DR. ANT. PANNEKOEK

KOSMOGRAFIE

DR. ANT. PANNEKOEK - KOSMOGRAFIE

~~40,-~~

5,-

KOSMOGRAFIE

LEERBOEK TEN DIENSTE VAN HOOGERE BURGERSCHOLEN, GYMNASIA EN VERDERE INRICHTINGEN VAN ONDERWIJS

DOOR

Dr. A. PANNEKOEK

DERDE DRUK

MET 102 FIGUREN EN 17 PLATEN

A. W. SIJTHOFF'S UITGEVERSMAATSCHAPPIJ N.V.
TE LEIDEN

TER INLEIDING.

Dit leerboek onderscheidt zich van de bestaande leerboeken in doel en methode. Als doel van het kosmografisch middelbaar onderwijs meenen wij te mogen opstellen, dat aan de leerlingen een klaar begrip gegeven wordt van de groote omwenteling en verruiming van wereldinzicht van af het door den eersten zinsindruk gegeven primitieve wereldbeeld tot het wereldstelsel van Copernicus en Newton, dat gerekend wordt tot het geestelijk bezit van ieder beschaafd en ontwikkeld mensch te behooren. Daarnaast komen zoowel de technische hulpmiddelen van de eigenlijke vaksterrekunde (koördinatenstelsels en plaatsbepaling), als ook de nieuwste ontdekkingen over de natuurlijke gesteldheid van de hemellichamen slechts in de tweede plaats.

Wat de methode betreft, meenen wij, dat het kosmografisch onderwijs aanschouwelijk en praktisch moet zijn. Alle natuurwetenschap berust op de ervaring. Men kan daarom iemand niet in een natuurwetenschap inleiden, door hem enkel de feiten en uitkomsten mee te deelen. Wezenlijker dan de feiten en uitkomsten is de methode, waardoor zij verkregen zijn, door op de ervaring gevolgtrekkingen op te bouwen. Evenals natuurkundeonderwijs zonder proeven en plantkundig onderwijs zonder plantenmateriaal ondenkbaar zijn, evenzoo moeten de leerlingen de verschijnselen van de zon, de maan en de sterren en de beweging der planeten telkens waarnemen, om daaruit konklusies omtrent den bouw van het wereldstelsel af te leiden. Als hulpmiddel voor dit doel hebben wij verleden jaar een ,,Sterrenatlas ten gebruike van het onderwijs'' uitgegeven.

Wij hebben getracht in dit boek de eischen van zulk een behandelingsmethode zoo goed mogelijk te vereenigen met de eischen, die op gewoonte, voorschrift (Eindexamenreglement) en omstandigheden (Kosmografie alleen één uur in de twee hoogste klassen) berusten. Doordat nieuwe dingen opgenomen zijn zonder dat nog het oude, gebruikelijke weggelaten kon worden, omvat de hier geboden stof meer dan in twee jaren verwerkt kan worden. Hierin konden wij geen bezwaar zien, omdat voor de kosmografie in nog hooger mate dan elders geldt, dat niet overal naar een uniform schema kan gedoceerd worden, maar dat elk leeraar op die gedeelten, die hij het geschiktst en interessantst vindt, dieper moet ingaan, om van de rest maar enkele hoofdzaken te behandelen. Ook is te bedenken, dat er veel is, wat uitgelegd moet worden, opdat de leerlingen tot een goed begrip van een zaak komen, zonder dat zij het zóó grondig behoeven te kennen, dat zij het zelf kunnen weergeven ; dit laatste is alleen voor enkele hoofdzaken of bijzonder eenvoudige details noodig.

Over inrichting en gebruik van het boek nog enkele opmerkingen. Door kleinen druk is al datgene onderscheiden, wat niet tot de leerstof behoort : aanwijzing voor waarnemingen, bewerking van waarnemingsuitkomsten als voorbeeld voor behandeling van eigen uitkomsten, berekeningen, soms vragen of vingerwijzingen, of wat als hulp voor diegenen dienen kan, die iets verder willen indringen. Gaarne had ik hierbij al datgene gevoegd, wat op de koördinatenstelsels betrekking heeft, daar ook dit enkel als technisch hulpmiddel bij waarneming en berekening te pas komt ; maar de geldende exameneischen veroorloofden dit niet.

Daar het sterrekundig ervaringsmateriaal niet door proefneming, maar door waarneming verkregen moet worden, moet men gunstige gelegenheden afwachten, die voor een groot deel 's avonds buiten de schooltijden vallen. Dit brengt reeds mede, dat het voor een deel door de leerlingen zelf, naar vooraf gegeven aanwijzingen moet verzameld en medegebracht worden, waarbij het dan door volgende bespreking en vergelijking gekontroleerd wordt. Verder volgt daaruit, dat reeds dadelijk met zulke waarnemingen begonnen moet worden, om later het materiaal te hebben als het noodig is. Daarop moet bij de volgorde van behandeling gelet worden ; terwijl men met de dagelijksche verschijnselen van de zon bezig is, moet ook dadelijk een begin gemaakt worden met waarneming van den sterrenhemel volgens hoofdstuk 2 ; en zoodra men daarin een eindje gevorderd is, moet dadelijk met waarneming van de maan en de planeten voor hoofdstuk 5 en 11 begonnen worden. Terwijl deze waarnemingen gaandeweg verzameld worden, kunnen de gevolgtrekkingen uit de eerste hoofdstukken behandeld worden ; komt men aan hoofdstuk 11, dan zijn de leerlingen reeds met karakter en aard van de daarin behandelde bewegingen vertrouwd.

De waarnemingen van de zon in het begin zullen met de uitvoerigheid, waarmee ze hier gegeven zijn, in een vierde klasse van een H.B.S. niet behandeld kunnen worden ; dit behoeft ook niet, daar deze verschijnselen bekend genoeg zijn. Wij hebben ze toch gegeven, als hulpmiddel voor sommige inrichtingen van onderwijs, waar de mogelijkheid bestaat in voorafgaande jaren nu en dan een tijdje aan zulke waarnemingen van de zon te besteden, en zoo een juistere empirische kennis van de met de jaargetijden wisselende verschijnselen te krijgen.

Aan het slot zijn, als aanhangsel, eenige wiskundige afleidingen gegeven, niet om ze bij de kosmografie te behandelen, maar om te toonen, hoe de wiskunde, die op de H.B.S. geleerd wordt en haar toepassingen veelal op onreëele vraagstukken moet vinden, tal van reëele praktische toepassingen vindt, zoodra men de verschillende vakken met elkaar in verband brengt.

Voor opmerkingen van collega's, vooral ook omtrent hun ondervindingen met deze methode, houdt de schrijver zich zeer aanbevolen.

INHOUD.

		blz.
1.	Waarnemingen van de zon	1
2.	De sterrenhemel	8
3.	De beweging van de zon	16
4.	De aarde	25
5.	De maan	37
6.	De verduisteringen	47
7.	Plaatsbepaling op aarde en aan den hemel	55
8.	Tijdrekening	62
9.	De aswenteling der aarde	65
10.	Onregelmatigheid van de zonsbeweging	73
11.	De schijnbare beweging der planeten	81
12.	Het wereldstelsel van Copernicus	96
13.	De wetten van Kepler	111
14.	De aantrekkingskracht	120
15.	De lichamen van het zonnestelsel	130
16.	Kometen en meteoren	145
17.	De vaste sterren	154
Aanhangsel		164

I. Zonnewijzers.
II. Konstruktie en berekening van opkomst en ondergang.
III. Berekening van azimuth en hoogte uit deklinatie en uurhoek en omgekeerd.
IV. Rechte klimming van de zon.

---

1. WAARNEMINGEN VAN DE ZON.

§ 1. De zon komt in het Oosten op, staat 's middags in het Zuiden het hoogst, en gaat in het Westen onder. Aan de Oostzijde stijgt zij schuin naar rechts omhoog, aan de Westzijde daalt zij schuin naar rechts omlaag.

Deze beweging bepaalt de windstreken. H e t Z u i d e n i s d e r i c h t i n g, w a a r d e z o n h e t h o o g s t s t a a t. De lijn op de aarde, die juist in de richting Noord—Zuid loopt, heet m e r i d i a a n of m i d d a g l ij n.

Voor de b e p a l i n g v a n d e p l a a t s d e r z o n a a n d e n h e m e l is de oudste en eenvoudigste methode de waarneming van de schaduw van een vertikalen stok of zuil (g n o m o n).

W a a r n e m i n g. Een stok wordt vertikaal in den grond gestoken. De lijn, die van den top der schaduw naar den top van den stok loopt, is naar de zon gericht; in die richting, maar tegengesteld, vallen de zonnestralen. De hoek, dien de zonnestralen met den grond (d.i. met de horizontale schaduw) maken, wordt gevonden door de lengte van de schaduw te meten; dan is

$$\operatorname{tg} h = \frac{\text{lengte stok}}{\text{lengte schaduw.}}$$

De richting van de schaduw, van den schaduwtop naar den voet gerekend, is de richting naar het punt van den horizon, dat onder de zon ligt.

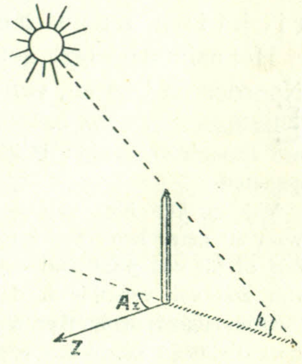


Fig. 1.

(Om nauwkeurige getallen te krijgen, kan men het instrument nog praktischer inrichten, door, in plaats van den top van een staaf, een ronde opening te nemen en door een schietlood het punt recht beneden deze opening te vinden, van waar de lengte van de schaduw gemeten wordt. Al naar de omstandigheden kan men de metingen buiten op den grond, met een grooter toestel en ruwer, of binnen, op een tafel voor het venster met een kleiner en fijner instrument doen.

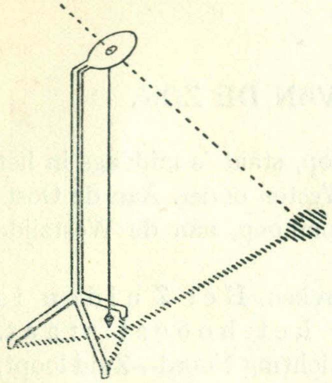


Fig. 2.

De plaats van de zon aan den hemel, d.i. de richting van de gezichtslijn (de lijn naar de zon toe), wordt gegeven door den hoek h, de hoogte van de zon, en den horizontalen hoek A, het *azimuth* der zon.

De **hoogte** van de zon (of een ander hemellichaam) is *de hoek, dien de gezichtslijn met het horizontale vlak, dus met hare projektie op het horizontale vlak maakt.* Het **azimuth** *is de hoek tusschen deze projektie en de richting naar het Zuiden.*

Het azimuth wordt geteld van af het Zuiden, door het Westen, Noorden en Oosten, van 0° tot 360°.

De hoogte van een hemellichaam is dus wat anders dan de hoogte van een aardsch voorwerp: de laatste wordt met meters, de eerste met graden gemeten.

Wij spreken hier van de gezichtslijn als lijn naar de zon toe. Van waar uit getrokken? Dat komt er niet op aan; wij kunnen die lijn uit ons oog of uit een punt van den grond getrokken denken. De hemellichamen zijn zoo ver verwijderd, dat al deze lijnen evenwijdig zijn. Wij zullen daarom algemeen spreken van „de plaats van waarneming", van waar uit de gezichtslijn getrokken wordt.

