplituden van $0^m.5$ tot $4^m.0$. De kleur van al deze sterren is wit.

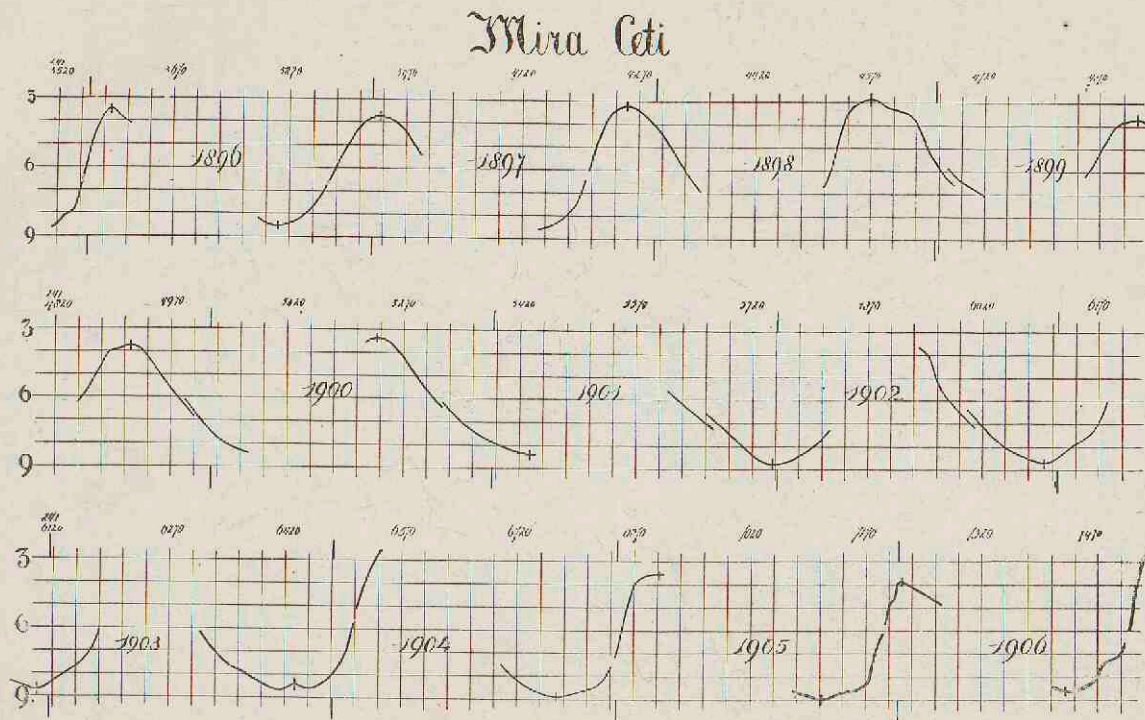


FIG. 111. MAXIMA EN MINIMA DER LANGPERIODISCHE VERANDERLIJKE MIRA CETI.
(Deze ster is niet waarneembaar van half Maart tot half Juli).

2. De kortperiodische veranderlijken kenmerken zich door een gestadige verandering der helderheid tot een maximum bedrag van ongeveer 1^m . De periode is meestal enkele dagen, soms echter korter dan een dag, soms ongeveer een maand en zeer regelmatig. Er zijn kortperiodische veranderlijken, waarvan de periode gedurende 10 jaren binnen een minuut constant gebleven is.

Men is gewoon deze klasse in drie groepen (Fig. 110) te verdeelen, die zich daardoor kenmerken dat de lichtkromme hetzij

a. symmetrisch is t.o.v. het minimum.

Type: ζ *Geminorum* Zie Krt 6 bldz. 51.

b. asymmetrisch is t.o.v. het minimum en wel altijd in dien zin, dat de rijzing sneller geschiedt dan de daling.

Type: δ *Cepheï* Zie Krt 3 bldz. 48.

c. opvolgende minima van ongelijke diepte vertoont.

Type β *Lyræ* Zie Krt 3 bldz. 48.

Van de laatste groep, die wellicht een overgang naar de Algol-veranderlijken vormt, kent men slechts een 7-tal sterren, van de groepen a en b te zamen ongeveer 100 sterren. De kleur der kortperiodische veranderlijken is geel.

3. De langperiodische veranderlijken, veelal naar het fraaiste specimen de *Mira*-variabelen geheeten, kenmerken zich eveneens door een gestadige verandering der helderheid, maar in een veel langere periode, met een veel grootere amplitude en zonder de bij de vorige klasse opvallende regelmaat. De perioden liggen meestal tusschen 200 en 400 dagen, de amplitude bereikt een bedrag van ettelijke, in een enkel geval zelfs een van 9 grootteklassen en deze beide elementen, alsmede het geheele beloop der lichtkromme, zijn telkens kleine en meestal onverwachte bedragen anders. Het onderstaande overzicht der lichtwisseling van *Mira*, waargenomen door Nijland te Utrecht, geeft van deze onregelmatigheden een duidelijk voorbeeld; M beteekent daarin een maximum, m een minimum, H de daarbij bereikte helderheid, T de periode, Fig. 111 geeft de bijbehorende lichtkrommen.

M.	H	T	m	H	T
		m		m	
1905 Februari 24	3.7	d 310	1901 Februari 16	9.5	d 316
1906 Januari 3	4.1	338	1901 December 29	9.9	352
1906 December 7	2.0	327	1902 December 16	9.8	332
1907 October 30	3.5	342	1903 November 13	9.9	339
1908 October 6	3.5	336	1904 October 17	10.3	341
1909 September 7	3.1	315	1905 September 23	10.4	318
1910 Juli 20	3.4		1906 Augustus 7	9.9	

Maxima en Minima van *Mira Ceti*.

Men kent thans ongeveer 700 *Mira*-variabelen. Hare kleur is meestal roodachtig en volgens sommigen afhankelijk van de fase der lichtwisseling.

4. Het U Geminorum - type kenmerkt zich door een opvolging van zeer snelle helderheidstoename op volkomen onverwachte en niet te voorspellen tijdstippen; de ster waarnaar deze klasse genoemd is, neemt in enkele uren 5 grootteklassen toe, wordt dus in dat korte tijdsverloop 100 maal zoo lichtsterk en vertoont dan een der beide in Fig. 112 aangegeven regelmatige maxima, een lang, waarbij ze ongeveer 20 en een kort, waarbij ze ongeveer 12 dagen boven de normale helderheid blijft. Van deze klasse kent men slechts 5 sterren.

Behalve de hier genoemde klassen is er nog eene die een afzonderlijke vermelding verdient, n.l. die der „Cluster-variabelen.” Baily ontdekte in 1896 fotografisch dat een groot aantal zwakke sterren, deel uitmakende van een zeer dichte groepeerings, die men gewoon is een sterrenhoop

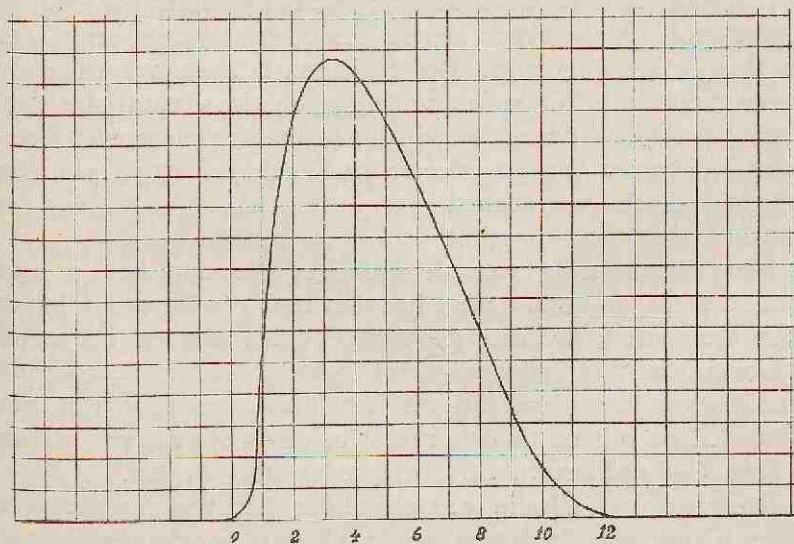
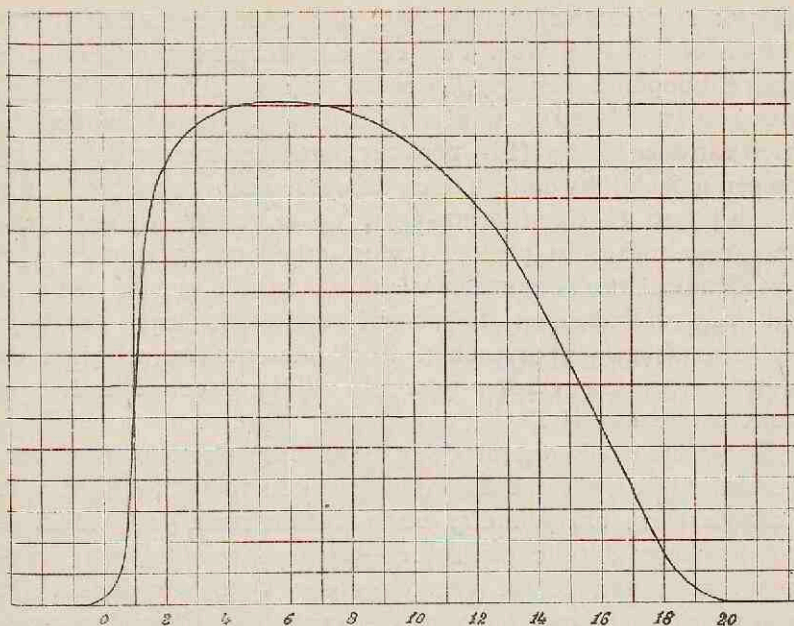


FIG. 112. NORMAALKROMMEN VAN U GEMINORUM.

(Uit: J. van der Bilt. The variable star U Geminorum Recherches
Astronomiques de l'Observatoire d'Utrecht III).

(Eng.: star-cluster) te noemen, aan zeer snelle lichtwisselingen onderhevig was. Van één der door hem onderzochte sterrenhoopen bleek 14% der sterren veranderlijk te zijn, van een tweede 10%, van een derde 4%. Ook de lichtkrommen van deze sterren (Fig. 109) vertoonen een zeer snelle rijzing en een geleidelijke daling, doch de opvlamming geschiedt niet, als bij het *U Geminorum*-type, op ongezette tijden, maar zeer regelmatig in perioden van ongeveer 13 uur en met amplituden van ongeveer 1^m. Ook enkele sterren die niet tot een sterrenhoop behooren, vertoonen een dergelijk helderheidsverloop; tusschen twee maxima in schijnen de sterren van het *Cluster*-type een tijdlang een standvastig licht uit te stralen.

Voegt men bij de tot de 4 bovenbesproken klassen van veranderlijke sterren behorende nog een 100-tal, waarvan de lichtwisseling *onregelmatig* verloopt, en ruim 300, waarvan het karakter der lichtwisseling nog onbekend is, dan verkrijgt men een totaal van ongeveer 1350 variabelen. De bestudeering daarvan vergt de gestadige toewijding van een groot aantal waarnemers; ook de Sterrenwacht te Utrecht levert daarvoor sedert een tiental jaren eene niet onaanzienlijke bijdrage. Op 1 Januari 1912 waren daar reeds 1068 min of meer volledige minima waargenomen van 34 *Algol*-sterren, terwijl 6740 helderheidsschattingen verricht waren van 25 kortperiodische en 9540 van 62 langperiodische variabelen.

Met uitzondering van de weinige, die zoo helder zijn dat ze reeds op oude sterrenkaarten met een bepaalde letter zijn aangeduid, worden de veranderlijke sterren als regel benoemd met enkelvoudige of gecombineerde Latijnsche hoofdletters, voornamelijk uit het laatste gedeelte van het alfabet. Zoo heeten de drie meest bekende sterren der vierde klasse *U Geminorum*, *SS Aurigae* en *RU Pegasi*.

Omtrent de fysische oorzaken der lichtwisselingen tast men bij de drie laatstgenoemde klassen voorloopig in het duister; van het ontstaan der lichtkromme van de *eerste*

klasse is de verklaring reeds jaren geleden gegeven. Van *Algol* zelf vernamen wij reeds op bldz. 394 dat ze een spectroscopische dubbelster is, waarbij eene regelmatige lichtwisseling noodzakelijk moet optreden, indien het baanvlak slechts een kleinen hoek maakt met onze gezichtslijn en een begeleidster dus op periodiek terugkeerende tijdstippen een deel van het licht der heldere ster komt onderscheppen. Alle waargenomen lichtkrommen van *Algol*-sterren zijn te verklaren uit de onderstelling, dat zich ook bij haar een dergelijk periodiek verduisterings-proces afspeelt, dat echter afhankelijk is van de betrekkelijke grootte en helderheid der componenten en van den stand van het baanvlak t. o. v. onze gezichtslijn en daardoor tot allerlei verschillende vormen van *Algol*-krommen aanleiding geeft. Wij geven in Fig. 113 en 114 eenige *berekende* en *waargenomen* *Algol*-krommen, waaruit de waarde der onderstelling duidelijk blijkt. Wij moeten er echter bijvoegen dat door de geringe helderheid van de meeste *Algol*-sterren hare dupliciteit spectroscopisch niet is aangetoond en dat in vele gevallen onregelmatigheden in de lichtwisselingen optreden, die alleen door nieuwe, bijkomende, onderstellingen omtrent de gedragingen van dergelijke dubbelsterren min of meer verklaard kunnen worden.