§ 2. Om de plaats van een hemellichaam aan te geven, *stellen wij ons den hemel voor als een halven bol*, beneden begrensd door den *horizon*, die een horizontalen

cirkel om ons vormt, waarvan wij, evenals van den bol, het middelpunt innemen.

Elke gezichtslijn snijdt den hemelbol in een punt. Elk vlak door het middelpunt snijdt den bol volgens een grooten cirkel. Elke hoek in het middelpunt komt overeen met een boog op den hemelbol, die evenveel graden bevat. Elke beweging van een hemellichaam, die wij als richtingsverandering waarnemen, vertoont zich als een weg, langs den hemelbol beschreven.

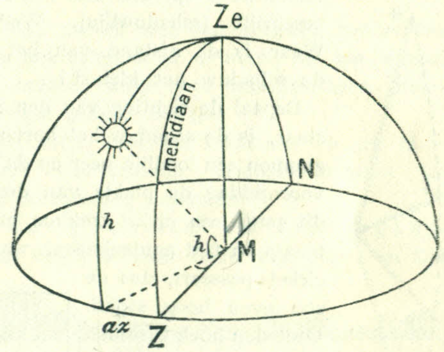


Fig. 3.

Een lijn loodrecht naar boven (*vertikaal*) snijdt den hemelbol in het *zenith* of *toppunt*. Deze vertikaal staat loodrecht op alle lijnen in het horizontale vlak; elke boog, van het zenith naar een punt van den horizon getrokken, bevat dus 90°.

Elk vlak door de vertikaal (*vertikaalvlak*) snijdt den hemelbol volgens een cirkel door het zenith (*vertikaalcirkel*), die loodrecht op den horizon staat. De vertikaalcirkel en het vertikaalvlak door het N.- en Z.punt heet *meridiaan* (evenals de horizontale lijn N.—Z.) en *meridiaanvlak*.

Met behulp van dezen hemelbol kunnen wij hoogte en azimuth nog anders uitdrukken.

De hoogte is de boog van den vertikaalcirkel door de zon, tusschen zon en horizon. Of kortweg: *de hoogte is de afstand (in boogmaat) tusschen de zon en den horizon.*

Het azimuth is de boog van den horizon, tusschen het Z.punt en den vertikaalcirkel der zon. Of ook: de hoek tusschen het meridiaanvlak en het vertikaalvlak der zon. Of ook: de hoek, waaronder de meridiaan en de vertikaalcirkel van de zon elkaar in het zenith snijden.

§ 3. Wij volgen de beweging van de zon aan den hemel.

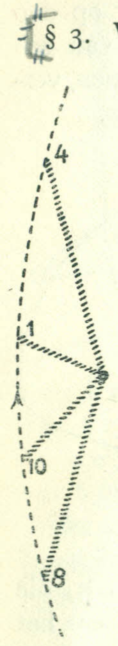


Fig. 4.

A. W a a r n e m i n g e n   m e t   d e n   g n o m o n. Teekent men in den loop van den dag telkens de plaats van den schaduwtop op, dan ziet men, dat deze op den grond een lijn beschrijft (schaduwlijn). Welke gedaante heeft deze lijn? Waar is de afstand van het voetpunt van den gnomon tot de schaduw het kleinst?

Bepaal de richting van den meridiaan. Als de zon het hoogst staat, is de schaduw het kortst. Laat uit het voetpunt van den gnomon een loodlijn neer op de schaduwlijn. Men kan ook in den voormiddag de plaats van den schaduwtop aanteekenen, door dit punt een cirkel trekken om het voetpunt, en 's namiddags plaats en tijd aanteekenen, waar en wanneer de schaduwtop den cirkel passeert, dus de zon even hoog stond. Deel den hoek tusschen beide richtingen middendoor. Het midden tusschen beide tijdstippen is de w a r e   t i j d   v a n   d e n   m i d d a g. Vergelijk dezen met den plaatselijken of den Amsterdamschen tijd (het horloge aan het station of telegraafkantoor nauwkeurig vergelijken!). De gevonden meridiaan wordt door merkteekens vastgelegd, om later te gebruiken tot eenvoudiger bepaling van het oogenblik van den middag.

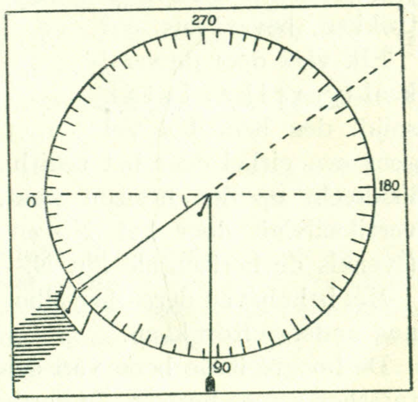


Fig. 5.

Meet in den meridiaan de schaduwlengte en bereken daaruit de middaghoogte. (Bij deze waarnemingen altijd datum er bij zetten!)

B. A n d e r e   m e t h o d e   v a n   w a a r n e m i n g. Men teekent op een vierkant blad karton een cirkel, verdeelt den omtrek in graden (eerst in 60°, 30°, 15°, door konstruktie, verder door probeeren in drieën en vijven), zet er getallen 0° tot 360° bij, en plaatst hem vertikaal met de 90 naar beneden. Men steekt door het middelpunt een speld en laat van daar uit een schietlood hangen. Men plaatst dezen cirkel met het vlak juist naar de zon gekeerd. De schaduw van de speld op den rand (op een papiertje op te vangen) geeft de hoogte van de zon in graden aan. Valt het schietlood niet precies op de 90 beneden, dan moet de afgelezen hoogte voor het verschil verbeterd worden.

Zet men dit karton op een blad papier met een dergelijk verdeelden horizontalen cirkel, dan is daarop het azimuth af te lezen; om het 0 punt juist in het Zuiden te krijgen, moeten weer twee waarnemingen, vóór- en namiddags, bij gelijke zonshoogte gedaan worden.

Naar het principe van dit toestelletje, met een vertikalen en een horizontalen cirkel, zijn de fijnere sterrekundige meetinstrumenten ter bepaling van hoogte en azimuth (theodoliet) ingericht.

C. W a a r n e m i n g e n   v a n   o p k o m s t   e n   o n d e r g a n g. Wie in het Oosten of Westen een vrijen horizon heeft, kan plaats en tijd van zonsopkomst en -ondergang waarnemen. Daartoe moet men eerst met behulp van een horizontalen cirkel, die (volgens B) met het 0 punt naar het Zuiden gericht georiënteerd is, het azimuth van kenbare punten aan den horizon (torens, boomtoppen, huizen) bepalen. Dan maakt men boven een schaal van azimuthgraden een schets van alle zichtbare voorwerpen en bochten aan den horizon. Met behulp daarvan is voor elke waarneming van opkomende en ondergaande zon datum, tijd en azimuth op te teekenen.

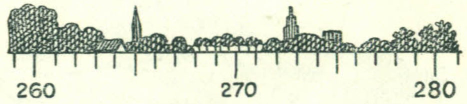


Fig. 6.

D. Wanneer men een vliegenkap van metaalgaas, die den vorm van een halven bol heeft, op een tafel in de zon zet, kan men op allerlei tijden van den dag de plaats opzoeken, waarvan de schaduw juist op het middelpunt op tafel valt. Steekt men op die plaatsen een luciferhoutje in het gaas, dan wijst de rij van die stokjes de baan van de zon langs den hemelbol aan.

Teekent men de baan van de zon langs den hemel binnen tegen een halven bol of buiten op een bol, dan vindt men :

De zon beschrijft een cirkel aan den hemelbol, die in het O. en W. door den horizon afgesneden wordt. Zij doorloopt dezen cirkel met gelijkmatige snelheid. Wij besluiten daaruit, dat na zonsondergang de zon deze beweging voortzet : het azimuth neemt nog verder toe en de hoogte wordt negatief. Vóór zonsopkomst stijgt de zon van negatieve hoogte tot 0°, terwijl het azimuth toeneemt. Dit blijkt ook uit de schemering ; terwijl zij na zonsondergang steeds flauwer wordt, verplaatst zich het midden van den schemeringsboog naar rechts. In een zomernacht zien wij de schemering regelmatig van het N.W. door het N. naar het N.O. schuiven.

Wij kunnen dus de zichtbare baan tot een geheelen cirkel aanvullen. De zon doorloopt elk etmaal regelmatig een cirkel langs den hemelbol, die in het Zuiden het hoogste, in het Noorden het laagste punt heeft, en door den horizon in een zichtbaar en een onzichtbaar gedeelte wordt verdeeld.

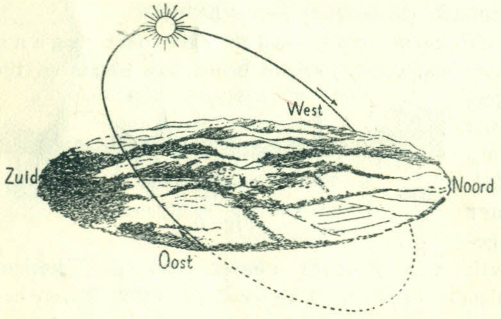


Fig. 7.

De boog van dezen cirkel, dien de zon van af het hoogste punt in het Zuiden heeft afgelegd, heet uurhoek. Hij groeit regelmatig met den tijd. Daar 360° van den cirkel in 24 uren wordt afgelegd, is

$$u \text{ in graden} = 15 \times t \text{ in uren},$$

of ook uurhoek = zonnetijd, in graden omgezet.

[De waarnemingen van de zon worden geregeld voortgezet, door telkens opnieuw de middaghoogte, den tijd van waren middag, zoo mogelijk den tijd en het azimuth van opkomst en ondergang, en den vorm van de schaduwlijn te bepalen en op te teekenen. Over het gebruik van de waarnemingen zie Hoofdstuk III.]

$\frac{16}{24} : \frac{2}{3} + \frac{360}{3}$ 240

8 u = 120°

u = 15 x t

2. DE STERRENHEMEL.

§ 4. Des nachts ziet men aan den onbewolkten hemel de sterren en somtijds de maan.

De sterren zijn verschillend in grootte en vormen met elkaar verschillende figuren; de groepen, waarin men ze samenvat en die door de figuur, die de helderste met elkaar vormen, herkenbaar zijn, heeten sterrebeelden. Naar de helderheid onderscheidt men de sterren in 6 soorten: de helderste groep heet van de eerste grootte, de flauwste, nauwelijks zichtbare van de zesde grootte; enkele zeer heldere sterren steken nog ver boven de eerste grootte uit.

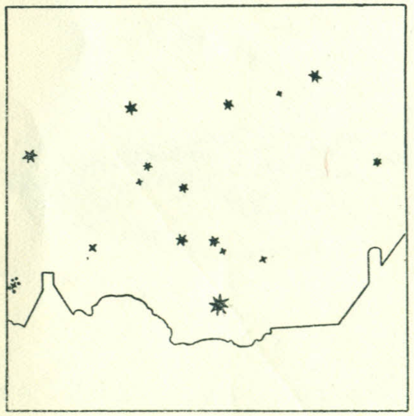


Fig. 8.

[Waarnemingen. Maak een schets van de figuren, die in het Noorden zichtbaar zijn, evenzoo in het Zuiden, het Oosten en het Westen; de schets in het Noorden moet tot dicht bij het zenith reiken. Teeken er de voorwerpen, die de rechte lijn van den horizon breken en den zichtbaren hemel beneden begrenzen, bij op en teeken den tijd aan. (Het is goed zich aan te wennen, bij al wat men aan den hemel of elders opmerkt, een schetsje te maken om vast te leggen wat men gezien heeft, en er den tijd zoo goed mogelijk bij te noteeren.) Deze schets kan men naderhand met een sterrekaart vergelijken om

de namen er in te voegen. Ook kan men den hemel direkt met een kaart vergelijken. Men vindt nu en dan een heldere ster tusschen de andere, die niet op de kaart staat. Noteer zorgvuldig de plaats op de kaart.]

Hier en daar bevinden zich aan den hemel zeer heldere sterren, die niet op de sterrekaarten staan, omdat zij geen vaste plaats tusschen de andere sterren hebben, maar zich tusschen hen bewegen. Zij heeten dwaalsterren of planeten. Er zijn er 5, die naar de Romeinsche godheden Saturnus, Jupiter, Mars, Venus, Mercurius heeten.

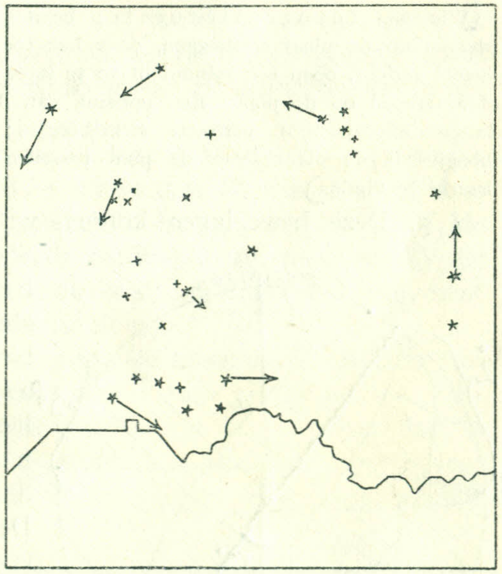


Fig. 9.

[Waarnemingen. Maak een schets als boven van verschillende hemelstreken op twee verschillende tijden van den avond, bv. om 8 u. en om 10 u. Vergelijk deze schetsen en leid daaruit de beweging van de sterren t.o.v. de aardsche voorwerpen af, die op de schetsjes voorkomen.]

Uit de waarnemingen blijkt, dat in het Oosten de sterren schuin naar rechts omhoogstijgen, in het Westen schuin naar rechts dalen, en in het Zuiden enkel naar rechts gaan (evenals de zon). In het Noorden (zie Fig. 9) ziet men ze beneden aan den horizon naar rechts bewegen, hoog, dicht bij het zenith, gaan zij wat naar links, in het N.O. stijgen ze recht omhoog, en in het N.W. dalen ze recht omlaag. Aan den Noordhemel schijnen alle sterren rond te draaien om een middelpunt ter halver hoogte van het zenith (d e h e m e l p o o l) ; een ster daar vlak bij ziet men onveranderlijk op die plaats staan (d e p o o l s t e r).

Volgt men een ster van af het Oosten den geheelen nacht, dan ziet men, dat zij eerst schuin omhoogstijgt, in het Zuiden het hoogst komt en dan naar het Westen daalt en ondergaat. Hetzelfde zien wij bij de maan.

Wie een f o t o g r a f i e - t o e s t e l bezit, kan de beweging van de sterren op de plaat vastleggen, door het toestel, op een deel van den hemel gericht, open een minuut of 10 te laten stilstaan. De sterren trekken dan strepen op de plaat. Een opname van de buurt van de pool (wat langer expositietijd) vertoont cirkelboogjes ; als middelpunt van die boogjes is de plaats van de pool tusschen de sterren daaruit nauwkeurig te vinden.

§ 5. Deze bewegingen kunnen wij verklaren door e e n w e n t e l i n g v a n d e n h e m e l b o l, waaraan alle sterren op een vaste plaats bevestigd zijn, o m e e n a s, d i e s c h u i n n a a r h e t N o o r d e n o m h o o g s t a a t en den hemelbol in de pool treft. De hoogte van de hemelpool is ongeveer 52° ; dit is dus ook de helling van de hemelas t.o.v. den horizon. D e h o e k, d i e n d e h e m e l a s m e t d e n h o r i z o n m a a k t, h e e t p o o l s h o o g t e.

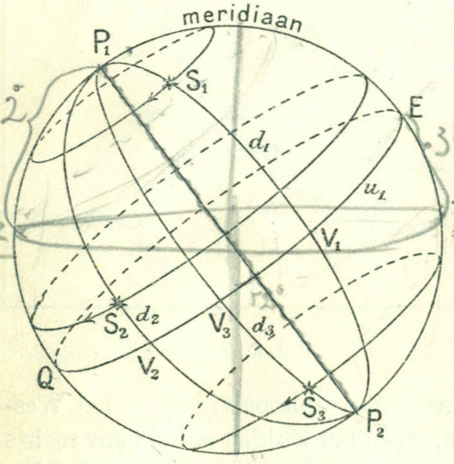


Fig. 10.

De verschijnselen bij de wenteling van een bol om een schuin

staande as kunnen wij met behulp van een g l o b e afleiden. Elke ster beschrijft een cirkel, die loodrecht op de as staat, dus overal evenver van de pool verwijderd is. Deze cirkels zijn des te kleiner, naarmate de sterren dichter bij de pool staan ; de pool zelf blijft in rust en evenzoo blijft een tweede punt, tegenover deze pool, de Z u i d p o o l, in rust. Een ster, die 90° van de polen verwijderd is, beschrijft een grooten cirkel (waarvan het vlak door het middelpunt van den bol gaat).

De groote cirkel, die overal 90° van de polen verwijderd is, heet a e q u a t o r. Horizon en aequator (als groote cirkels op den bol) deelen elkaar middendoor ; zij snijden elkaar in het O.- en W.punt.

D e a f s t a n d v a n e e n s t e r t o t d e n a e q u a t o r h e e t **deklinatie** v a n d i e s t e r (ten N. van den aequator positief, ten Z. negatief gerekend). In fig. 10 is boog S_1V_1 de deklinatie van ster S_1, S_2V_2 de deklinatie van ster S_2 en S_3V_3 de deklinatie van ster S_3. De deklinatie is dus het komplement van den afstand van de ster tot de pool.

De meridiaan gaat door de beide hemelpolen en deelt den dagelijkschen cirkel van elke ster in twee gelijke helften. Elke ster komt dus tweemaal per dag (telkens na een halven dag) in den meridiaan ; eenmaal in het hoogste, Zuidelijke punt (bovenste kulminatie), eenmaal in het laagste, Noordelijkste punt (onderste kulminatie).

Hoe hoog staat het hoogste punt van den aequator in het Z. ? Welken hoek maakt het vlak van den aequator met den horizon ? Wat is de hoogte (positief of negatief) in beide kulminaties van een ster met deklinatie — 30°, 0°, + 30°, 38°, 50°, 88° ?

De plaats, die een ster op haar dagelijkschen cirkel inneemt, wordt evenals bij de zon gemeten door den u u r h o e k.

Men trekt een grooten cirkel door de ster en de beide polen ; deze heet de d e k l i n a t i e c i r k e l. Hij draait met ster en hemelbol mee ; als de ster in het Z. staat, valt hij samen met den meridiaan. De **uurhoek** *is de boog van den aequator, die tusschen den meridiaan en den deklinatiecirkel van de ster begrepen is.* Hij is ook de hoek, waaronder in de pool meridiaan en deklinatiecirkel elkaar snijden.

Wanneer en waar staat nu een ster in den horizon ?

Een ster in den aequator gaat precies in het O. op, in het W. onder ; zij blijft 12 uur boven en 12 uur beneden den horizon. Een ster met Noordelijke deklinatie (S_1 in Fig. 11) beschrijft een kleineren cirkel, die wat meer Noordelijk evenwijdig met den aequator loopt, den horizon ten Noorden van het O.- en van het W.punt snijdt, en voor meer dan de helft boven den horizon ligt. Zulk een ster gaat tusschen N. en O. op en tusschen N. en W. onder, en blijft meer dan 12 uur boven den horizon. Hoe grooter de N.deklinatie, des te verder liggen de plaatsen van opkomst en ondergang naar het Noorden, en des te langer blijft de ster boven den horizon.

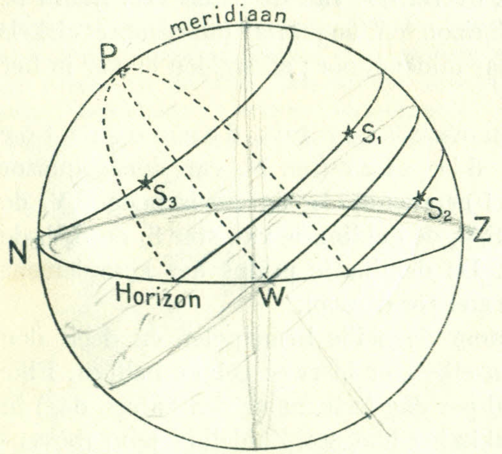


Fig. 11.

Het omgekeerde geldt voor sterren met Zuidelijke deklinatie (S_2). De plaatsen van opkomst en ondergang liggen ten Z. van het O.- en W.punt, en zij blijven minder dan 12 uur boven den

horizon — beide in des te sterker mate naarmate de Z.deklinatie grooter is. min.

Is de N.deklinatie van een ster 90° — poolshoogte (dus 38°), dan raakt de dagelijksche cirkel van de ster den horizon juist in het Noordpunt. Sterren met nog grootere deklinatie (b.v. S_3) blijven altijd zichtbaar ; haar dagcirkels liggen geheel boven den horizon (*cirkumpolairsterren*). Evenzoo blijven sterren, die een grooter Zuidelijke deklinatie dan 38° hebben, altijd onzichtbaar. Haar dagcirkels liggen geheel beneden den horizon, om de Zuidpool heen.

Wij hebben nu twee stelsels van koördinaten, om de plaats van een hemellicht aan te geven. Het eene stelsel geeft de plaats t.o.v. zenith en horizon, het andere t.o.v. pool en aequator. Voor elken cirkel en elke grootheid in het eene stelsel hebben wij overeenkomstige in het andere stelsel.

Met zenith	komt overeen	hemelpool.
,, horizon	,, ,,	aequator.
,, vertikaal	,, ,,	hemelas.
,, vertikaalcirkel	,, ,,	deklinatiecirkel.
,, meridiaan	,, ,,	dezelfde meridiaan
,, hoogte	,, ,,	deklinatie.
,, azimuth	,, ,,	uurhoek.

De plaats van een hemellicht t.o.v. den horizon hebben wij praktisch het meest noodig ; maar deze koördinaten veranderen onregelmatig. De andere koördinaten passen bij de dagelijksche wenteling ; want de deklinatie is standvastig en de uurhoek verandert regelmatig met den tijd, 15° per uur.

Kent men de plaats van een hemellicht volgens een der beide stelsels, dan kan men *met behulp van een globe* de koördinaten volgens het andere stelsel vinden. Zijn pool en zenith, horizon en aequator t. o. v. elkaar juist aangeteekend, dan kan men met een in graden verdeelden band (omtrek = 360°) de plaats volgens hoogte en azimuth aanteekenen, en vervolgens uurhoek en deklinatie van dat punt aflezen. Of ook omgekeerd. (Formules om het eene stel koördinaten uit het andere te berekenen vindt men in Aanhangsel II.) Zonder te meten kan men ook de volgende vragen beantwoorden : in welke hemelstreek moet men een ster zoeken met $d = 60°$, $u = 150°$; met $d = 30°$, $u = 270°$; met $d = -20°$, $u = 330°$; met $d = 70°$, $u = 10°$? Wat is precies azimuth en hoogte bij een ster met $d = -15°$, $u = 0°$; $d = +63°$, $u = 0°$; $d = 0°$, $u = 90°$?