Het spectrum der *Algol*-veranderlijken is zonder uitzondering dat der witte Helium- of Waterstofsterren en de uit de elementen der stelsels te berekenen dichtheden blijken, in overeenstemming met het ontwikkelingsstadium waarin men zich het 1^{ste} spectraaltype denkt te verkeeren, zeer gering te zijn.

Ook van de heldere sterren der *tweede klasse*, die der kortperiodische veranderlijken, weet men dat ze zonder uitzondering spectroscopische dubbelsterren zijn, waarvan de omlooptijden met de perioden der lichtwisseling overeenkomen; de maximale helderheid wordt hier waargenomen als de ster ons zoo snel mogelijk nadert, het minimum wordt waargenomen op het tijdstip dat zij zich zoo snel mogelijk van ons verwijdert, en men mag dus met reden onderstellen,

dat, al is bij deze sterren de lichtvermindering niet door een verduistering te verklaren, zij toch ook hier ontstaan moet uit een of ander proces dat met de dupliciteit der sterren verband houdt. Men heeft dan ook de verklaring gezocht in een mogelijke eb- en vloedbeweging in de dampkringen der dicht om elkaar heen wentelende sterren, welke gepaard zou gaan met een veranderlijke lichtabsorptie, of wel men

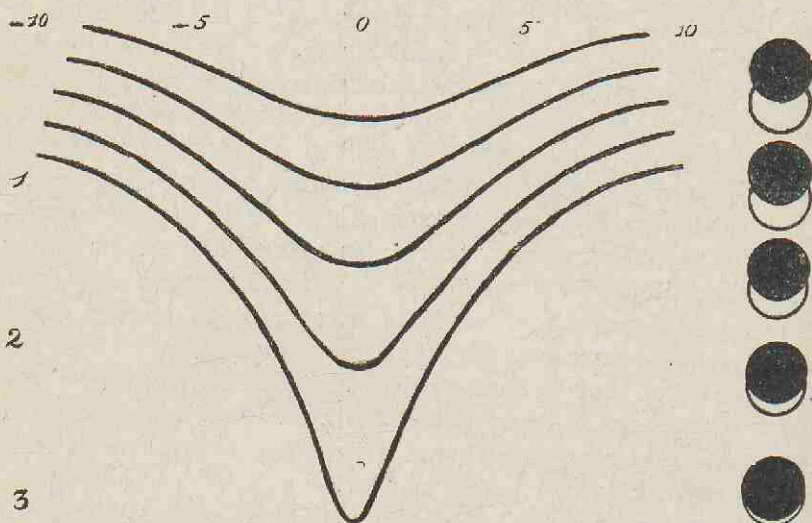


FIG. 113. THEORETISCHE ALGOL-KROMMEN, AFGELEID UIT DE VERDUISTERING VAN EEN LICHTEN BOL DOOR EEN EVEN GROOTEN DONKEREN BIJ VERSCHILLENDE HELLINGEN VAN HET BAANVLAK OP DE GEZICHTSLIJN.

heeft zich een gemeenschappelijk weerstandbiedend gasomhulsel gedacht, waarin de vóórzijde der voortsnellende ster een hogere temperatuur zou krijgen. Daarbij vereischt echter elke onderafdeeling van deze klasse een afzonderlijke verklaring; vooral die voor het β *Lyrae* type is niet gemakkelijk te geven, daar zij gepaard moet gaan met eene verklaring van het zeer samengestelde spectrum, een absorptiespectrum van het 1^{ste} type, waarin echter naast de lijnen van helium en waterstof *emissielijnen* van deze zelfde gassen optreden, terwijl de afstanden tusschen de donkere en heldere

lijnen aan veranderingen onderhevig zijn, welke geen direct verband met de lichtwisselingen schijnen te hebben.

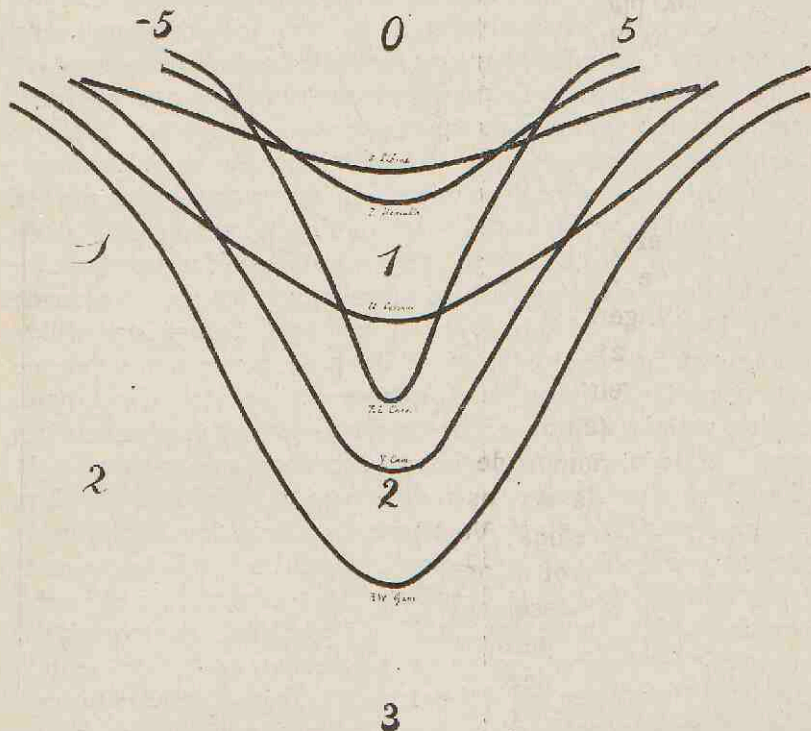


FIG. 114. WAARGENOMEN ALGOL-KROMMEN.

In horizontale richting beteekent 5 : 0 d. t. = 24.4; in verticale richting staat de amplitude in grootteklassen.

Het spectrum van de groepen *a* en *b* der kortperiodische veranderlijken is gelijk aan dat der zon.

Van de sterren der *derde klasse*, die der langperiodische veranderlijken, heeft men twee merkwaardige eigenschappen ontdekt, waarmede eene eventueel later te geven verklaring der lichtwisseling rekening moet houden. De eerste eigen-

schap is deze, dat de kleur der sterren door een hooger nummer uit de kleurschaal wordt aangegeven naarmate de periode langer is. Voor perioden van ongeveer 270 dagen is de kleur 2° , voor die van ongeveer 340 dagen is ze 5° , terwijl sterren waarvan de fase der lichtwisseling eerst na ongeveer 420 dagen weder dezelfde is, het diepe rood 8° hebben aangenomen. De tweede, door Nijland gevonden, eigenschap is deze: de waargenomen perioden groepeeren zich om haar gemiddelde naar de wetten der kansrekening. Wanneer men op de een of andere wijze aan een groot aantal sterren eene periodiek wisselende helderheid kon geven en daarbij de bedoeling had, de periode 300 dagen te doen bedragen, dan zou het na afloop van dezen arbeid blijken dat men zich daarmede herhaaldelijk vergist had, d. w. z. dat er allerlei toevallige fouten waren opgetreden, waardoor de gewenschte periode een zekere afwijking had gekregen. Groote afwijkingen zouden weinig, kleine zouden veelvuldig voorkomen en het aantal perioden, dat een bepaald bedrag van 300 zou afwijken, zou van te voren met groote waarschijnlijkheid te voorspellen zijn. Omgekeerd: wanneer bepaalde afwijkingen van 300 inderdaad bij hetzelfde aantal perioden wordt waargenomen als uit de toepassing der Waarschijnlijkheidsrekening volgt, dan heeft men het recht daaruit af te leiden, dat ook inderdaad de bedoeling heeft voorgezeten de periode 300 dagen te maken, en dat ook de waargenomen afwijkingen daarvan als „toevallige” fouten zijn op te vatten.

In dit geval nu verkeeren de *Mira*-variabelen en de beide genoemde eigenschappen wijzen er op, dat zij een *stelsel* vormen, dat dus de lichtwisseling van alle, althans in de hoofd-trekken slechts ééne, gemeenschappelijke verklaring behoeft. Ook deze is intusschen nog niet gegeven; meestal neemt men daartoe in eersten aanleg een rotatie van de zich in een vergevorderd ontwikkelingsstadium bevindende sterren om hare assen aan, terwijl in de sterren zelve, evenals in onze zon, maar in heviger mate, een of ander activiteitsproces werkzaam is. Bij de pogingen om dit juist te preciezeren komen dan echter dezelfde partijen scherp tegenover

elkaar te staan, die zooals wij in het Elfde hoofdstuk leerden, ook voor de zonneverschijnselen zeer uiteenlopende verklaringen geven.

Het spectrum van *Mira* is een absorptiespectrum van Secchi's 3^{de} type, waarin heldere lijnen van waterstof, ijzer en enkele andere elementen optreden; de maximumfase kenmerkt zich door een krachtiger optreden der waterstoflijnen, die daarbij vaak verdubbelingen ondergaan, de minimumfase door een krachtiger optreden der metaallijnen. Het is een spectrum, dat zoo duidelijk getypeerd is, dat men uit de waarneming ervan zoo goed als zeker tot de variabiliteit van de ster, die het uitzond, besluiten kan. Op deze wijze zijn (bldz. 398) talrijke langperiodische veranderlijken spectrografisch ontdekt.

Wanneer plotseling een onzichtbare of zeer zwakke ster met enorme snelheid opvlamt tot een opvallende verschijning aan den hemel, om na korten tijd langzaam en met schommelingen in helderheid te verminderen tot een nauwelijks waarneembaar hemellicht, dan spreekt men van een nieuwe ster. De beschreven lichtkromme is kenmerkend voor alle; de „Nova” die in 1901 in *Perseus* zichtbaar werd, bereikte in twee etmalen hare 400.000-voudige helderheid, welk proces haar van een onbeteekenend hemellicht bracht tot een luister, welke dien van *Capella* overtrof. Zij behield dezen slechts enkele uren en begon toen zwakker te worden; 4 maanden na hare opvlaming werd ze onzichtbaar voor het bloote oog en is thans weder tot haar oorsponkelijke onbeduidendheid teruggekeerd. In 1572 had een dergelijk verschijnsel plaats in het sterrenbeeld *Andromeda*, dat het boven beschrevene nog in glans overtrof; de nieuwe ster werd toen helderder dan *Venus* in hare maximale helderheid en bleef bijna 1½ jaar zichtbaar voor het bloote oog. Vooral in de 19^{de} eeuw zijn talrijke (12) verschijningen van nieuwe sterren opgemerkt, waarvan alleen die van *Auriga* en *Perseus* uitvoerige

gegevens geleverd hebben voor de beantwoording der vraag hoe men zich het ontstaan en het verloop van een dergelijke gebeurtenis denken moet. Den 23sten Augustus 1901, toen *Nova Persei* reeds lang niet meer zichtbaar was voor het bloote oog, ontdekte Wolf te Heidelberg op eene fotografische opname dat zij in contact was met nevelachtige lichtplekken, die een maand later tot uitgebreide spiraalvormige nevelmassa's bleken te zijn uitgebreid. Deze nevels schenen zich met duizelingwekkende snelheid van de ster te verwijderen en deze bewegingen, zoowel als de wording en vervorming van den nevel, het voortdurend veranderende spectrum en de met de helderheidswisselingen gepaard gaande kleurveranderingen hebben eene bevredigende verklaring van het verschijnsel in den weg gestaan. Ook hier weer levert het interpreteren van waargenomen *verschuivingen*, *verbredingen* en *vervormingen* der spectraallijnen en het gedrag der heldere lijnen de grootste moeilijkheden op.

Wij kunnen derhalve dit hoofdstuk besluiten met de verklaring, dat de veranderlijke sterren ons tal van problemen ter beantwoording voorleggen, die ons voorloopig te moeilijk zijn. Van de waarde en de strekking daarvan kan men zich reeds rekenschap geven door te bedenken wat wij van de spectra en de kleuren der hoofdklassen gezegd hebben. Waarom zijn de sterren die ons een verduistering toonen uitsluitend *witte* sterren, twee zaken die oogenschijnlijk in geen enkel verband tot elkaar staan; waarom vertoonen de gele spectroscopische dubbelsterren geen verduisteringen zoals hare witte naamgenooten, en waarom is geen enkele *Mira*-veranderlijke spectroscopische dubbelster?

Zoo treedt uit de zoo eenvoudig opgezette waarneming der lichtwisselingen het vraagstuk naar voren, of de banen van dubbelsterren vervormd worden naar gelang zij ouder worden en bij de pogingen om deze vraag te beantwoorden zullen weer andere problemen om oplossing komen vragen, waarop de menschelijke geest zich te scherpen heeft.

XVIII DE MELKWEG; DE STERRENHOOPEN EN NEVELVLEKKEN.

DOOR de sterrenbeelden *Cassiopeia*, *Perseus*, *Wagenman*, *Tweelingen*, *Eenhoorn*, *Groote Hond*, *Argo*, over het *Zuiderkruis*, langs de grens van *Centaurus*, door de *Schorpioen* en den *Schutter* en de beelden *Ophiuchus*, *Arend*, *Zwaan* en *Cepheus*, loopt een breede, onregelmatige, melkwitte lichtband, die zich vooral aan waarnemers die niet behoeven te verblijven op den bodem van een met stof en waterdamp bezwangerde luchtzee, openbaart als een schouwspel van nooit volprezen waardigheid en pracht. Deze melkweg vertoont zich, in grove trekken beschreven, over $\frac{2}{3}$ van zijn lengte als één enkele band, en over $\frac{1}{3}$ daarvan als twee evenwijdige banden die van α *Centauri* tot ϵ *Cygni* loopen en welker tusschenruimte bij nauwkeurige bestudeering met een zeer fijne lichtgevende materie is opgevuld. Deze splitsing blijkt echter bij nadere beschouwing niet de eenige onregelmatigheid te zijn; in allerlei grillige windingen, nu eens met sterk stralende verdichtingen, dan weer met donkere d. i. *nagenoeg sterrenlooze lanen*¹⁾ is deze lichtstrook als een hemelschen chaos tegen de sfeer geprojecteerd en het mysterie van haar wezen is nooit geopenbaard geworden.

¹⁾ In het Zd.deel bevinden zich enkele volkomen donkere onderbrekingen van den Melkweg, o.a. eene zeer opvallende bij het *Zuiderkruis*, deze heeten de *kolenzakken* (zie bldz. 63).

Geometrisch gesproken is de *melkweg* ten naastenbij een groote cirkel, waarvan zich de Noordpool bevindt in het *Hoofdhaar van Berenice* en de Zuidpool bij de ster *a* van de *Beeldhouwerswerkplaats*. Een nauwkeurige bestudeering leert echter, dat de zon niet *in*, maar iets *ten Noorden* van het vlak van den *melkweg* staat.

Een telescopische beschouwing van dezen gordel leert, dat het waargenomen matte lichtschijnsel afkomstig is van millioenen dicht opeengedrongen zwakke sterren, vaak in niet te tellen aantal in het kijkerveld verschijnende; het valt echter reeds bij een vluchtige beschouwing op, dat de lichtuitstraling niet gelijkmatig is over de geheele lengte van den gordel, dat deze zelf dus waarschijnlijk niet homogeen is en eerder een bonte mengeling van grootere en kleinere gebieden van ongelijke dichtheid.

De *melkweg* is dus de projectie aan de sfeer van een groepeerings van sterren, waarvan men de werkelijke gedaante niet kent. Ongetwijfeld echter moet deze groepeerings van groote fysische en dynamische beteekenis voor ons geheele sterrenstelsel zijn. Verschillende waarnemingsresultaten wijzen daar op; zoo bevinden zich bijna alle straks te bespreken sterrenhoopen in-, de meeste nevelvlekken ver van het vlak van den *melkweg* en dit bevat en de bewegingsrichting der zon en die der sterrenstroomen van *Kapteijn*; zoo zijn de sterren van dezen gordel in overwegend aantal blauwwitte *Waterstof*-sterren en zoowel het aantal zwakke sterren als de breedte van de lichtbanden, schijnen bij het gebruiken van krachtiger instrumenten niet meer in dezelfde verhouding toe te nemen. Uit het geprojecteerde beeld alleen kan men echter den werkelijken vorm niet afleiden en voor een onderstelling daarover is men voorloopig aangewezen op de waargenomen dichtheids- en helderheidsverschillen der opvolgende deelen. Zoo kan men bijv. uit de helderheid en uit tellingen van sterren in bepaalde *melkweg*-deelen afleiden, dat de strook die door den *Zwaan* en den *Arend* loopt, en uit twee takken bestaat, niet overal op denzelfden afstand van ons ligt, zoodat

het deel in den *Arend* veel verder verwijderd moet zijn dan de overige deelen. Onze landgenoot *Easton* te Amsterdam, die jaren lang zonder optische hulpmiddelen den *melkweg* bestudeerd en in al zijn grillige vormen op voortreffelijke wijze in kaart gebracht heeft, denkt zich de werkelijke gedaante als een spiraalvormige groepeerings (Fig. 115) waarvan de kern in de richting van het sterrenbeeld *Zwaan* ligt en waarvan men zich de windingen 'zoo denken

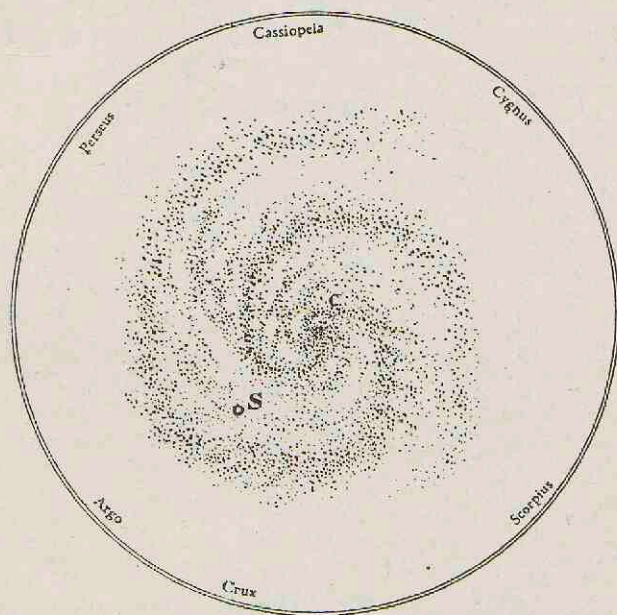


FIG. 115. MELKWEG NAAR EASTON. S = DE ZON.

kan, dat inderdaad het waargenomen projectiebeeld ontstaat; bovendien is het hem in 1912 gelukt een zoo homogeen mogelijke *fotografische* overzichtskaart van den *melkweg*-gordel samen te stellen uit de aan verschillende sterrenwachten der beide Halfronden verkregen opnamen. Hij kwam daarbij tot de verrassende ontdekking niet alleen, dat de *gefotografeerde melkweg* zeer veel overeenkomst vertoont met den *visueel* waargenomenen maar dat ook aan

kijkers met objectieven van verschillende grootte en met verschillende belichtingstijden tot in bijzonderheden overeenstemmende beelden worden verkregen. Dit was a priori niet te verwachten; men zou meenen, dat als men op een kort belichte plaat een op een bepaalde wijze „geteekende” groepeerings krijgt, dit beeld op een lang belichte plaat onherkenbaar wordt, doordat nu ook de minder volle plekken geheel met sterrenindrukken gevuld worden, waardoor de „teekening” verloren gaat. Dit is echter niet het geval; van twee opnamen van hetzelfde *melkweg* gebied bijv., de eene verkregen met een belichting van 3, de andere met een van 13 uur, vertoonde de laatste ongeveer drie maal zooveel sterren als de eerste, maar de kenmerkende vormen van het gebied, de *lichtverhoudingen*, in het kort: de teekening waren onveranderd gebleven. Met behulp van deze fotografische compilatiekaart van den *melkweg*, de eerste in haar soort, hoopt Easton in staat te zijn, den bouw van de door hem gedachte spiraalvormige groepeerings nader te kunnen precisieren.

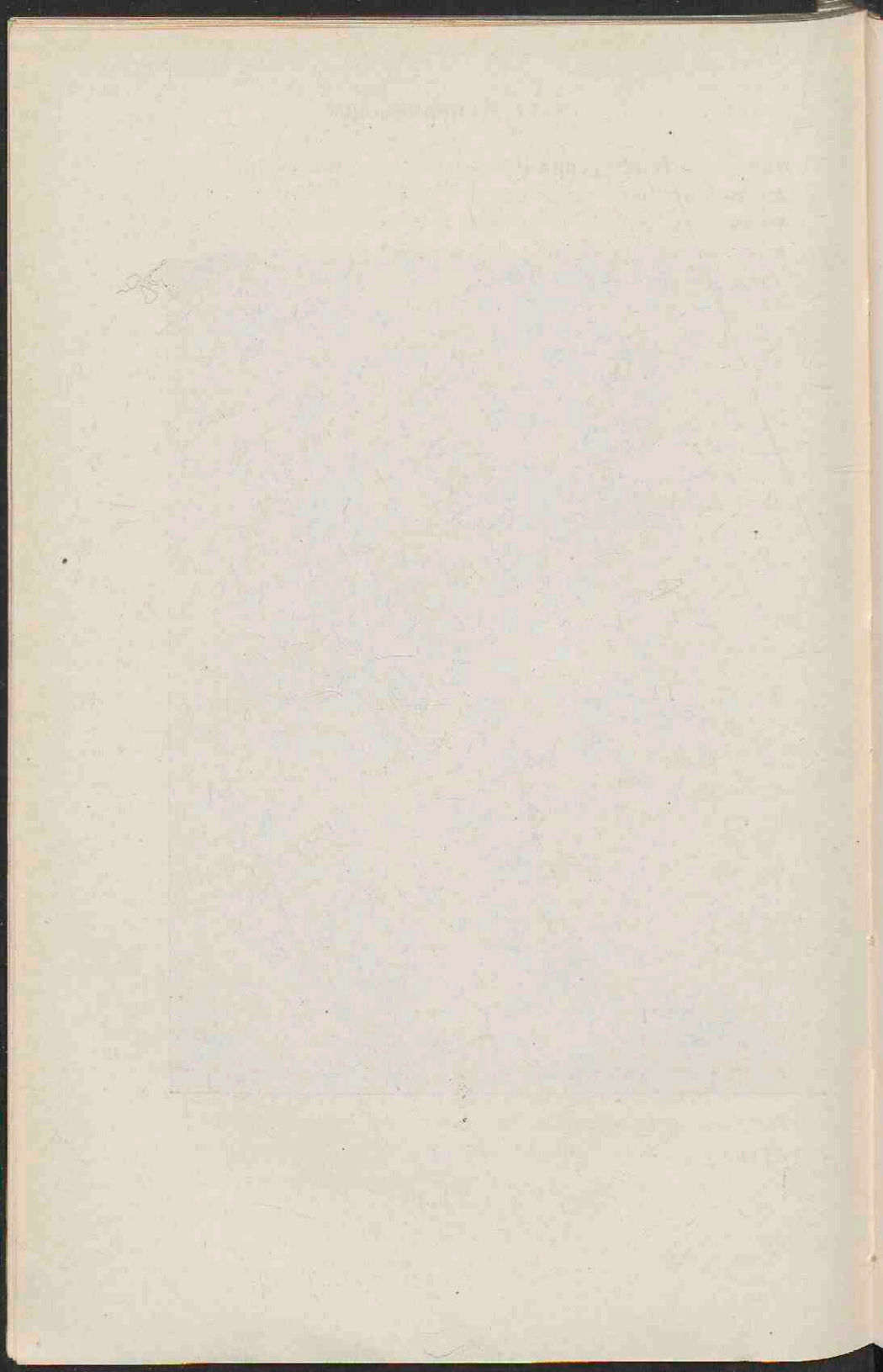
Wij geven in Fig. 116 een der fraaie *melkweg* opnamen van Barnard, waarin zich een opvallend sterrenarme ruimte bevindt en de grillige lichte groepeerings doorsneden door geheimzinnig donkere lanen, in volle majesteit zichtbaar zijn. ¹⁾

Tot de wonderlijke eigenschappen van den *melkweg*-gordel behoort ook deze, dat zich daarin of in de onmiddellijke nabijheid er van, in grooten getale dichte opeenhoopingen van sterren bevinden, waaraan men in tegenstelling met de lossere sterren *g r o e p e n* den naam van sterren *h o o p e n* gegeven heeft; wij hebben ze in den loop van onze hemelbeschrijving reeds meer dan eens moeten noemen. Hun bouw is als regel geheel verschillend van die van de *Pleiaden* en *Praesepe*, die wij in het Derde hoofdstuk ontmoet hebben; in allerlei grillige vormen, maar soms in een nagenoeg

¹⁾ Dergelijke afbeeldingen komen het meest tot haar recht als men ze op een afstand van 2 tot 3 Meter bekijkt.