§ 6. Daar de sterren, als het ware vastgehecht aan den hemelbol, door dezen in zijn dagelijksche wenteling meegevoerd worden, is het van belang haar vaste plaats aan den hemelbol door 2 onveranderlijke koördinaten aan te geven. De eene is de deklinatie; voor de andere wordt een vast punt op den aequator aangenomen, het lentepunt (L in Fig. 12; waarom het zoo heet, zal later blijken); en de boog van af dit punt tot den deklinatiecirkel van de ster (a in Fig. 12) wordt Rechte Klimming genoemd. Dus de **Rechte Klimming** is de boog van den aequator, van af het lentepunt tot aan den deklinatiecirkel van de ster, geteld tegen de dagelijksche draaiing in, dus van W. naar O.

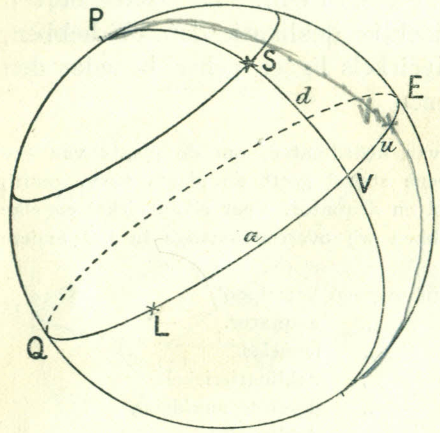


Fig. 12.

Het lentepunt bevindt zich op een plaats van den hemel, die op herfstavonden goed zichtbaar is, nl. ten Z. van den vierhoek van Pegasus. Staat dit punt in het Z., dan ziet men naar het O. de sterren met R.Kl. beneden 90°, dus bv. steeds verder naar het O.: den Ram (R.Kl. ong. 30°), Perseus (R.Kl. ong. 50°), de ster Aldebaran (R.Kl. 68°); daarentegen naar het W. de sterren met R.Kl. tusschen 270° en 360°: b.v. Pegasus (R.Kl. ong. 330°), de ster Altair (R.Kl. 297°), Wega (R.Kl. 278°). Wentelt de hemel verder, dan wordt de uurhoek van alle sterren grooter; na 4 u.

32 m. is de uurhoek van het lentepunt 68° geworden; dan is de uurhoek van den Ram 68° — 30° = 38° geworden; de uurhoek van Aldebaran is 68 — 68° = 0°, d.w.z. Aldebaran staat in den meridiaan.

Door den uurhoek van het lentepunt is de stand van den hemelbol bepaald; de uurhoek van elke ster is te vinden uit de betrekking:

uurhoek ster = uurhoek lentepunt — R.Kl. ster.

De uurhoek van het lentepunt, in tijdmaat uitgedrukt, heet ook sterretijd.

De sterretijd is de tijd, die verloopen is sinds het lentepunt in het Zuiden stond. De bovenstaande betrekking is dus ook zoo uit te drukken:

uurhoek ster = sterretijd — R.Kl. ster.

De sterren gaan achtereenvolgens in volgorde van haar Rechte Klimming door den meridiaan, telkens als de uurhoek van het lentepunt even groot is als de R.Kl. van een ster. Dus de sterretijd = de R.Kl. van de sterren, die juist in het ~~Z.~~ de meridiaan staan.

Kennen wij van een ster de vaste koördinaten rechte klimming en deklinatie, dan vinden wij den uurhoek op zeker oogenblik, door de R.Kl. van den sterretijd van dat oogenblik af te trekken. Uit uurhoek en deklinatie kunnen wij dan den stand t.o.v. den horizon, dus hoogte en azimuth voor dat oogenblik vinden.

3. DE BEWEGING VAN DE ZON.

§ 7. De dagelijksche cirkels van de zon verklaren wij nu ook, doordat de zon door de dagelijksche wenteling van den hemelbol meegevoerd wordt. Zetten wij de waarnemingen van de zon door de opeenvolgende maanden voort, dan zien wij, dat haar dagcirkel verandert.

Wij vinden b.v. van September tot December:

a. De middaglengte van de schaduw wordt steeds grooter, dus de middaghoogte steeds kleiner.

b. Ook in ander azimuth vindt men steeds geringer hoogte.

c. De tijd van opkomst wordt steeds later, de tijd van ondergang steeds vroeger, dus de zichtbare dagboog steeds kleiner.

d. De plaatsen van opkomst en ondergang schuiven steeds meer naar het Z. toe.

(De tijden, waarop de zon in het Z. staat, hebben wij eerst later noodig.)

Uit deze veranderingen blijkt, dat de deklinatie van de zon voortdurend kleiner wordt. De verandering per dag wordt in November en December geringer, en houdt omstreeks 21 December op. De middaghoogte is dan $14^1/_2°$, dus de deklinatie $23^1/_2°$ Zuid.

Daarna begint een tegengestelde verandering in de verschijnselen. De middaghoogte wordt steeds grooter, de dagboog steeds langer, het azimuth bij zonsondergang steeds grooter, dus de deklinatie neemt toe. Omstreeks 21 Maart is de middaghoogte 38°, de deklinatie 0°; de zon passeert den aequator (voorjaars-nachtevening). De toename van deklinatie wordt daarna langzamer, en houdt op omstreeks 21 Juni op

(zomersolstitium); dan is de middaghoogte $61^1/_2°$ en de deklinatie is $23^1/_2°$ Noord. De dagcirkel ligt dan voor $^2/_3$ boven den horizon; de hoogte in onderste kulminatie is $-14^1/_2°$; vandaar dat te middernacht nog schemering zichtbaar is. Na 21 Juni neemt de deklinatie weer af, eerst langzaam, dan sneller, tot de zon omstreeks 22 September weer den aequator passeert (herfst-nachtevening) en de deklinatie weer Zuidelijk wordt.

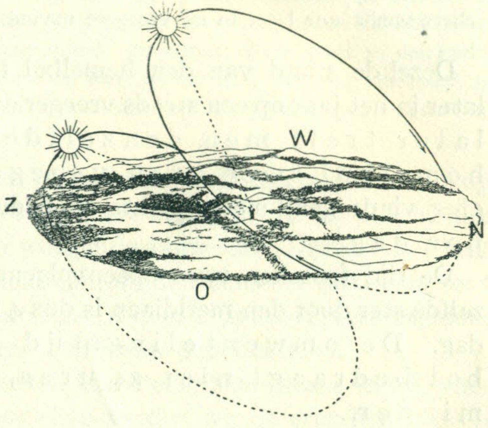


Fig. 13.

De deklinatie van de zon wisselt in den loop van het jaar tusschen $+23^1/_2°$ (21 Juni) en $-23^1/_2°$ (21 December).

Deklinatie van de zon op verschillende dagen:

1 Oct.	3° Z.	1 Febr.	17° Z.	2 Juni	22° N.
1 Nov.	14° Z.	3 Mrt.	7° Z.	2 Juli	23° N.
1 Dec.	22° Z.	2 Apr.	4° N.	2 Aug.	18° N.
1 Jan.	23° Z.	2 Mei	15° N.	1 Sept.	9° N.

Verklaar uit de veranderingen van de dagcirkels der zon de wisselingen in temperatuur in den loop van het jaar.

§ 8. Zetten wij de waarnemingen van de sterren in de opeenvolgende maanden voort, dan zien wij ook daarin verandering.

Waarneming. Maak een of anderhalve maand na den eersten keer opnieuw zulke schetsjes van den sterrenhemel als in § 4 werd aangegeven, op dezelfde tijdstippen ongeveer als toen. Vergelijk deze met de vroegere.

Wij zien, dat de stand van de sterren t.o.v. den horizon en de aardsche voorwerpen op beide avonden op *denzelfden tijd niet gelijk is*. De vroege schets in de latere maand komt het meest overeen met de schets van 2 uur later in de vroegere maand. Wij vinden dan:

Dezelfde stand van den hemelbol t.o.v. den horizon komt later in het jaar op een steeds vroeger avonduur. *Een maand later treft men denzelfden stand van den hemelbol twee uren vroeger aan.* Deze vervroeging vindt gelijkmatig plaats en bedraagt dus *4 minuten per dag.*

De tijd tusschen twee opeenvolgende doorgangen van eenzelfde ster door den meridiaan is dus 4 minuten minder dan een dag. *De omwentelingstijd van den hemelbol bedraagt niet 24 uren, maar 4 minuten minder.*

De omwentelingsduur van den hemelbol heet een *sterredag.* Hij wordt natuurlijk gerekend te beginnen, als het lentepunt door den meridiaan gaat, dus de sterretijd 0 uur is. De sterretijd, die gelijk is aan den in tijdmaat uitgedrukten uurhoek van het lentepunt, wordt dus ook niet gemeten met gewone uren, maar met sterre-uren van $^1/_{24}$ sterredag.

Waarnemingen. Wij volgen de sterren gedurende het geheele jaar. Kijken wij alleen op bepaalde avonduren, b.v. om 10 uur, dan zien wij gaandeweg den stand der sterren veranderen. Terwijl in het Westen de in den herfst zichtbare sterrebeelden de Arend, de Zwaan, Pegasus en de ster Wega geleidelijk wegzinken, komen in het Oosten steeds nieuwe sterrebeelden boven den horizon: de Stier met de Zevenster, daarna Orion en de Tweelingen en in het Z.O. Sirius. Deze komen steeds meer naar het Zuiden; de winter-avondhemel vertoont geheel andere beelden in het Z. dan de herfstavond, nl. diegene, die in den herfst laat in den nacht te zien waren. Gaat de winter voorbij, dan zinken ook de wintersterrebeelden in het W. weg en komt de voorjaarshemel met den Leeuw, de Maagd en Boötes. 's Zomers komen in het Oosten Wega en de Zwaan omhoog, in het Zuiden de Schorpioen en de Schutter, terwijl Boötes

al in het W. gaat dalen. Zoo leeren wij in den loop van het jaar alle sterrebeelden en alle zijden van den hemel kennen.

In het Noorden zien wij den hemel tegelijk ronddraaien. In den herfst staat Cassiopeia, in den winter Capella, in het voorjaar de Groote Beer, in den zomer Wega boven ons hoofd. De Groote Beer staat in den herfst laag in het N.; 's winters zien wij hem in het N.O. omhoog klimmen; in het voorjaar staat hij boven ons hoofd, op de zomeravonden daalt hij in het N.W. omlaag.

Op hetzelfde avonduur vertoont de sterrenhemel in den loop van het jaar achtereenvolgens alle standen, die hij ook in den loop van één dagelijksche wenteling aanneemt. Daar wij het best 's avonds in de gelegenheid zijn, op den hemel te letten, is voor ons elk jaargetij gekarakteriseerd door bijzondere sterrebeelden, dus door een bijzonderen stand van den hemelbol.

Natuurlijk komt in werkelijkheid elke hemelstand in elk jaargetijde eens per dag voor. Zoo vinden wij de standen, die wij herfsthemel en winterhemel noemden:

midden	Sept.	10 u.	's avonds;	midden	Dec.	10 u.	's avonds;
,,	Okt.	8 ,,	,,	,,	Jan.	8 ,,	,,
,,	Nov.	6 ,,	,,	,,	Febr.	6 ,,	,,
,,	Dec.	4 ,,	's nam.	,,	Maart	4 ,,	's nam.
,,	Jan.	2 ,,	,,	,,	April	2 ,,	,,
,,	Febr.	12 ,,	's middags	,,	Mei	12 ,,	's middags
,,	Maart	10 ,,	's voorm.	,,	Juni	10 ,,	's voorm.
,,	April	8 ,,	,,	,,	Juli	8 ,,	,,
,,	Mei	6 ,,	's morgens	,,	Aug.	6 ,,	's morgens
,,	Juni	4 ,,	,,	,,	Sept.	4 ,,	,,
,,	Juli	2 ,,	's nachts	,,	Okt.	2 ,,	's nachts
,,	Aug.	12 ,,	,,	,,	Nov.	12 ,,	,,

Bij den eersten van deze hemelstanden vinden wij in het Zuiden sterren met een rechte klimming van 325°, bij den tweeden (de hemel is 90° verder gedraaid) sterren met een R.Kl. van 55°. Bij den eersten hemelstand is de sterretijd dus 21 u. 40 m., bij den tweeden 3 u. 40 m.