FIG. 116. GEDEELTE VAN DEN MELKWEG.
(Foto Yerkes Observatory).



volkomen ronde gedaante met centrale verdichting, vertoonen zij zich in het veld van den kijker en hun beeld vertoont vooral op de fotografische plaat met groot gezichtsveld een verrassende tegenstelling met de vaak sterrenarme omgeving.

Een van de fraaiste sterrenhoopen is die welke zich tusschen ζ en η *Herculis* (rt 5 bldz. 50) bevindt en waarin binnen een cirkel van 4' middellijn niet minder dan 5000 sterren te tellen zijn. Deze sterrenhoop is voor het bloote oog zichtbaar; hij wordt nog overtroffen door den sterrenhoop ω *Centauri*, die voor bewoners van het Zuidelijk Halfrond gemakkelijk met het bloote oog zichtbaar is en waarin de centrale sterren onmogelijk meer te tellen zijn. Het is deze sterrenhoop, waarvan wij op bldz. 405 vermeldden dat hij een groot aantal veranderlijke sterren herbergt, maar dit is niet de eenige bijzonderheid; in de helderheden van zijne sterren schijnen (en andere sterrenhoopen vertoonen dit in nog sterker mate) twee bevoorrechte grootten op te treden, terwijl men verwachten zou dat van een bepaalde maximale helderheid af alle trappen van lichtsterkte even talrijk vertegenwoordigd zouden zijn.

Het „uitmeten” van dergelijke hemellichten is uiterst moeilijk en kan alleen met veel tijd en geduld op fotografische platen geschieden; de lossere, de z. g. „*verspreide*” sterrenhoopen en vooral de *sterrengroepen*, leenen zich daartoe veel beter en van hen kunnen ook visueel met de ons bekende middelen (micrometer of heliometer) de plaatsen der sterren bepaald worden. Dit werk is van groote waarde omdat het leiden kan tot de beantwoording der vraag of de groepeerings werkelijk bijeenhoort en of ze geplaatst is in ons sterrenstelsel. Er is een tijd geweest, waarin het een geliefd beeld was een compacte sterrenhoop voor te stellen als een afzonderlijk Heelal, door ons op een afstand van duizenden, misschien millioenen lichtjaren bekeken. Dit beeld wordt thans niet meer gebezigd; zoowel door hun samenhang met den *melkweg* als uit enkele parallaxismetingen heeft men

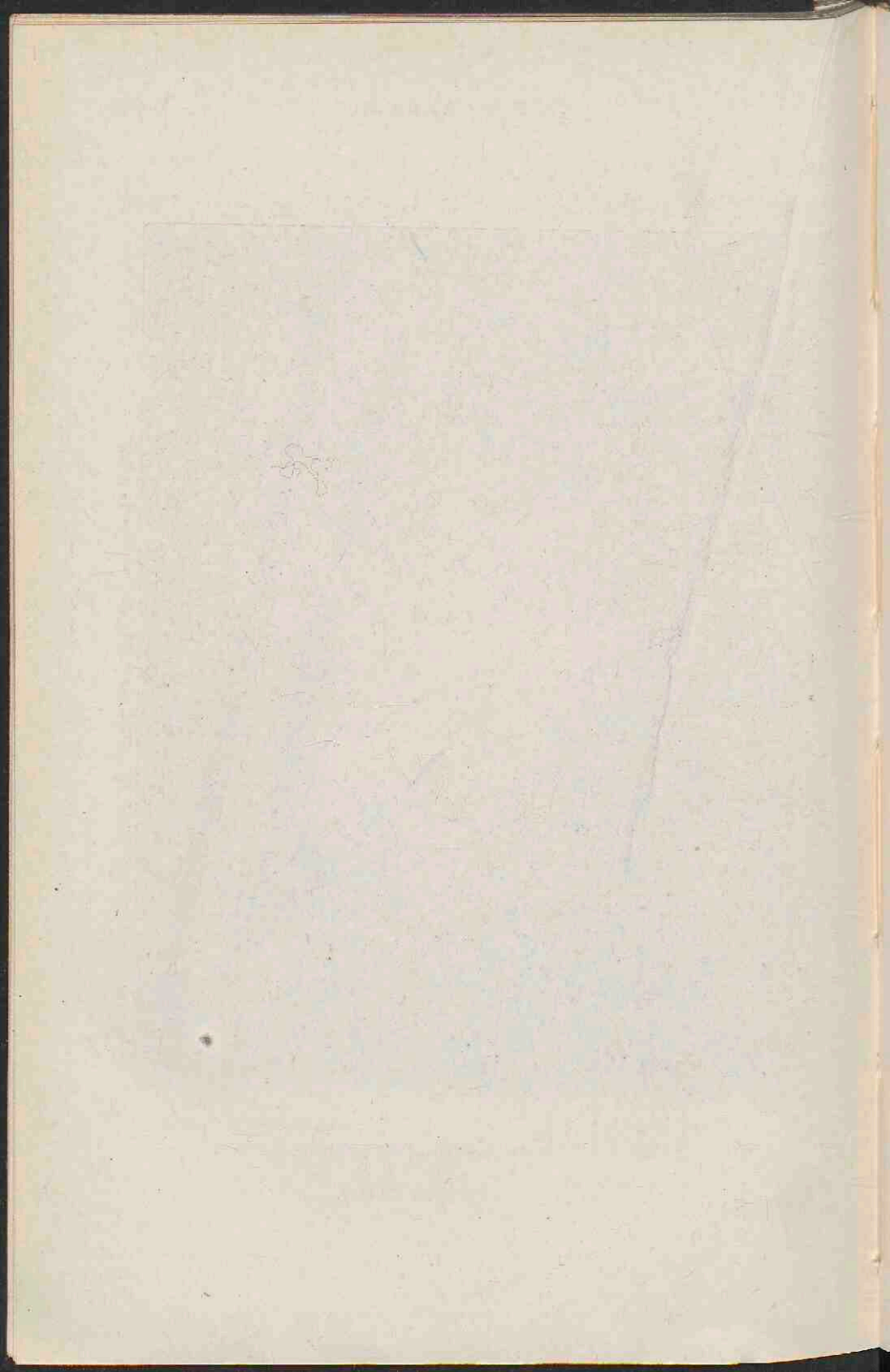
de overtuiging gekregen dat de sterrenhoopen deel uitmaken van ons eigen sterrenstelsel. Dat zij werkelijk een fysisch stelsel vormen is voor de compacte sterrenhoopen vooreerst zeer waarschijnlijk om het groote aantal, maar het wordt ons vaak a. h. w. gedemonstreerd, waar wij de naaste omgeving zich zien kenmerken door een gebrek aan sterren, alsof, nadat eenmaal de kern van den sterrenhoop zich gevormd had, de naburige sterren zich ten slotte door de werking der graviteit alle daaromheen samengevoegd hebben.

Voor de verspreide sterrenhoopen en voornamelijk voor de sterrengroepen met hare heldere sterren, heeft men de bedoelde aanwijzingen ook in andere richtingen gezocht en grootendeels gevonden. Zoo leidden Kapteijn en de Sitter voor de parallaxis van de op bldz. 53 genoemde sterrenhoopen in *Perseus* en voor die der *Hyaden* meetbare bedragen af; zoo vond Elkin (1896) uit eene vergelijking van zijne *Pleiaden*metingen met die welke Bessel 55 jaar vroeger verricht had, dat van 52 door beide waargenomen sterren, er 46 ongeveer eene even groote en gelijkgerichte schijnbare E. B. hebben en daar ook de radiale E.B. der heldere sterren dezelfde gebleken is, zijn meer bewijzen in dit geval haast overbodig. Eene vergelijking der spectra kan, a priori beschouwd, niet veel waarde hebben, daar ook, al zou het aanvangsstadium van alle sterren hetzelfde zijn, toch de verdere ontwikkeling tengevolge van het verschil in afmetingen anders zou verloop; des te merkwaardiger is het daarom, dat de *Pleiaden*-sterren, die blijkens de eigen bewegingen bijeen hooren, ook hetzelfde spectrum, n.l. dat der witte *Helium*sterren, uitzenden en dat er van 204 onderzochte sterren van een sterrenhoop van den Zuidelijken hemel niet minder dan 190 van hetzelfde spectraaltipe bleken te zijn! Bij *Praesepe* en de zeer verspreide groep die wij als sterrenbeeld *Coma Berenices* hebben leeren kennen, is een dergelijke opvallende overeenkomst in de uitgezonden spectra niet aanwezig.

Roode sterren worden in sterrenhoopen nagenoeg nimmer aangetroffen.



FIG. 117. DE ORION-NEVEL.
De heldere ster is θ Orionis. (Foto Yerkes Sterrenwacht).



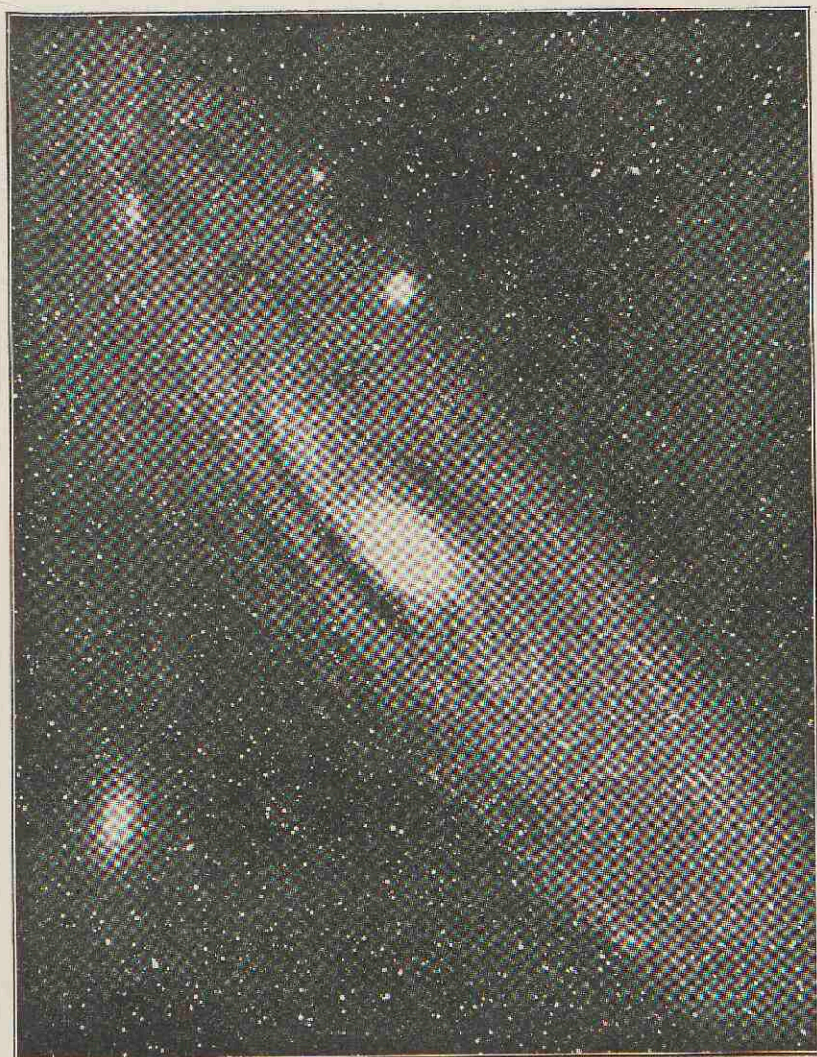
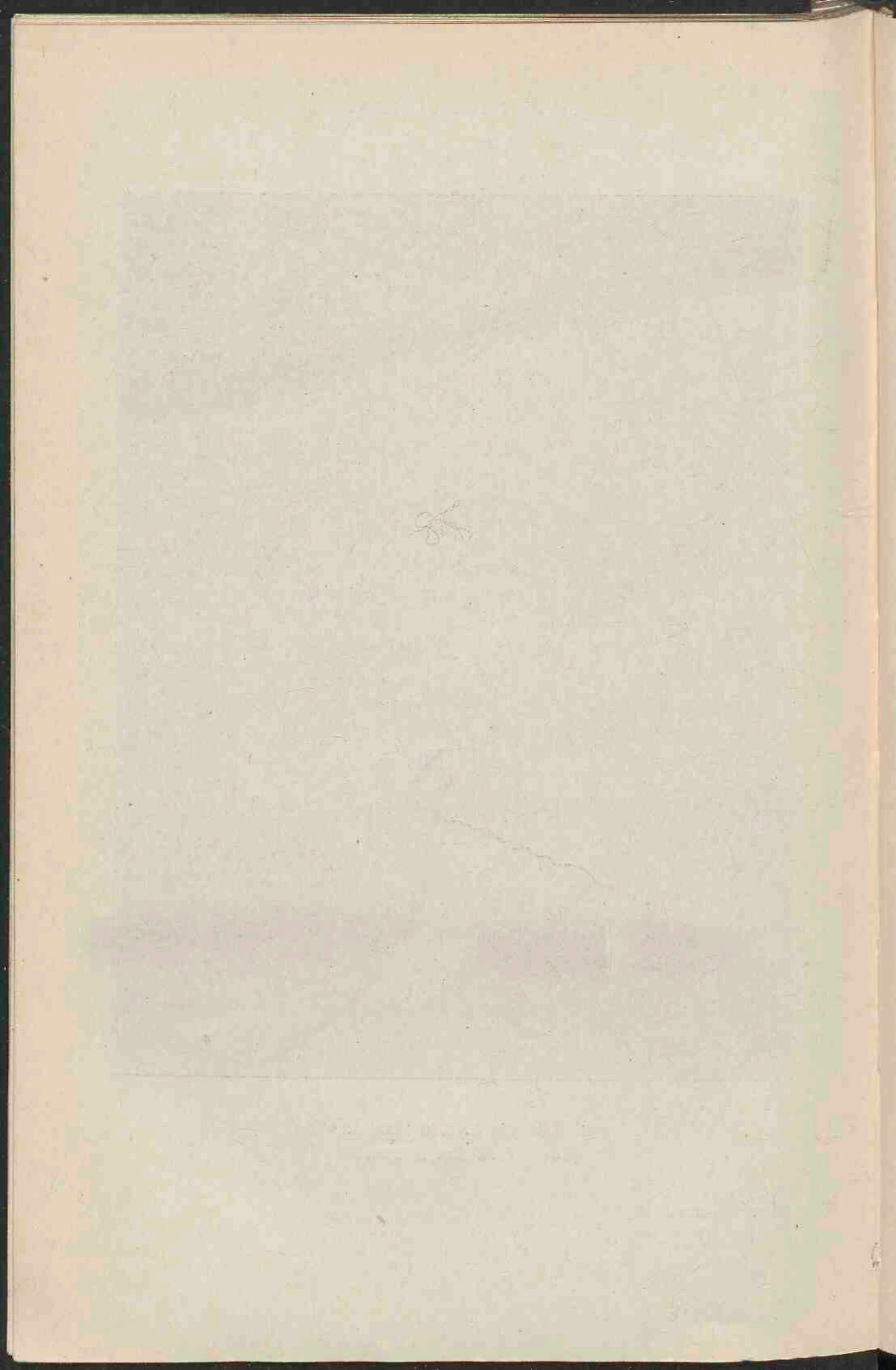