De sterretijd 's middags om 12 uur wordt elke maand 2 uur grooter, elken dag 4 m. grooter, en na een jaar is de verandering $12 \times 2 = 24$ uur, dus de oude waarde teruggekomen.

Omdat precies na een jaar dezelfde waarde terugkomt, is de verandering per dag niet precies 4 m., maar 24 u. : $365^1/_4 = 3$ m. 56.55 s. Een jaar, dat $365^1/_4$ zonnedagen bevat, bevat $366^1/_4$ sterredagen.

§ 9. De sterretijd is gelijk aan de in tijdmaat uitgedrukte R.Kl. van het hemellichaam, dat juist in het Zuiden staat. De sterretijd op het oogenblik, dat de zon in het Z. staat, is elken volgenden dag 4 m. grooter dan den vorigen dag. Dus de R.Kl. van de zon wordt elken dag 1 graad grooter.

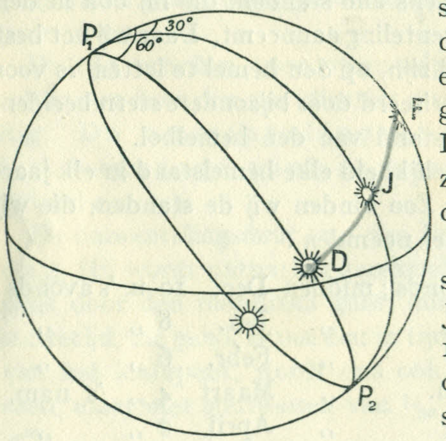
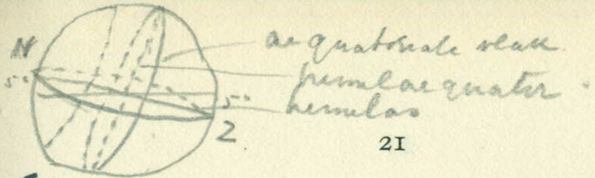


Fig. 14.

Wij beschouwen de tijdstippen 15 Dec. om 4 u., 15 Jan. om 2 u. en 15 Febr. om 12 uur : de hemelbol heeft dan telkens denzelfden stand. De uurhoek van de zon is op den eersten dag 60°, op den tweeden 30°, op den derden 0° ; de zon bevindt zich op die 3 data in D, J, F, dus zij verplaatst zich van het W. naar het O., omstreeks 30° per maand.

De zon beweegt zich langs den hemelbol tusschen de sterren door van het W. naar het O., ongeveer 1° per dag. Na een jaar is zij op dezelfde plaats teruggekeerd.

Tegelijkertijd wisselt, zooals wij in § 7 vonden, haar deklinatie in den loop van een jaar tusschen $+23^1/_2°$ en $-23^1/_2°$. Wat is nu haar werkelijke beweging langs den hemelbol ?



Wij kennen voor allerlei dagen R.Kl. en deklinatie van de zon, en kunnen dus haar plaats op die dagen op een hemelglobe tusschen de sterren in teekenen. Midden Sept. 10 u. 's av. staat een ster met R.Kl. 325° in 't Z., dus om 12 uur 's middags een ster met 175° R.Kl., d.w.z. de R.Kl. van de zon is dan 175°, dus op 1 Sept. 160°. Wij krijgen dus voor de volgende datums, die telkens met $^1/_{12}$ van een jaar (30 of 31 dagen) op elkaar volgen :

1 Sept.	R.K.l. 160°	dekl. + 9°		3 Maart	R.Kl. 340°	dekl. — 7°
1 Oct.	,, 190	,, — 3°		2 Apr.	,, 10	,, + 4°
1 Nov.	,, 220	,, — 14°		2 Mei	,, 40	,, + 15°
1 Dec.	,, 250	,, — 22°		2 Juni	,, 70	,, + 22°
1 Jan.	,, 280	,, — 23°		2 Juli	,, 100	,, + 23°
1 Febr.	,, 310	,, — 17°		2 Aug.	,, 130	,, + 18°

Wij teekenen op een hemelglobe al deze plaatsen aan en verbinden ze door een lijn ; dit is de weg, dien de zon in een jaar doorloopt. Deze lijn doorsnijdt den aequator tweemaal, eens in de buurt van 180° R.Kl., waar ze naar beneden loopt ; en eens op 0° R.Kl., waar zij schuin omhoog loopt.

De zon beschrijft jaarlijks een grooten cirkel om den hemelbol, die schuin ligt t.o.v. den aequator. Deze cirkel heet zonsweg of ekliptika. De schuinscheid van de ekliptika, d.i. de hoek tusschen ekliptika en aequator, bedraagt $23^1/_2°$. Aequator en ekliptika snijden elkaar in twee tegenover elkaar liggende punten, de plaatsen waar de zon omstreeks 21 Maart en 22 September den aequator passeert. Deze snijpunten heeten lentepunt en herfstpunt.

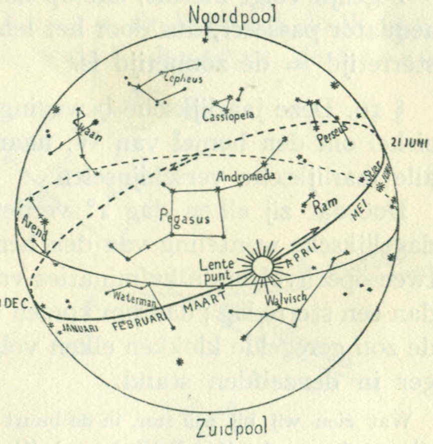


Fig. 15.

Het lentepunt, dat als beginpunt van telling voor de R.Kl. wordt aangenomen, is het punt van den aequator, waar hij door de ekliptika wordt gesneden.

Daarom hebben, absoluut precies, de twee punten van de ekliptika met deklinatie 0° een R.Kl. van 0° en van 180°. De beide cirkels verwijderen zich eerst van elkaar en naderen dan weer tot elkaar; den grootsten afstand (die gelijk aan den hoek der beide cirkels is) hebben ze $^1/_4$ omtrek van de snijpunten verwijderd. De vier hoofdpunten van de ekliptika zijn dus:

R.Kl. 0°	dekl.	0°	(lentepunt)
,, 90°	,,	+ 23$^1/_2$°	(zomerpunt)
,, 180°	,,	0°	(herfstpunt)
,, 270°	,,	— 23$^1/_2$°	(winterpunt)

Tegelijk volgt hieruit, dat op het oogenblik, dat de zon den aequator passeert, dus door het lentepunt gaat (21 Maart), de sterretijd = de zonnetijd is.

§ 10. Deze jaarlijksche beweging van de zon in een grooten cirkel om den hemel van W. naar O. is dus de oorzaak van alle jaarlijksche verschijnselen.

Doordat zij elken dag 1° verder O. komt, blijft zij bij de dagelijksche wenteling van den hemel achter. De tijd tusschen twee opeenvolgende kulminaties van de zon duurt 4 m. langer dan een sterredag; daarom komen de sterren volgens onze naar de zon geregelde klokken elken volgenden dag 4 minuten vroeger in denzelfden stand.

Wat zien wij bij een ster, in de buurt van de ekliptika, op den dag, dat zij met de zon dezelfde R.Kl. heeft? Wat een maand later, als de R.Kl. van de zon 30° grooter is? Wat na 3 maanden; wat na 6 maanden, als zij met de zon 180° in R.Kl. verschilt, dus tegenover de zon staat? Wat na 9 maanden; wat na 11 maanden als de zon een 30° kleinere R.Kl. heeft?

Door de voortgaande beweging van de zon naar het Oosten

zien wij de sterren, die 's avonds in het W. staan, steeds meer, naarmate de zon ze inhaalt, in de schemering verdwijnen. Tegelijk worden 's ochtends in de schemering steeds nieuwe sterren zichtbaar, ten W. van de zon, naarmate deze zich verder van hen verwijdert. Deze morgensterren komen in de volgende maanden steeds vroeger op, worden nachtsterren, daarna avondsterren, om eindelijk, als de zon hen van de rechterzijde nadert, onzichtbaar te worden.

Doordat de cirkel, dien de zon doorloopt, schuin staat t.o.v. den aequator, wisselt de deklinatie van de zon tusschen + 23$^1/_2$° en — 23$^1/_2$°; en daardoor ontstaat, zooals in § 7 bleek, de wisseling der jaargetijden.

De ekliptika loopt door 12 sterrebeelden heen, die men te zamen den dierenriem noemt. Ze zijn, uitgaande van het lentepunt: de Visschen, de Ram, de Stier, de Tweelingen, de Kreeft, de Leeuw, de Maagd, de Weegschaal, de Schorpioen, de Schutter, de Steenbok, de Waterman.

De zon doorloopt er elke maand ongeveer een. Zij zijn van belang, omdat de maan en de planeten zich ook altijd in deze sterrebeelden, in de buurt van de ekliptika bevinden.

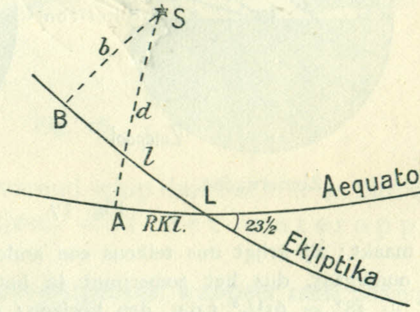
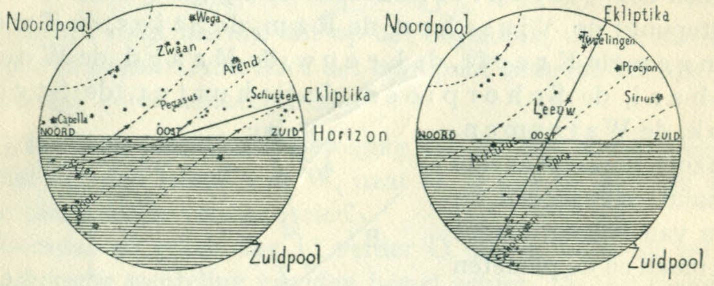


Fig. 16.

De plaats van een hemellichaam kan op dezelfde wijze t.o.v. de ekliptika worden aangegeven als t.o.v. den aequator. De beide koördinaten t.o.v. de ekliptika heeten lengte en breedte, die dus overeenkomen met rechte klimming en deklinatie.

De breedte is de loodrechte boog, uit een ster op de ekliptika neergelaten, of korter: haar afstand tot de ekliptika. De lengte is de boog van de ekliptika tusschen het lentepunt en het voetpunt van den loodrechten boog, uit de ster op de ekliptika neergelaten. In Fig. 16, waar L het lentepunt is, is LA de rechte klimming, AS de deklinatie, LB de lengte en BS de breedte. De plaats van de zon in de ekliptika wordt dus door haar lengte aangegeven, terwijl haar breedte 0° is.]

[Voor wie de hemelverschijnselen wil waarnemen, is het van belang den stand van de ekliptika t.o.v. den horizon te kennen. De ekliptika draait met den hemelbol mee, dus om een as, die een hoek van $66^1/_2°$ met



Zomernacht. Winternacht.