FIG. 118. DE ANDROMEDA-NEVEL.
(Foto Yerkes-sterrenwacht.)



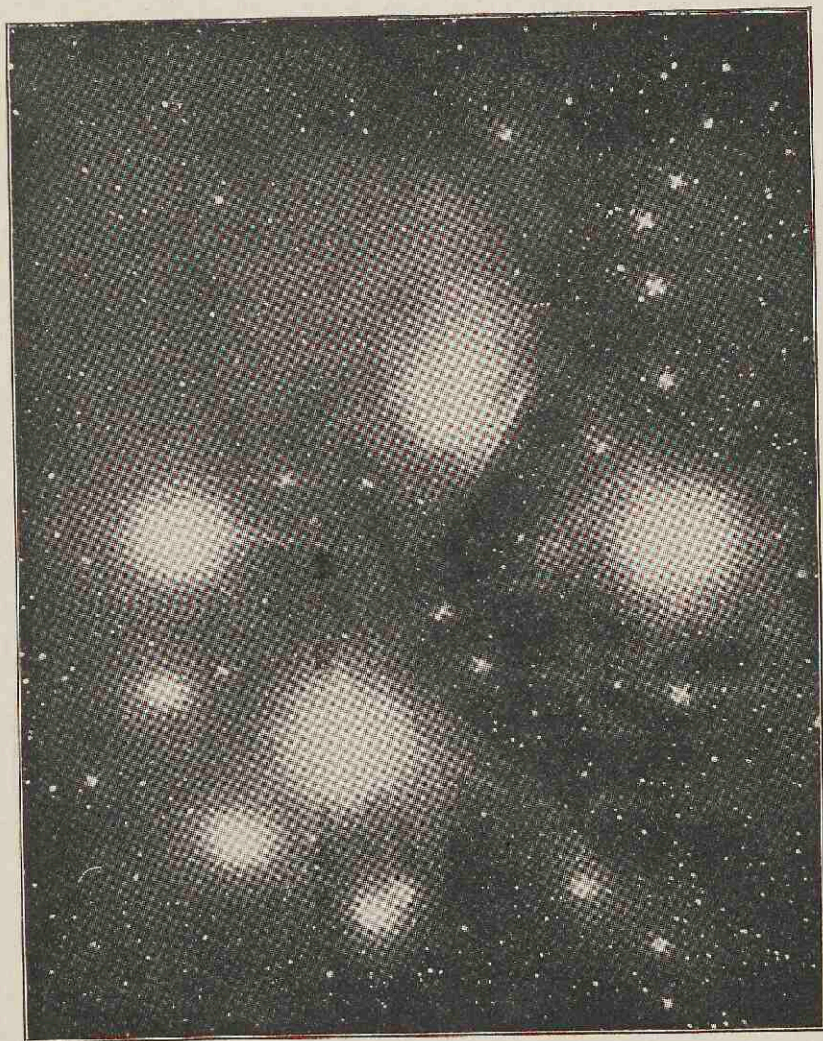
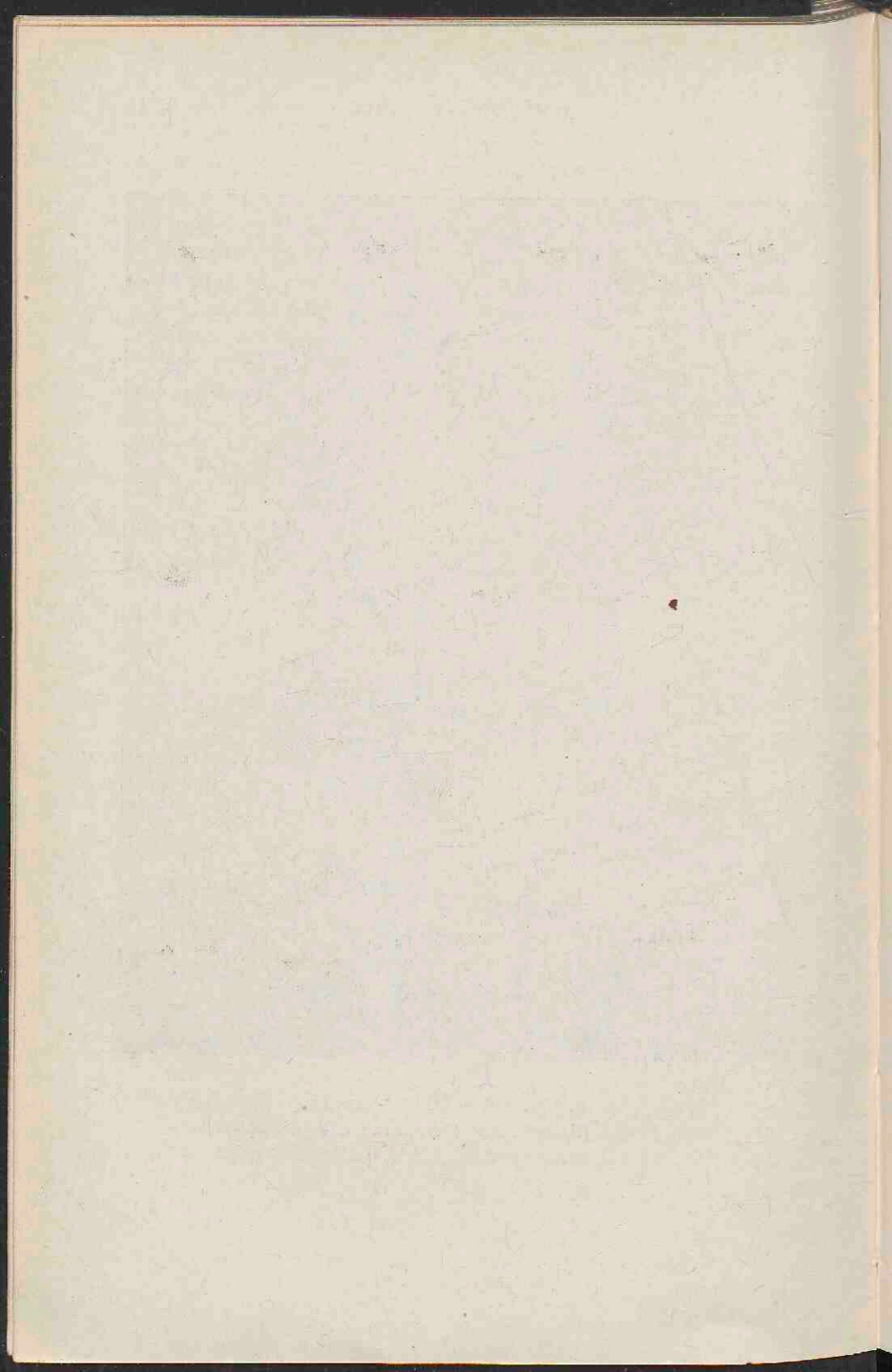


FIG. 119. DE PLEIADEN-NEVELS.
(Foto Yerkes Sterrenwacht.)



Lichte plekken, die men ook met de krachtigste kijkers niet in sterren kan oplossen, duidt men als nevelvlekken aan. Of dit echter inderdaad een afzonderlijke klasse van hemellichten is, of dat het sterrengroeperingen zijn, zóó dicht bijeen, dat de enkele sterren niet meer te onderscheiden zijn, is een vraag die alleen spectroscopisch kan worden uitgemaakt. Dit onderzoek leert, dat de nevels naar haar *spectrum* in twee groote groepen te splitsen zijn:

1. de *groene nevels*, die een zeer karakteristiek emissie-spectrum op een zwak continuen ondergrond uitzenden, welk spectrum, behalve tal van bekende lijnen, twee meestal zeer heldere onbekende lijnen in het groen bevat. Te zamen met enkele heldere waterstof- en heliumlijnen zijn zij kenmerkend voor de geheele groep; het fraaiste exemplaar daarvan is de in Fig. 117 afgebeelde nevelvlek van *Orion* (zie ook Krt 9 bldz. 56)

2. de *witte nevels* die een continu spectrum uitzenden zonder eenige aanduiding van emissie- of absorptielijnen. Deze klasse is het fraaist vertegenwoordigd door den in Fig. 118 afgebeelden nevel van *Andromeda* (zie ook Krt 4 bldz. 49)

Naar hunne *gedaante* onderscheidt men de nevelvlekken in drie groepen, waarvan de 1^{ste} en 3^{de} uit *groene*, de 2^{de} uit *witte* nevels bestaat.

1. onregelmatige,
2. spiraalvormige,
3. ring- en planeetvormige,

terwijl nevelstof in het Heelal bovendien in den vorm van grillig gevormde sluiers voorkomt en als omhulsel van enkele zwakke sterren (z.g. *nevelsterren*).

Tot de onregelmatige nevelvlekken behoort o. a. de *Orion-nevel*. Deze beroemdste en schoonste van alle nevels is in 1618 door Cysatus tijdens de waarneming van eene komeet ontdekt; hij is daarna herhaaldelijk afgebeeld, het eerst door Huygens in 1656. Reeds dadelijk trok daarbij eene groepeerings van vier sterren, die de hoekpunten van een trapezium vormen, de aandacht; in het begin van de 19^{de}

eeuw bleek deze ster niet vier- maar zesvoudig te zijn. De *Orion*-nevel is de eerste die gefotografeerd is geworden, n.l. door Draper in 1880, met een belichtingstijd van 51 min. Bij langere exposities blijken zich de van de centrale nevelwolk vertakkende gebogen nevelstrepen tot ringen bijeen te voegen, en het geheele sterrenbeeld *Orion* blijkt in fijne nevelstof, die zich tot de *Pleiaden* uitstrekt, gehuld te zijn. Ook de *Pleiaden* zelf zijn in dergelijke nevelsluiers gewikkeld, waarvan er een in 1859 visueel, de andere na ettelijke uren expositie fotografisch gevonden zijn. Fig. 119 geeft eene opname van Barnard waarop deze nevels zichtbaar zijn en waarin men het Zevengesternte nauwelijks meer herkennen zou.

Een zeer merkwaardige onregelmatige nevelvlek bevindt zich in den *Zwaan*, aan den rand van den *melkweg* enkele graden ten Oosten van *Deneb*. Deze nevel (Fig. 120) was in den grooten spiegeltelescoop van William Herschel ternauwernood zichtbaar, maar ontpopte zich een eeuw later op een opname van Wolf als een *fotografisch* zeer heldere en uitgebreide nevel, die naar zijne eigenaardige gedaante de *Noord-Amerika*-nevel genoemd wordt.

Terwijl van de onregelmatige nevels de werkelijke vormen niet kunnen worden nagegaan, zijn die der twee volgende klassen juist door hunne gedaante gekenmerkt. De *spiraalvormige* nevels ontbreken in de catalogi der beide Herschels en eerst omstreeks 1840 bemerkte Rosse, die een zeer grooten spiegeltelescoop tot zijne beschikking had, bij sommige nevels een wervelstructuur; daar dit in kleinere kijkers dan den zijnen niet zichtbaar was, werd aan zijne bewering niet veel geloof geslagen, maar later heeft de fotografie haar glansrijk bevestigd. De spiraalvormige nevels, voornamelijk de zeer lichtzwakke, zijn bij duizenden aan den hemel te vinden in allerlei verschillende projectievormen. Fig. 121 geeft den bekenden spiraalnevel in de *Jachthonden*, ongeveer 4° ten Z.W. van η *Ursae maioris*, welks vlak ongeveer loodrecht staat op onze gezichtslijn, waardoor de windingen zoo gunstig mogelijk te voorschijn treden. In den *Andromeda*-nevel



FIG. 120. DE NOORD-AMERIKA-NEVEL IN DEN MELKWEG.
(Foto Yerkes-Sterrenwacht.)

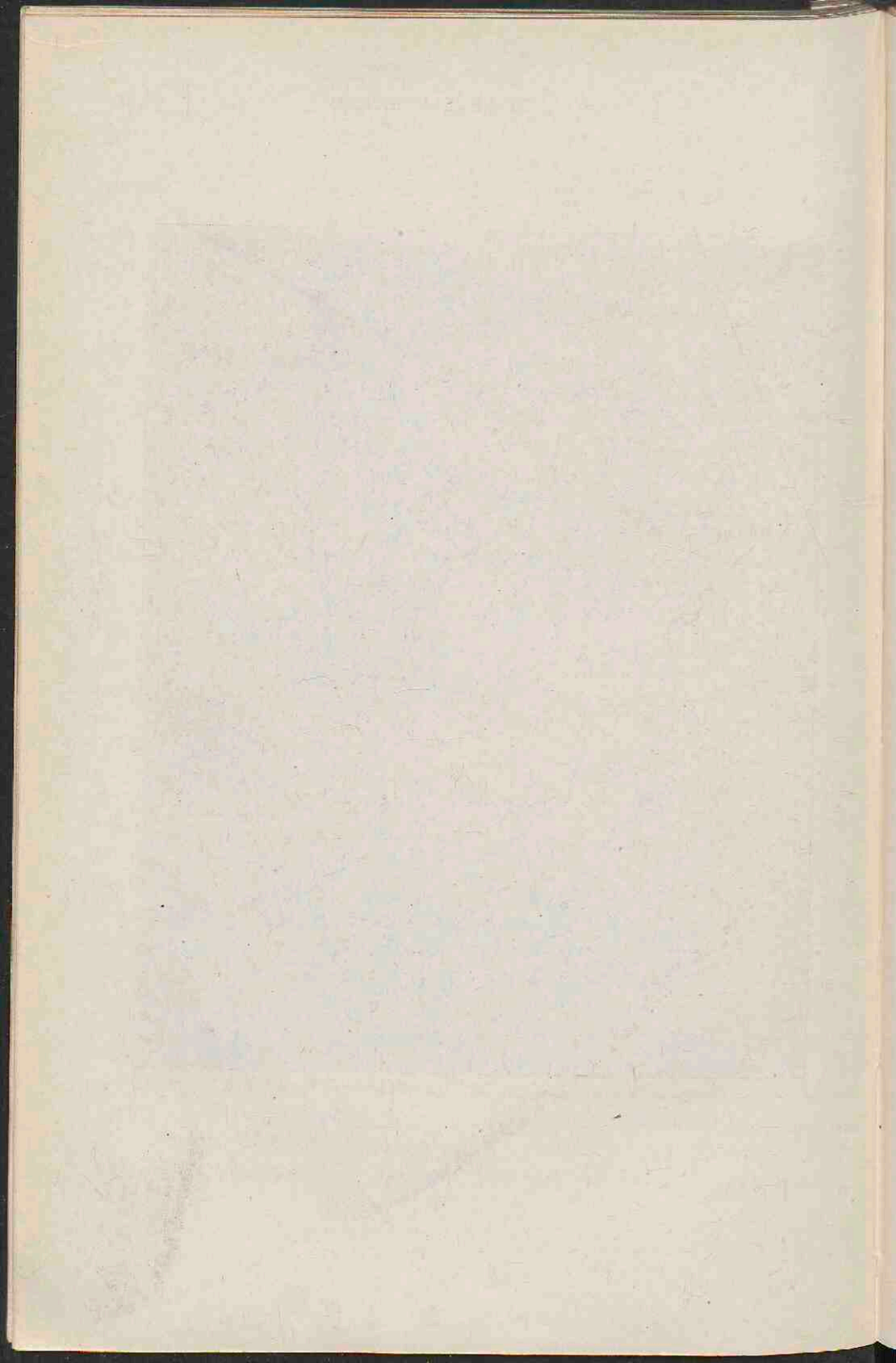




FIG. 121. DE SPIRAALNEVEL IN DE JACHTHONDEN.
(Foto Lick-sterrenwacht.)

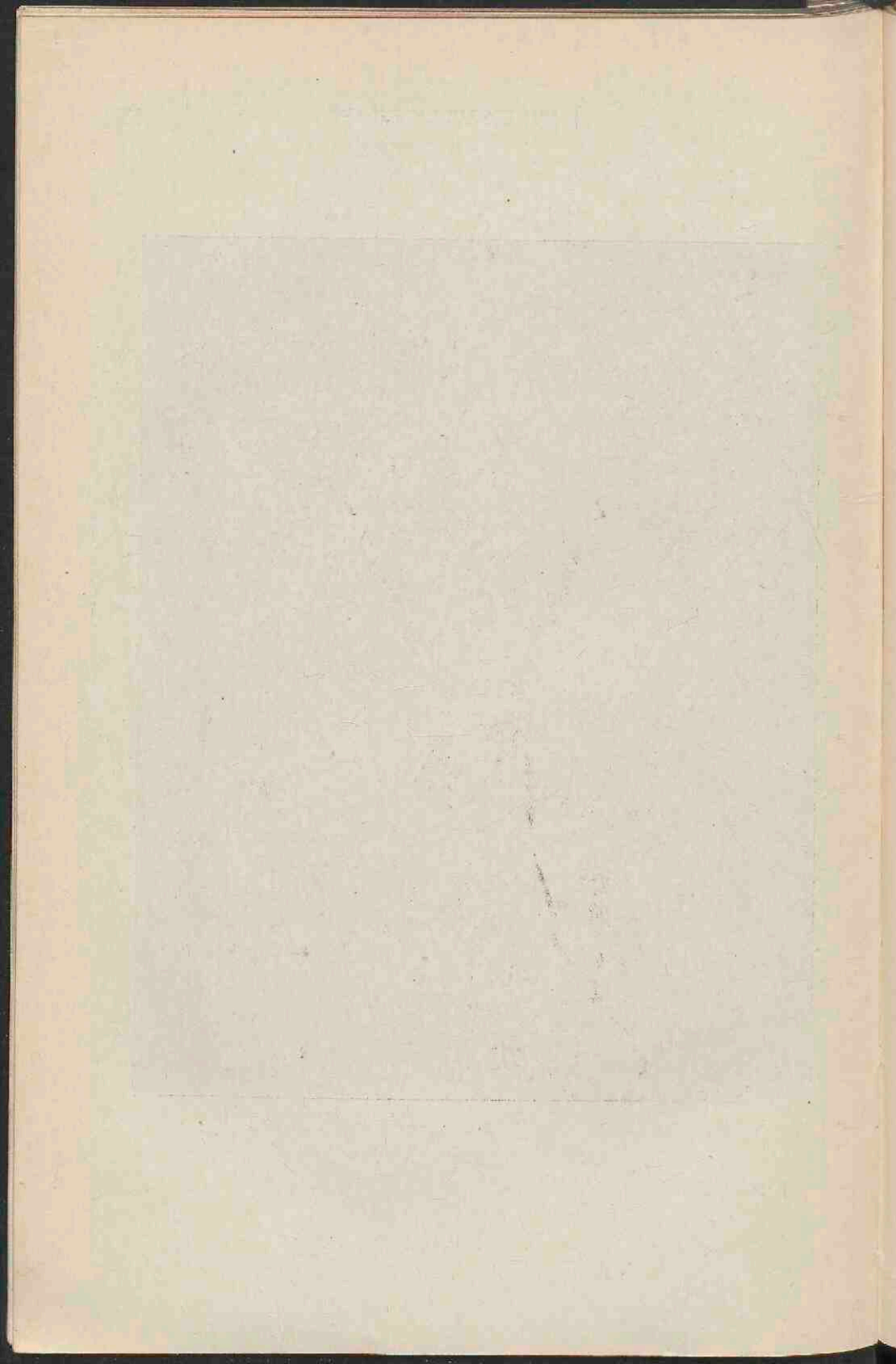
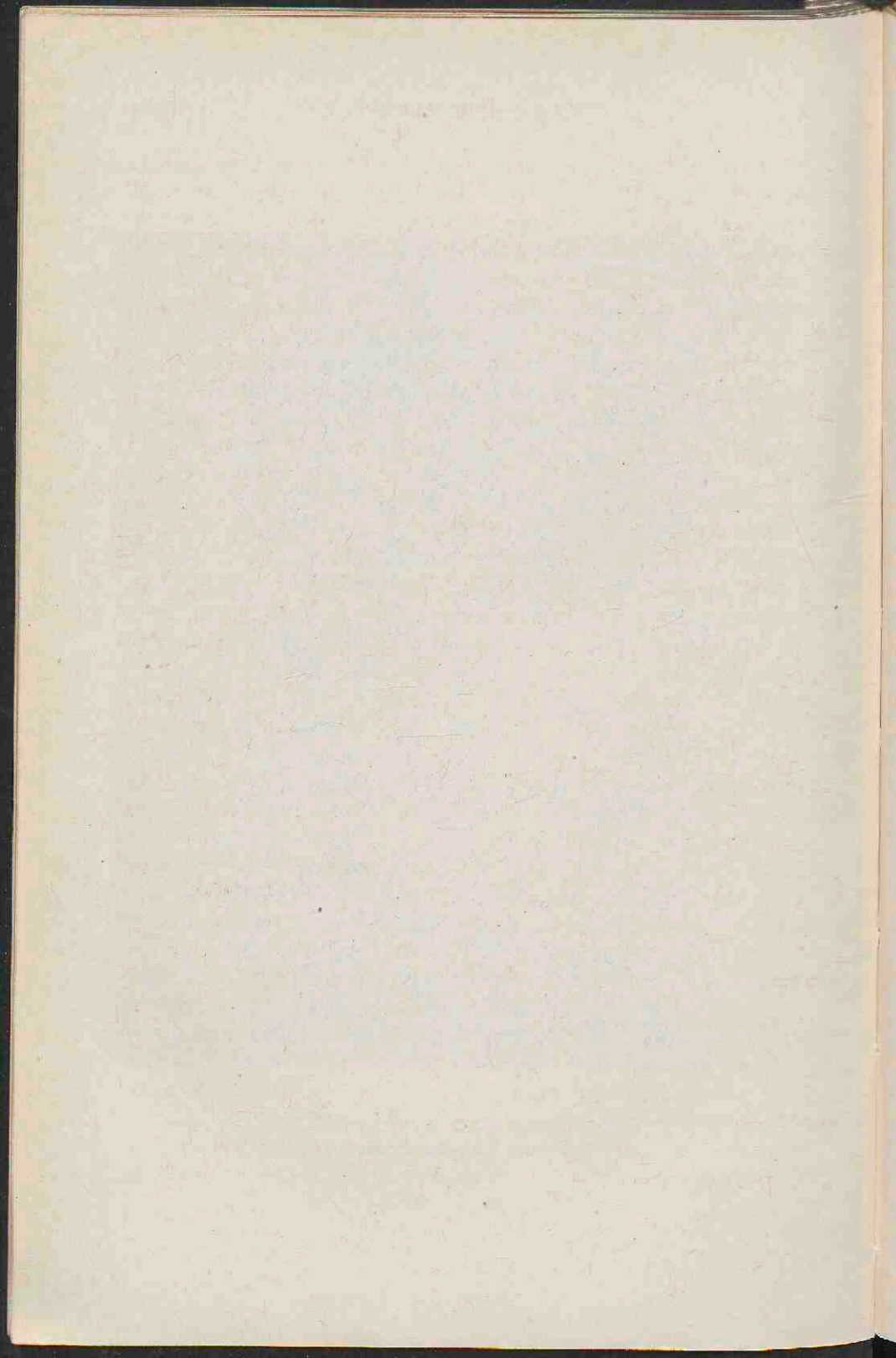




FIG. 122. DE RING-NEVEL IN DE LIER.
(Foto Lick-sterrenwacht.)



daarentegen zien wij waarschijnlijk een spiraalnevel, welks vlak nagenoeg samenvalt met de gezichtslijn, waardoor wij de windingen nauwelijks meer geopend zien kunnen. De spiraal-nevels kenmerken zich door een centrale verdichting van waaruit diametraal tegenover elkaar *twee* windingen in denzelfden zin uitstroomen, die zelve vaak weder verdichtingen, („nevelkluwens”) bevatten; hun spectrum is zeer samengesteld, alsof een absorptie- en emissiespectrum gezamenlijk op een continuen ondergrond zichtbaar zijn.