Fig. 17.

haar maakt; zij krijgt dus telkens een anderen stand. Als het lentepunt juist ondergaat, dus het zomerpunt in het Z. staat, helt de ekliptika $23^1/_2° + 38° = 61^1/_2°$ t.o.v. den horizon; als 12 uren later het herfstpunt ondergaat en het winterpunt in het Zuiden staat, is die helling $38° - 23^1/_2 = 14^1/_2°$. In welken tijd van het jaar vindt het eerste in de avonduren en wanneer in de morgenuren plaats? Staat het lentepunt in het Z., dan strekt de ekliptika zich van het N.O. naar het Z.W. uit.]

---

4. DE AARDE.

§ 11. Op het eerste gezicht schijnt de aardoppervlakte (afgezien van bergen en heuvels) vrijwel een plat vlak en een stilstaand wateroppervlak (zee, kanalen) precies een plat vlak te zijn. Nauwkeuriger waarneming toont, dat dit niet juist is.

a. Verschijnselen aan het strand en op zee. De gezichteinder of kim is des te verder verwijderd, naarmate

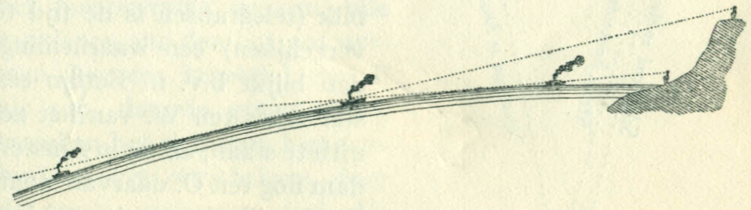


Fig. 18.

men hooger staat. Een uitvarend schip duikt achter de kim weg. Deze verschijnselen bewijzen, dat het wateroppervlak gebogen is.

Te land vertoont zich iets dergelijks, wanneer men boven de huizen en boomen komt, die het gezicht belemmeren. Van ver verwijderde steden ziet men de torens niet; doch wel, als men hoog genoeg stijgt.

b. Reist men naar het N. of het Z., dan verandert de stand van de sterren t.o.v. den horizon. In het eerste geval ziet men de sterren in het N. hooger komen, in het Zuiden lager staan. Het zenith komt dus op een andere plaats tusschen de sterren, meer naar de Noordpool toe, en de horizon is t.o.v. de sterren in het Z. hooger, in het N. lager gekomen ; beide hebben dus hun richting veranderd. Bij een reis naar het Z. heeft juist het omgekeerde plaats (Fig. 19). De stand van het aardoppervlak verandert dus bij een reis naar het N. of het Z. (Bij 100 K.M. afstand bijna $1°$.)

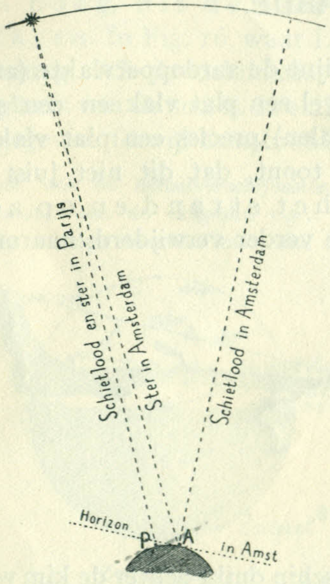


Fig. 19.

Bij een reis naar het O. of W. is dit minder gemakkelijk te konstateeren, omdat de sterren in het O. en W. rijzen en dalen. Doet men echter precies op hetzelfde oogenblik (telegrafisch is de tijd te vergelijken) een waarneming, dan blijkt b.v. in Berlijn een ster reeds ten W. van het zenith te staan, als zij in Amsterdam nog ten O. daarvan staat. De vertikaal van Amsterdam is dus meer Westwaarts, van Berlijn meer Oostwaarts gericht.

c. Zulke verschijnselen, die reeds in de oudheid bekend waren, bewezen alleen, dat het bekende deel van het aardoppervlak gebogen was. De vorm van de geheele aarde vertoonde zich bij *maansverduisteringen* (zie § 22). De schaduw van de aarde bleek steeds cirkelvormig begrensd te zijn. Daaruit werd afgeleid, *dat de geheele aarde een bol moet zijn*.

d. Sinds de 16de eeuw is de geheele aarde bekend ; reizen

om de aarde in alle richtingen bewijzen, dat de aarde ongeveer bolvormig moet zijn. Alle land- en zeekaarten berusten daarop. Uit bovenstaande waarde voor $1°$ volgt dan voor den straal van dien bol ruim 57×100 K.M., dus ongeveer 6000 K.M.

§ 12. Wat is nu de *horizon* bij een bolvormige aarde ? Het vlak van den horizon is nog altijd een vlak door de plaats van waarneming loodrecht op de vertikaal gebracht.

De grens tusschen hemel en aarde, *de kim of gezichteinder*, op zee als een scherpe lijn zichtbaar, valt nu niet precies met den horizon samen.

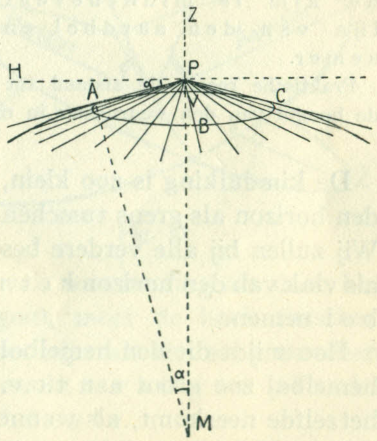


Fig. 20.

Trekken wij uit een waarnemingspunt P, een eindje boven het boloppervlak gelegen, alle raaklijnen aan den bol, zoo vormen deze een kegelvlak met P als top, dat de grens vormt tusschen het zichtbare hemelgebied en het onzichtbare, door de aarde verborgen deel. De cirkel ABC is de zichtbare kim. Zij is van het zenith den hoek ZPA verwijderd, die het hoekje α grooter is dan $90°$. Zooveel als dit hoekje, *de kimduiking*, bedraagt, ligt de kim beneden den theoretischen horizon.

Het hoekje α, de kimduiking, moet de zeeman kennen, om de hoogte van een ster boven den horizon te vinden, als hij de hoogte boven de kim, die alleen een zichtbare lijn is, meet. Uit de figuur blijkt, dat $\angle \alpha = \angle AMP$ en $\cos \alpha = \frac{AM}{PM} = \frac{R}{R+h.}$ Daar h klein en dus α een kleine hoek is, leiden wij hieruit af : $2 \sin^2 {}^1/_2\, \alpha = 1 - \cos \alpha = \frac{h}{R+h}$, waarvoor praktisch $\frac{h}{R}$ is te schrijven. Kent men de hoogte boven den zeespiegel, dan is dus de kimduiking te berekenen. Voor

$h = 1$ M. vindt men $\frac{h}{R} = {}^1/_{6000000}$ $\quad \sin {}^1/_2\,\alpha = {}^1/_{3460}$ $\quad \alpha = 2'$

$= 10$ „ $\quad {}^1/_{600000}$ $\quad {}^1/_{1100}$ $\quad = 6'$

$= 100$ „ $\quad {}^1/_{60000}$ $\quad {}^1/_{346}$ $\quad = 20'$

Hieruit is tevens te berekenen, hoever de kim van ons verwijderd is. $AP = R \operatorname{tg} \alpha$ of ook $AP = \sqrt{PM^2 - AM^2} = \sqrt{(R + h)^2 - R^2} = \sqrt{2hR + h^2}$, waarin de laatste term h^2 zoo klein is, dat hij er niet toe doet; dus $AP = \sqrt{2\,h\,R}$; of: de afstand tot de kim is middenevenredig tusschen de middellijn van den aardbol en de hoogte van den waarnemer.

Praktische regel: de afstand tot de kim in K.M. is de wortel uit $12 \times$ de hoogte van den waarnemer in meters.

De kimduiking is zoo klein, dat wij praktisch nog altijd van den horizon als grens tusschen hemel en aarde kunnen spreken. Wij zullen bij alle verdere beschouwingen de hoogte $h = 0$ en als vlak van den horizon het raakvlak aan den aardbol nemen.

Hoe snijdt dit den hemelbol? Wij nemen den straal van den hemelbol zoo groot aan t.o.v. de aarde, dat het praktisch op hetzelfde neerkomt, als wanneer dit vlak door het middelpunt van de aarde ging. Het snijdt dus den hemelbol altijd nog volgens een grooten cirkel.

§ 13. Het vlak van den hemelaequator, gebracht door het middelpunt der aarde, dat wij tegelijk als middelpunt van den hemelbol beschouwen, snijdt het aardoppervlak volgens een grooten cirkel, aequator, evenaar of linie. De hemelas snijdt den aardbol in twee punten, de aardpolen.

Het vlak, door de vertikaal van een plaats van waarneming en door de hemelas gebracht, dus het meridiaanvlak, snijdt den

aardbol volgens een grooten cirkel, die door de beide polen gaat en aardmeridiaan heet. De lijn N.—Z., die wij uit onze waarnemingen vonden, is een stukje van den aardmeridiaan. De meridianen snijden den evenaar loodrecht.

De plaats op aarde wordt bepaald door lengte en breedte.

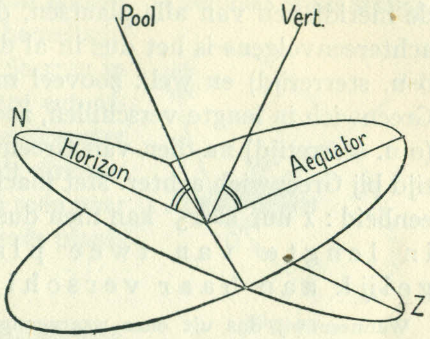


Fig. 21.

De **breedte** van een plaats is de hoek tusschen de vertikaal van deze plaats en het vlak van den aequator. Daar de vertikaal loodrecht op het vlak van den horizon, de hemelas loodrecht op het vlak van den aequator staat (die men beide evengoed door de plaats van waarneming als door het middelpunt der aarde kan leggen), moet de hoek tusschen vertikaal en aequator even groot zijn als de hoek tusschen hemelas en horizon: dus de breedte van een plaats is gelijk aan de poolshoogte.

De **lengte** van een plaats is de hoek, dien zijn meridiaanvlak maakt met een bepaald vast meridiaanvlak, waarvoor tegenwoordig algemeen de meridiaan van de sterrewacht in Greenwich wordt aangenomen.

Staat voor een bepaalde plaats, b.v. Greenwich, het lentepunt precies in den meridiaan, dan zal een uur later door de draaiing van den hemelbol het lentepunt 15° ten W. van dezen meridiaan staan. Het vlak, door het lentepunt en de hemelas, maakt een hoek van 15° met den meridiaan v. Greenwich, snijdt dus het aardoppervlak volgens een meridiaan, die 15° Westelijke lengte heeft. De plaatsen op dezen meridiaan hebben dan 0^u sterretijd, terwijl het in Greenwich 1^u sterretijd is.

Hetzelfde geldt voor de zon : een uur na den middag in Greenwich, wanneer de zon een uurhoek van 15° heeft, staat zij precies in het Zuiden voor een plaats, die ten W. van Greenwich een lengte van 15° heeft ; daar is het dus 1 uur vroeger dan in Greenwich.