De *ringvormige* nevels hebben hun heldersten vertegenwoordiger in dien, welke tusschen β en γ van de *Lier* zichtbaar is (Fig. 122). Herschel, die de ruimte binnen den ring ledig waande, noemde hem de „doorboorde nevel-vlek” en eerst Rosse bemerkte dat deze ruimte met ijle nevelstof gevuld is. Dit werd fotografisch bevestigd; tevens bleek toen, zooals reeds op bldz. 153 vermeld is, het bestaan van de sterk actinische centrale ster, die visueel ongeveer $15^m.5$ en dus alleen in zeer krachtige kijkers zichtbaar is. Van dergelijke ringnevels kent men er slechts een vijftal, maar het leidt geen twijfel of de *planeetvormige* nevelvlekken, die vooral de laatste jaren door haar spectrum op de opnamen met het prisma-objectief ontdekt worden, behooren tot dezelfde klasse. Zij zijn zeer klein, hoogstens $30''$, en vertoonen dezelfde sterk actinische kernen als de ringnevels.

Uit den samenhang van nevels en sterren, hun groepeer-ing ten opzichte van den *melkweg* en uit het feit dat de radiale snelheden van gene ongeveer dezelfde bedragen hebben als die van deze, meent men te mogen af-leiden dat de nevels, evenals de sterrenhoopen, tot ons sterrenstelsel behooren. Direct gemeten parallaxen zouden dit definitief kunnen uitmaken, maar voor de meting daarvan zijn de objecten te moeilijk en een positief resultaat is dan ook niet gevonden. In elk geval echter zijn de nevels naar onze begrippen reusachtig groot; binnen den ringnevel van de *Lier* is plaats voor ons geheele zonnestelsel en het helderste gedeelte van den *Orion*-nevel heeft een middellijn,

die duizenden malen dien van de *Neptunus*-baan overtreft.¹⁾

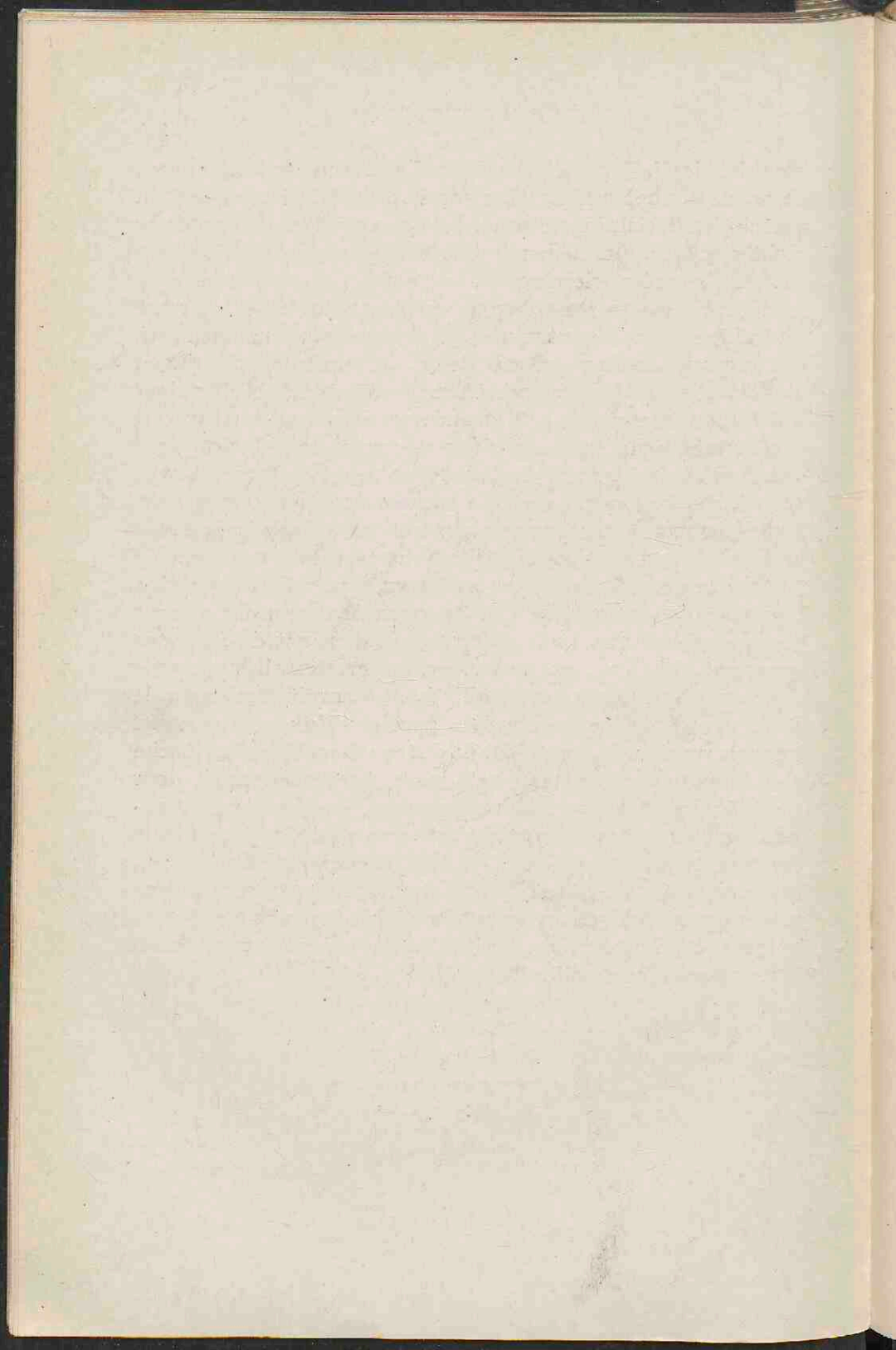
Intusschen loopen de meeningen of *alle* nevels tot ons sterrenstelsel behooren uiteen; ook naar hunne plaatsing en gedragingen in het Heelal zijn de verschillende indeelingen merkbaar. De groote en planeetvormige groene nevels bevinden zich in de nabijheid van den *melkweg* en kenmerken zich door sterrenarme omgevingen; de witte nevels schijnen daarentegen geen enkel verband met de hen omringende sterrenmassa's te toonen. De duizenden zwakke spiraalvormige nevels zijn in sterke mate *bij de polen van den melkweg* opeengehoopt, zóó sterk dat Wolf daar op eene oppervlakte van slechts 30 vierkante graden 1728 kleine nevelvlekken fotografisch ontdekte!

Kan men zich hieruit eenigszins een beeld vormen van de rol der nevelvlekken in de processen van het Heelal, over het wezen en het lichtend vermogen van deze hemelvormen tast men volkomen in het duister. Zeer waarschijnlijk echter is de temperatuur er zéér laag, de lichtuitzending uiterst gering, en alleen bemerkbaar op zulk een grooten afstand, doordat millioenen Kilometers diepe lagen daartoe samenwerken.

Wij willen onze hemelbeschrijving niet besluiten zonder, zij het dan ook met een enkel woord, te spreken over de pogingen, die sedert enkele jaren gedaan worden om eenige orde te scheppen in den chaos van losse gegevens over het wezen der sterren, en daardoor den weg te banen, die vroeg of laat leiden zal tot een inzicht in den bouw van het sterrenstelsel, of, zooals een geliefkoosde uitdrukking luidt, van „*het zichtbare Heelal*.” Dat, afgescheiden van den opvallenden melkweggordel, de sterren niet in alle richtingen in even grooten getale zichtbaar zijn, leert reeds een eenvoudige beschouwing met het bloote oog, en in het laatst der 19^{de}

¹⁾ De parallaxis van den eersten nevel is daarbij gelijk ondersteid aan die van de centrale ster, die van den tweeden nevel gelijk aan die der trapezium-sterren.

ceuw leidde W. Herschel het af uit zijn telescopische peilingen, d. w. z. uit het onderzoek naar het aantal sterren, dat in verschillende richtingen in het veld van zijn grooten reflector zichtbaar was. Aannemende dat het zien van méér sterren in een bepaalde richting beteekent dat het sterrenstelsel in die richting grootere diepte bezit, trachtte hij er de ruwe omtrekken van te ontwerpen. Het spreekt echter vanzelf, dat eerst wanneer men van de in verschillende richtingen zichtbare sterren de *afstanden* kent, een dergelijk beeld zuiver ontworpen kan worden. Het onderzoek moet dus allereerst gericht zijn op het meten van een zeer groot aantal parallaxen van zwakkere sterren. Om dan het beeld te kunnen voltooien, moet men het verband kennen tusschen de verschillende elementen der sterren; wij leerden als zoodanig reeds kennen het duidelijk uitgesproken verband tusschen de *kleur* van een ster en haar *spectrum*, maar men kan zich bijv. ook de vraag stellen of de *eigen beweging* der sterren verband houdt met haar spectrum en dus met de fase van hare ontwikkeling, en zoo is er meer. Dit alles voert tot den opzet van een „*sterrenstatistiek*,” waaruit eerst na vele jaren goed gedocumenteerde gevolgtrekkingen gemaakt kunnen worden. Het is duidelijk, dat een dergelijke statistische onderneming volgens een vast plan geschieden moet door een uitgebreide coöperatie van werkers, en het is een streeplende gedachte te weten dat het schema voor deze coöperatie door een *Nederlander*, Prof. Dr. J. C. Kapteijn, te Groningen, is ontworpen. Gedurende de laatste vijf jaren werken vele sterrenkundigen in verschillende deelen van de wereld volgens de voorschriften en onder de contrôle van onzen beroemden landgenoot.



Tabel I. — Schijnbare afstanden aan de sfeer.

Afstand van	GEVORMD DOOR DE BOGEN
2°	β — γ Lyrae; α — γ Aquilae.
2½	δ — ζ Orionis.
3	β — γ Ursae minoris.
3½	γ — ζ Leonis.
4½	Castor — Pollux; α — β Canis min.; γ — η Leonis.
5	α — β = α — γ = ε — δ Cassiopeiae; α — η Boötis; β — γ Aquilae; α — η Leonis.
5½	α — β Ursae maioris.
7	ζ — η Ursae maioris.
7½	α — γ Orionis.
8	β — γ Ursae maioris.
9	α — β Librae.
10	α — δ Ursae maioris.
10½	α — ε Boötis.
11	α — ζ Virginis.
11½	α — ζ Leonis.
13	α — β Pegasi; β — γ Virginis;
13½	γ — ε Virginis; Pleiaden (η Tauri) — Aldebaran
14	α Andr. — β Pegasi; α Andr. — γ Pegasi; ζ — ε Virginis.
15	β — γ Orionis.
15½	δ — η Ursae maioris.
16½	α — γ Pegasi.
19	α — γ Ursae minoris.
23	Sirius — ε Orionis = ε Orionis — Aldebaran.
24	Wega — Deneb.
24½	α — β Leonis.
25½	α — η Ursae maioris; Sirius — Procyon.
28½	α Ursae maioris — α Ursae minoris
33	Arcturus — Spica.

Tabel II. — Paaschdata voor de eerste 25 jaren
der 20^{ste} eeuw.

Jaar	Datum	Jaar	Datum
1901	April 7	1914	April 12
1902	April 12	1915	April 4
1903	Maart 30	1916	April 23
1904	April 3	1917	April 8
1905	April 23	1918	Maart 31
1906	April 15	1919	April 20
1907	Maart 31	1920	April 4
1908	April 19	1921	Maart 27
1909	April 11	1922	April 16
1910	Maart 27	1923	April 1
1911	April 21	1924	April 20
1912	April 7	1925	April 12
1913	Maart 23		

Tabel III. — Astronomische Gebeurtenissen in 1913 en 1914.

Datum	GEBEURTENIS
1913	
Januari 27	Bedekking van Spica door de maan 13 u. 23 m.
Februari 12	Venus in grootste elongatie $46^{\circ} 43'$ O v. d. zon.
Maart 11	Mercurius in grootste elongatie $18^{\circ} 19'$ O v. d. zon.
„ 19	Venus in grootste helderheid als avondster.
„ 22	Totale maansverduistering, onzichtbaar in Nederland.
„ 23	Bedekking van Spica door de maan 9 u. 0 m.
April 6	Gedeeltelijke zonsverduistering, onzichtbaar in Nederland.
„ 24	Venus in benedenconjunctie.
„ 24	Mercurius in grootste elongatie $27^{\circ} 12'$ W. v. d. zon.
Mei 29	Saturnus in conjunctie met de zon.
„ 30	Venus in grootste helderheid als morgenster.
Juli 3	Venus in grootste elongatie $45^{\circ} 44'$ W. v. d. zon.
„ 5	Jupiter in oppositie met de zon.
„ 7	Mercurius in grootste elongatie $16^{\circ} 12'$ O. v. d. zon.
Augustus 22	Mercurius in grootste elongatie $18^{\circ} 25'$ W. v. d. zon.
„ 31	Gedeeltelijke zonsverduistering, onzichtbaar in Nederland.
Sept. 15	Totale maansverduistering, onzichtbaar in Nederland.
„ 30	Gedeeltelijke zonsverduistering, onzichtbaar in Nederland.
November 1	Mercurius in grootste elongatie $23^{\circ} 34'$ O. van de zon.
December 6	Saturnus in oppositie met de zon.
„ 10	Mercurius in grootste elongatie $21^{\circ} 1'$ W. van de zon
1914	
Januari 5	Mars in oppositie met de zon.
„ 20	Jupiter in conjunctie met de zon.
Februari 10	Bedekking van Regulus door de maan 18 u. 15 m.
„ 11	Venus in bovenconjunctie.
„ 22	Mercurius in grootste elongatie $18^{\circ} 6'$ O. van de zon.
„ 24	Ringvormige zonsverduistering, onzichtb. in Nederland.
Maart 12	Gedeeltelijke maansverduistering zichtb. in Nederland.

Datum	GEBEURTENIS	
1914		
April	6	Bedekking van Regulus door de maan 15 u. 47 m.
„	7	Mercurius in grootste elongatie $27^{\circ} 46'$ W. v. d. zon.
Mei	30	Bedekking van Mars door de maan 5 u. 26 m.
„	31	Bedekking van Regulus door de maan 5 u. 10 m.
Juni	19	Mercurius in grootste elongatie $24^{\circ} 55'$ O. v. d. zon.
„	25	Bedekking van Venus door de maan 20 u. 11 m.
Augustus	5	Mercurius in grootste elongatie $19^{\circ} 14'$ W. v. d. zon.
„	5	Venus in conjunctie met Mars; te 14 u. Venus $10'$ Z. v. Mars.
„	10	Jupiter in oppositie met de zon.
„	21	Totale zonsverduistering, als ged. verd. zichtb. in Nederland.
Sept.	4	Gedeeltelijke maansverduistering, onzichtb. in Nederland.
„	18	Venus in grootste elongatie $46^{\circ} 27'$ O. v. d. zon.
October	15	Mercurius in grootste elongatie $24^{\circ} 52'$ O. v. d. zon.
„	23	Venus in grootste helderheid als avondster.
November	7	Overgang van Mercurius over de zon.
„	23	Mercurius in grootste elongatie $19^{\circ} 51'$ W. v. d. zon.
„	27	Venus in benedenconjunctie.
December	21	Saturnus in oppositie met de zon.

REGISTER

A

Aantrekking. Wet der alg. — 80.
Aardlicht 77.
Aberratie van het licht 27.
Absorptie spectra 147.
Aequatoriale banden van Jupiter 289.
Aequatoriaal 124, 129.
Aequinoctiën 36.
Afmetingen der planetoiden 285.
Afstanden aan de sieer 439.
Albedo 228.
Algol 58, 400, 407.
Alignementen 47.
Almagest 38, 345.
°Angstr. eenheid 138.
„Annuaire astronomique” 297.
Apex der zonsbeweging 368.
Aphelium 84.
Apogeum 228.
„Astronomische Zentralstelle” 316.
„Astronomische Nachrichten” 281.
Astronomische gebeurtenissen 441.
Astron. Gesellsch. Catalogus 358.
Avondster 87.

B

Bandenspectrum 147, 320.
Benedenconjunctie 88.
Bieliden 335.
Binnenplaneten 84, 86.

„Black drop” 178.
Boldriehoek 9.
„Bonner Durchmusterung” 357.
Bovenconjunctie 88.
Buigingsspectra 140.
Buitenplaneten 84, 94.

C

„Cape Durchmusterung” 358.
„Carte du Ciel” 359.
Chromosfeer 196, 208.
Circumpolairsterren 19.
Cluster-veranderlijken 404.
Coelostaat 210.
Conjuncties planeten 98.
„Cordoba Durchmusterung” 358.
Corona 201, 209.

D

Dagboog 16.
Declinatie 16.
Dierenriem 40, 63.
Doppler-Fizeau 151.
Dubbelrefractor 159.

E

Ecliptica 25, 37.
Ecliptica-kaarten 281.
Eclipticapool 47.
Eigen bew. der sterren 366, 373, 376.

Eigen bew. der zon 366.
 Elementen groote planeten 82.
 Elongatie 88.
 Emissiespectra 143.
 Eros 183.
 Evenwijdige sfeer 21.
 Extinctie 72.

F

„Farbentönung” 357.
 Fechner. Wet van — 346.
 Fonkelen der sterren 73.
 Fotografisch museum 184.
 Fotogr. fotometrie 355.
 Fotometers 344, 349, 351.
 Fotosfeer 190, 202.
 Foto-visueele lens 155.

G

„Gegenschein” 342.
 Golflengte 138.
 Gregoriaansche kalender 115.
 Grootcirkelhoog 10.
 Grootteklassen 345.

H

Harvard Photometry 351.
 Heliakische opkomst 50.
 Helderheid 345.
 Heliometer 126.
 Hemelaequator 13.
 Hemelpool 12.
 Hoogte en Azimuth 24.
 Horizon 12.

I

Intra-mercurieele planeten 317.

J

Juliaansche kalender 115.
 Juliaansche periode 103.
 Jupiter-fotografieën 291.
 Jupiter-kometen 317.
 Jupiter-satellieten 291.

K

Kaapsche wolken 63.
 Kanalen van Mars 256.

Kegelsneden 312.
 Kepler. Wetten van — 79, 80.
 Kleurenfotogr. der Maan 246.
 Kleurenfotogr. van Mars 278.
 Kleurklassen 353.
 Kolenzakken 63.
 Kometenstaarten 324.
 Kometenzoeker 130.
 Knoopenlijn 179.
 Kortper. veranderlijken 403, 407.

L

Langper. veranderlijken 403, 409.
 Lengte en breedte 29.
 Leoniden 55, 333.
 Libratie 237.
 Lichtdruk 328.
 Lichtjaar 364.
 Lichtkromme 399.
 Loodrechte sfeer 21.
 Lyriden 55, 334.

M

Maanbeweging 5.
 Maansverduisteringen 229, 232.
 Mars-dampkring 272.
 Mars-fotografieën 270.
 Mars-satellieten 279.
 Meridiaancirkel 121.
 Meridiaanvlak 13.
 Meridiaanzaal 135.
 Micrometer 125.
 Middelbare tijd 102.
 Mira Ceti 61, 397.
 Morgenster 87.
 Mount Wilson Obs. 162.

N

Nachthoog 16.
 „Nautical Almanac” 297.
 Neptunus-kometen 318.
 Neptunus-satellieten 310.
 Nevels. groene — 427.
 „ witte — 427.
 „ onregelmatige — 427.
 „ planeetv. — 435.
 „ ringv. — 435.

Nevels. spiraalv. — 428.
 Nevelsterren 427.
 Newton. Wet van — 80.
 Nichols 345.
 Nieuwe sterren 411.

O

Objectiefprisma 141.
 Omkeerende laag 201.
 Ontd. van planetoiden 282.
 Ontwikkelingsgang der sterren 387.
 Opkomst en ondergang 3.
 Oppositie 94.
 Oppervlakte helderheid 121.
 Overgang over de zon 177.

P

Paaschdata 440.
 Parabolische snelheid 313.
 Parallactische kijker 124.
 Parallaxis der zon 176.
 Parallaxis der sterren 27, 360.
 Perigeum 228.
 Perihelium 84.
 Periodieke kometen 317.
 Periodiciteit der zonnevlekken 196.
 Perseïden 58, 333.
 Planetenbewegingen 6.
 Polarisatiemetingen 246.
 Polen 9.
 Poolkappen van Mars 277.
 Poolsafstand 16.
 „Potsdamer Generalkatalog” 349.
 Poolshoogte 15.
 Praecessie 22, 67.
 Prismatisch spectrum 139.
 Prismacamera 142.
 Protuberansen 196, 208.
 Purkinje. Verschijnsel van — 399.

R

Radiale snelheid 149, 366, 369.
 Radiant 332.
 Rechtlopend 98.
 Rechte klimming 16.
 Reflector 131, 162.
 Refractie 69.

Refractor 116.
 Ring van Saturnus 301.
 Roode vlek van Jupiter 289.
 Rotatie der Maan 237.
 Rotatie van Mars 279.
 Rotatie van Jupiter 290.
 Rotatie van Saturnus 301.
 Rotatie van Uranus 309.

S

Saturnus-kometen 318.
 Saturnus-satellieten 306.
 Scheidingsvermogen 121.
 Schemering 75.
 Schemeringsopkomst 50.
 Schuine sfeer 21.
 Schijngestalten der Maan 229.
 Schijngest. der binnenpl. 92.
 Scintilleeren 73.
 Seizoenen 30.
 Sfeer 7.
 Siderische omloop 89.
 Siderostaat 210.
 Snelheid van het licht 187, 296.
 Spectraalfotometer 149.
 Spectraalklassen 380.
 Spectrograaf 141.
 Spectrogram 141.
 Spectroheliograaf 143, 216.
 Spectrometer 143.
 Spectroscop 141.
 Spectrosc. dubbelsterren 396.
 Sterbedekkingen 238.
 Stereocomparator 284.
 Sterrencatalogi 357.
 Sterrenstroomen 378.
 Sterrenstatistiek 437.
 Sterretijd 106.
 „Stufen”-methode 398.
 Synodische omloop 89, 96.
 Synodische maand 230.

T

Teekenproeven op Marsmodel 269.
 Tellurische lijnen 202.
 Temperatuur van Mars 277.

Temperatuur der sterren 149, 388.
 Temperatuur der zon 225.
 Teruglopend 98.
 Titius. Wet van — 83, 280.
 Toppunt 4.
 Torentescoop 215.
 Trans-neptunische planeten 311.
 Tropisch jaar 114.
 Tijdbepaling 108.
 Tijdvereffening 103.

U

U. Geminorum 404.
 Uranus-kometen 318.
 Uranus-satellieten 309.
 Uurhoek 22.

V

Vallende sterren 330.
 Venus-overgangen 179.
 Vergrooiting aan den horizon 74.
 Verschuiving der sterrenbeelden 8.

Visueele dubbelsterren 393.
 Vorm van het hemelgewelf 74.

W

Ware tijd 102.
 Waterstof-reeks 385.
 Winterhalfjaar 85.
 Wintersolstitium 34.

Z

Zenith 4.
 Zichtbaarh. Zodiak. licht 340.
 Zomerhalfjaar 85.
 Zomersolstitium 34.
 Zonnestelsel 195.
 Zonnegranelatie 190.
 Zonnejaar 26.
 Zonnestelsel 79.
 Zonnetheorieën 223.
 Zonnevlekken 193, 207.
 Zonsverduistering 229.
 Zuid-tropische sluier 289.

INHOUD

EERSTE AFDEELING.

		Bidz.
Hoofdstuk	I Een blik naar den hemel met het ongewapende oog	1
„	II Plaatsbepaling aan de sfeer	9
„	III De sterrenbeelden	38
„	IV De waarnemer op den bodem der luchtzee	69
„	V Het zonnestelsel en de planetenbewe- gingen	79
„	VI Tijd en kalenderregeling	100
„	VII Het gebruik van kijkers en de inrichting van sterrenwachten.....	116
„	VIII De bestudeering van het spectrum der hemellichten	137
„	IX Het fotografeeren der hemellichten ..	152

TWEEDE AFDEELING.

Hoofdstuk	X De astronomische lengte-eenheid....	175
„	XI De zon	189
„	XII De maan	228

	Bldz.
Hoofdstuk XIII De planeten	252
„ XIV De kometen en meteoren	312
„ XV Het licht van den Dierenriem en het Oppositielicht	339
„ XVI Het sterrenstelsel in zijn verschillende indeelingen	344
<i>a.</i> Helderheid; kleur; kaarten	344
<i>b.</i> Afstanden	360
<i>c.</i> Bewegingen	366
<i>d.</i> Spectra	379
„ XVII De dubbelsterren en veranderlijke sterren	389
„ XVIII De Melkweg; de nevelvlekken en sterrenhoopen	413
Tabel I Schijnbare afstanden aan de sfeer	439
„ II Paaschdata voor de eerste 25 jaar der 20 ^{ste} eeuw	440
„ III Astronomische gebeurtenissen in 1913 en 1914	441
Register	443