Terwijl de zon (of het lentepunt) in 24 uren met den hemelbol eenmaal om de aarde rondloopt, gaat zij achtereenvolgens door de meridianen van alle plaatsen, die rondom de aarde liggen ; achtereenvolgens is het dus in al die plaatsen 12 u. middag (of 0 u. sterretijd) en wel : zooveel malen 15° deze plaatsen met Greenwich in lengte verschillen, zooveel uren komt haar middag (0 u. sterretijd) na dien van Greenwich, en zooveel uren is haar tijd bij Greenwich achter. Met inachtneming van het verschil in eenheid : 1 uur = 15° kan men dus zeggen : H e t v e r s c h i l i n l e n g t e v a n t w e e p l a a t s e n o p a a r d e i s g e l i j k a a n h a a r v e r s c h i l i n t i j d.

Wanneer wij dus uit onze waarnemingen van de zon het tijdstip van den middag afleiden, behoeft dit niet uit te komen met den tijd van station of telegraafkantoor. Deze hebben door heel Nederland „Amsterdamschen tijd". De tijd voor een plaats, die aanmerkelijk veel meer W. of O. ligt, verschilt daarvan. Uit de op den atlas getrokken meridianen kan men afleiden, hoeveel de plaatselijke tijd b.v. in Groningen, in Winterswijk, in Maastricht, in Vlissingen verschilt van den Amsterdamschen tijd.

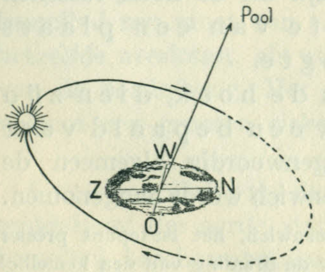


Fig. 22.

Voor de behoeften van het wereldverkeer is door een internationale konferentie de z o n e t ij d ingevoerd. Door meridianen, die $7^1/_2°$, $22^1/_2°$, $37^1/_2°$ enz. lengte t. o. v. Greenwich hebben, is de aarde in 24 strooken of zones verdeeld ; in ieder zal de tijd van den middenmeridiaan van de zone gelden, die juist een vol aantal uren met Greenwichtijd verschilt. Vele landen (b.v. Duitschland, Frankrijk, Rusland, Amerika, Engeland) hebben dit stelsel aangenomen. Daar kan dus de plaatselijke tijd $^1/_2$ uur van den officieelen tijd verschillen.

§ 14. De hemelverschijnselen zijn verschillend voor plaatsen op aarde met verschillende breedte. Begeeft men zich naar het N. of het Z., dan worden de richting van de vertikaal en het vlak van den horizon anders.

G a a t m e n n a a r h e t N., dan worden breedte en poolshoogte grooter ; de N.pool komt hooger, de hemelas staat steiler, de dagelijksche kringen der hemellichten liggen vlakker (Fig. 22). Sterren in het Z. worden onzichtbaar (tot een afstand p van de Zuidpool) ; een grooter aantal sterren in het N. wordt cirkumpolair, (tot $d = 90 - p$). Gaat men naar het Z., dan vindt het omgekeerde plaats (Fig. 23).

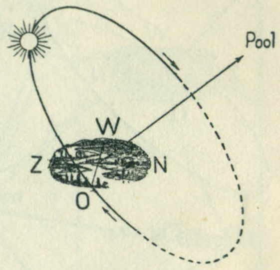


Fig. 23.

De verandering in de hemelverschijnselen, wanneer men naar het N. of Z. gaat, kan men weergeven door den hemelbol een eindje om de horizontale lijn O.—W. te laten wentelen. Hoe verandert dan het zichtbare deel van den dagcirkel van een ster ten N., en van een ster ten Z. van den aequator ?

A a n d e N o o r d p o o l (breedte 90°) vallen hemelpool en zenith, hemelas en vertikaal samen, dus ook horizon en aequator, hoogte en deklinatie, uurhoek en azimuth. De sterren bewegen zich in cirkels evenwijdig aan den horizon ; geen gaat op of onder. Alle sterren met N.deklinatie zijn cirkumpolair, alle met Z.deklinatie blijven onzichtbaar. Tusschen N. en Z., O. en W., bestaat geen onderscheid meer.

A a n d e n e v e n a a r (breedte 0°) vallen hemelas en beide hemelpolen in den horizon, dus gaat de aequator door het zenith. Alle sterren bewegen zich in cirkels, die loodrecht op den horizon staan van het O. naar het W. Er zijn geen cirkumpolairsterren, maar ook geen onzichtbare sterren ; alle sterren van den hemelbol gaan op en onder ; alle blijven 12 uur boven en 12 uur beneden den horizon.

Op het Zuidelijk halfrond staat de Zuidpool des hemels boven den horizon, in het Z. ; de hemelas staat schuin naar het Z. omhoog. De sterren bewegen zich van het O. schuin naar het N. omhoog en dan naar het W. omlaag (Fig. 24) ; om de Z.pool ligt een segment van cirkumpolairsterren, om de N.pool een even groot segment van steeds onzichtbare sterren.

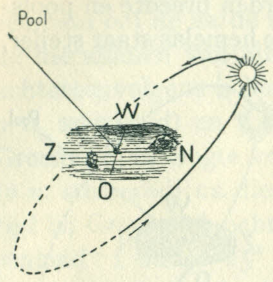


Fig. 24.

Aan de Zuidpool vallen zuidelijke hemelpool en zenith samen, evenzoo aequator en horizon. De verschijnselen zijn dus juist als aan de N.pool, met dit verschil, dat alle sterren met Zuidelijke deklinatie steeds zichtbaar zijn, en dat hun dagelijksche draaiing in tegengestelden zin plaats vindt.

De verschijnselen van de zon op elk van deze plaatsen zijn hieruit gemakkelijk af te leiden : zij komen overeen met die van de sterren, maar van sterren met telkens andere deklinatie.

Verklaar het verschil in klimaat en jaargetijden op verschillende deelen der aarde uit deze verschijnselen van de zon.

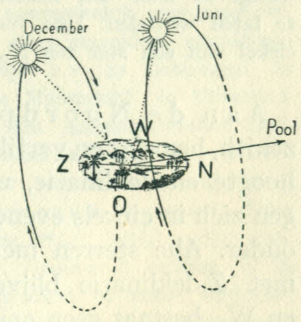


Fig. 25.

Ten gevolge van de wisseling der zonsdeklinatie tusschen $+ 23^1/_2{}^\circ$ en $- 23^1/_2{}^\circ$ onderscheiden wij verschillende zones op aarde.

Voor de poolstreken ten N. van den parallelcirkel van $66^1/_2{}^\circ$ breedte (poolcirkel) kan de zon 's zomers cirkumpolair (middernachtzon) en 's winters onzichtbaar worden (gedurende den tijd, dat de deklinatie grooter is dan $90^\circ - p$). Hetzelfde geldt voor de poolstreken om de Zuidpool.

Voor de tropische zone tusschen de parallelcirkels $+ 23\frac{1}{2}^\circ$ en $- 23\frac{1}{2}^\circ$ breedte (keerkringen) staat de zon tweemaal 's jaars in het zenith ; een deel van het jaar staat zij 's middags ten N., een deel ten Z. van het zenith (Fig. 25).

Tusschen de poolcirkels en de keerkringen bevindt zich op het N.- en Z.-halfrond de gematigde zone. De jaargetijden zijn op beide halfronden tegengesteld.

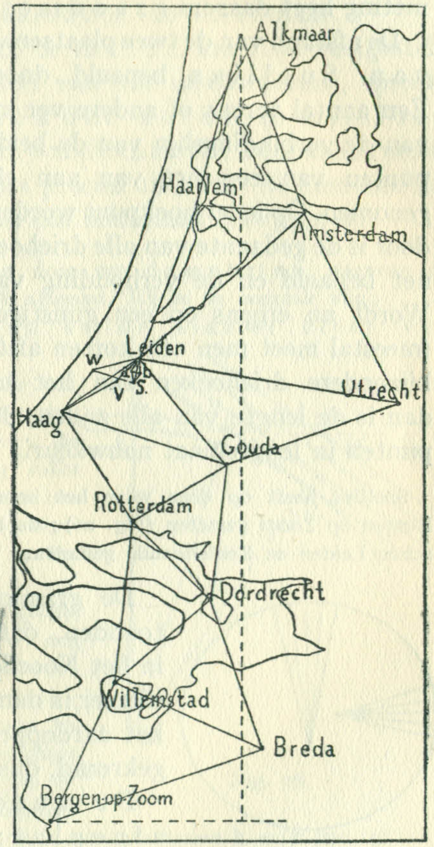


Fig. 26.

§ 15. Om de grootte van den aardbol te vinden, is het niet noodig den geheelen omtrek te meten. Meet men den afstand van twee plaatsen, waarvan de vertikalen een hoek a° maken, dan is de afstand $= \frac{a}{360} \times$ de omtrek van de aarde.

Liggen de plaatsen op denzelfden meridiaan, dan is a haar verschil in breedte. Deelt men den afstand door *a*, dan krijgt men $^1/_{360}$ aardomtrek, de lengte van een aardgraad. Zulk een meting heet daarom g r a a d m e t i n g.

De afstand van de twee plaatsen wordt volgens de m e t h o d e v a n S n e l l i u s bepaald door d r i e h o e k s m e t i n g. Een aantal torens of andere ver zichtbare punten in de buurt van de verbindingslijn van de beide plaatsen worden als hoekpunten van een net van aan elkaar grenzende driehoeken genomen. Op ieder hoekpunt worden alle hoeken gemeten : daardoor is de gedaante van alle driehoeken, dus ook van het geheele net bepaald en de verhouding van alle zijden te berekenen. Wordt nu ergens op een gunstige plaats een zijde gemeten (meestal meet men een korten afstand, de ,,b a s i s", die door bijzondere driehoeken aan het hoofdnet wordt verbonden), dan is de lengte van alle zijden, dus ook de afstand der eindpunten in lengtemaat nauwkeurig te berekenen.

Snellius heeft op deze wijze het breedteverschil tusschen Alkmaar en Bergen op Zoom gemeten (Fig. 26) ; de basis a b werd op een weide tusschen Leiden en Zoeterwoude gemeten.

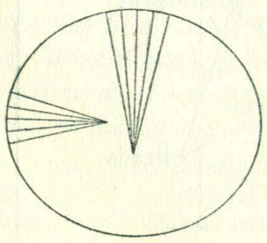


Fig. 27.

De graadmetingen in de 18de eeuw toonden, dat de lengte van een graad in het Noorden grooter, aan den evenaar kleiner is dan in Europa. Dit bewijst, dat het aardoppervlak niet overal even sterk gekromd, dus niet precies een bol is.

D e a a r d e i s a a n d e p o l e n a f g e p l a t ; een meridiaan is niet een cirkel, maar een ellips.

Uit de figuur blijkt, dat zulk een ellips aan de korte as, dus aan de polen platter, aan den evenaar sterker gekromd is. Twee vertikalen, die 1° in richting verschillen, liggen aan de polen verder van elkaar, aan den evenaar dichter bij elkaar.

Uit tal van graadmetingen is e e n a f p l a t t i n g v a n $^1/_{293}$ tot $^1/_{299}$ afgeleid, d.w.z. dat de middellijn van pool tot pool ruim $^1/_{300}$ korter is dan de middellijnen van den evenaar.

Daar onze lengte-eenheid, de m e t e r, indertijd vastgesteld is als het 10 millioenste deel van een aardkwadrant, spreekt het vanzelf, dat de o m t r e k d e r a a r d e 40 m i l l i o e n m e t e r is, dus de straal ruim 6 millioen meter. Door kleine meet- en rekenfouten komt dit niet precies uit ; naar de nieuwste berekeningen is de omtrek van een meridiaan 40007472 M.

§ 16. De aardbol is omgeven door een d a m p k r i n g, waarvan de dichtheid naar buiten geleidelijk afneemt. Hij is de oorzaak van :

1. de heldere v e r l i c h t i n g e n d e b l a u w e k l e u r v a n d e n h e m e l overdag ;

2. d e s c h e m e r i n g. Is de zon onder den horizon gedaald, dan verlicht zij nog een deel van de luchtlagen boven ons. Zoolang zulke verlichte luchtlagen ons licht kunnen toewerpen, dus zich boven onzen horizon bevinden, zien wij licht in het Westen.

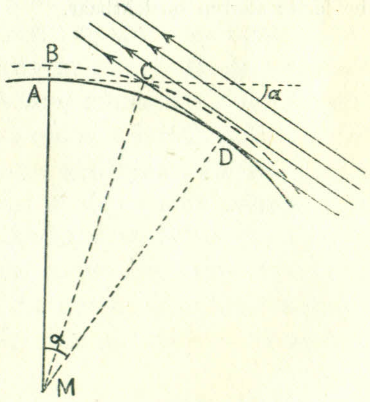


Fig. 28.

Uit de figuur zien wij, dat de hoogte van die luchtlagen, die in 't W. nog juist verlicht worden (hoogte AB = h), bepaald wordt door (h + r) = r sec. ½ α, wanneer α de hoogte van de zon beneden den horizon is. Uit waarnemingen blijkt, dat het laatste licht in het W. verdwijnt, als de zon 18° beneden den horizon is gedaald. Daaruit kan men berekenen h = r (sec. 9° — 1) = 0,0125 r. Uit den duur van de schemering blijkt dus, dat de hoogste luchtlagen, die nog in teruggekaatst zonlicht z i c h t b a a r z i j n, 80 K.M. h o o g z i j n. De dampkring is dus slechts een dunne schil met betrekking tot den geheelen aardbol.

3. d e s t r a a l b r e k i n g. Een lichtstraal, die van buiten komend schuin door den dampkring gaat, gaat door steeds dichtere lagen en

wordt daarbij steeds meer naar de vertikaal toe gebogen. Hij bereikt het oog van den waarnemer in een andere, steilere richting dan hij buiten den dampkring had. Wij zien de sterren dus hooger staan dan zij in werkelijkheid staan. Aan den horizon bedraagt dit verschil 36′. Een halven graad hooger is het reeds veel minder (30′). Vandaar dat de zon, als zij schijnbaar op de kim rust, platgedrukt schijnt; zij is dan in werkelijkheid reeds juist onder de kim gedaald.

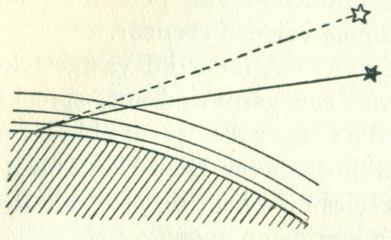


Fig. 29.

4. De lichtuitdooving. Het zonlicht, en ook het licht der sterren, wordt door den dampkring verzwakt, in het zenith tot op $^4/_5$, op geringere hoogte steeds meer; aan den horizon worden daardoor de helderste sterren onzichtbaar.

5. DE MAAN.

§ 17. De maan vertoont een kringloop van verschijnselen, die zich telkens na ongeveer een maand op dezelfde wijze herhaalt. Deze kringloop begint met het verschijnen van een naar links geopende maansikkel in de avondschemering, die kort na de zon ondergaat. De volgende avonden wordt de sikkel breeder en gaat later onder. Een dag of 5 na het eerste verschijnen is de maan half (eerste kwartier); zij staat om 6 uur in het Zuiden en gaat omstreeks middernacht onder. In de volgende 7 dagen groeit zij, terwijl zij steeds later ondergaat, tot een volle schijf aan (volle maan), die 's avonds in het O. opkomt, den ganschen nacht schijnt en 's ochtends ondergaat. Daarna neemt de maan af, terwijl zij steeds later in den nacht opkomt; zij wordt weer half (maar nu de linkerhelft verlicht) (laatste kwartier), en eindelijk een naar rechts geopende sikkel, die slechts kort vóór de zon opkomt. Verdwijnt deze, dan blijft de maan een dag of vier onzichtbaar vóór zij opnieuw 's avonds in het Westen verschijnt.

Om haar beweging nauwkeuriger te volgen, teekenen wij haar plaats aan den hemelbol op een sterrekaart in.

Men begint zoo vroeg mogelijk, zoodra men de sterrebeelden kent, met telkens de maan daarin te teekenen. Behalve den datum zet men ook het uur van den dag er bij, en de gedaante van de maan. Daar de maan de kleine sterretjes in haar buurt onzichtbaar maakt, kan men daarbij alleen de verder verwijderde heldere sterren gebruiken, en daardoor is het inteekenen van haar juiste plaats vaak moeilijk en onzeker. Vooral omstreeks volle maan, of in hemelstreken met weinige heldere sterren is die onzekerheid groot en kan verscheidene graden bedragen; in gunstige streken is echter zulk een plaats wel tot een graad zeker. Men doet goed daarvoor een sterrekaart te kopieeren met alleen de heldere sterren tot de 3de grootte erop; ziet men op de kaart waar zulke sterren moeten staan, dan vindt men die na eenig zoeken ook wel aan den lichten hemel.

Volgen eenige heldere avonden elkaar, dan ziet men, dat de maan elken volgenden avond verder Oostelijk tusschen de sterren staat. Elken dag schuift ze ongeveer 13° langs den hemel; daarbij *blijft zij altijd in den dierenriem*, dicht bij de ekliptika. Zij heeft dus afwisselend een Noordelijke en een Zuidelijke deklinatie.

Om haar omloopstijd te vinden, vergelijken wij haar plaats in hetzelfde hemelgebied na telkens één of meer omloopen. Door haar plaats in de dierenriemskaarten in te teekenen kunnen wij lengte en breedte aflezen:

1915 Sept. 26	10 u.	l = 44°	b = + 5°
„ Okt. 25	8	64°	+ 4°
„ „ 26	8	76°	+ 4°
„ „ 27	10	89°	+ 3°
„ Nov. 19	8	36°	+ 4½°
„ „ 21	8	62°	+ 4°
„ Dec. 20	9	81°	+ 4°
1916 Febr. 9	6	37°	+ 5°
„ Nov. 10	8	57½°	+ 3½°
1917 Jan. 4	8	64°	+ 3°.

Tusschen 25 Okt. en 21 Nov. met nagenoeg dezelfde lengte, liggen 27 dagen. Uit 26 en 27 Okt. berekenen wij, dat de maan de lengte 81° bereikte $\frac{5}{13} \times 24$ u. = 9 u. na 26 Okt. 8 u.

$$\left.\begin{array}{l}\text{dus 26 Okt. 17 u. } l = 81^\circ\\ \text{20 Dec. 9 u. } l = 81^\circ\end{array}\right\}\ \text{2 omloopen} = \text{54 dagen 16 uren.}$$

Uit 19 en 21 Nov. berekenen wij een lengte 37° voor 19 Nov. 10 u.

$$\left.\begin{array}{l}\text{dus 19 Nov. 10 u. } l = 37^\circ\\ \text{9 Febr. 6 u. } l = 37^\circ\end{array}\right\}\ \text{3 omloopen} = \text{81 dagen 20 uren.}$$

Hieruit blijkt, dat de maan telkens na 27⅓ dag op hetzelfde punt van den hemel terugkomt. Vergelijkt men twee waarnemingen, die vele jaren

uiteen liggen, dan kan men dezen omloopstijd veel nauwkeuriger vinden. Verbindt men de waarneming van 4 Jan. 1917 met de 2de uit het lijstje, beide met een lengte van 64°, dan vindt men als interval 437 dagen. Hoeveel omloopen van de maan is dat? Deelt men door 27⅓, dan vindt men 16; deelt men het interval door 16, dan vindt men voor den omloopstijd 27 dagen 7½ uur.

De maan doorloopt den omtrek van den hemel in 27⅓ dag; dit tijdperk heet siderische omloopstijd.

De bovenaangevoerde waarnemingen toonen de maan altijd ten N. van de ekliptika; ze liggen ook alle aan denzelfden kant van den hemel. Wij voegen er eenige andere waarnemingen aan toe in andere deelen van den hemel:

1916	22 Jan.	l = 152°	b = — 2°
„	13 Febr.	85°	+ 3°
„	14 „	96°	+ 2°
„	17 „	133°	0°
„	17 Mrt.	155°	— 3°
„	9 Apr.	102°	+ 1°
„	3 Juni	106°	+ 0°
„	8 Aug.	252°	— 4°
„	5 Sept.	259°	— 4°
„	6 „	275°	— 3°

Hieruit blijkt, dat op omstreeks 105° à 130° lengte de breedte 0 werd en vervolgens negatief. In de sterrebeelden Leeuw en volgende staat de maan ten Z. van de ekliptika, tot hoogstens 5° (in de Weegschaal); ongeveer in den Schutter of den Steenbok gaat zij weer door de ekliptika naar den Noordkant; daar neemt de breedte dan toe tot 5° (in den Ram).

De cirkel, dien de maan beschrijft, maakt een hoek van 5° met de ekliptika; daardoor heeft de maan in de eene helft van haar baan een Noordelijke, in de andere helft een Zuidelijke breedte. Op 2 tegenoverliggende plaatsen snijdt de maanbaan de ekliptika; deze plaatsen heeten de *knoopen*.

In den *klimmenden knoop* gaat de maan van de

Zuidzijde naar de Noordzijde, in den d a l e n d e n k n o o p omgekeerd weer naar de Zuidzijde.

Vergelijkt men deze uitkomsten met die uit vroegere en latere jaren, dan blijken zij niet overeen te stemmen. In 1913 had de maan in de Tweelingen een breedte $+ 5°$, in den Schutter een breedte $— 5°$; de deklinatie van de maan wisselde tusschen $+ 28\frac{1}{2}°$ en $— 28\frac{1}{2}°$, en de hoogte in het Z., als ze in den Schutter stond, was slechts 9°. Toen lag de klimmende knoop vlak bij het lentepunt. In 1919 stond zij in de Visschen ten N., in den Leeuw ver ten Z. van de ekliptika, en lag de dalende knoop bij 60°. De weg van de maan tusschen de sterren wisselt van jaar tot jaar, doordat de knoopen van de maanbaan niet steeds op dezelfde plaats blijven.

D e k n o o p e n v a n d e m a a n b a a n s c h u i v e n o n g e v e e r 19° p e r j a a r a c h t e r u i t, e n d o o r l o o p e n i n 19 j a r e n d e g e h e e l e e k l i p t i k a.

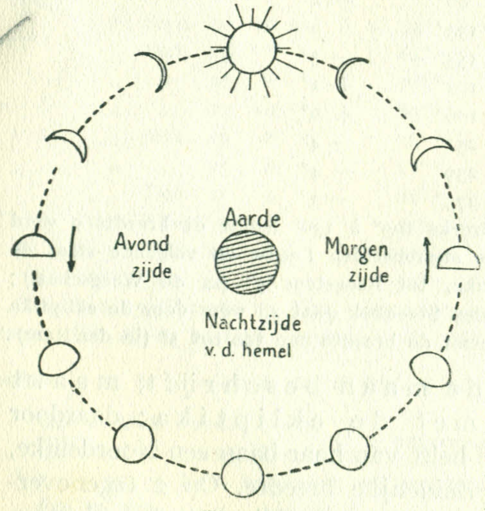


Fig. 30.

§ 18. De schijngestalten van de maan wisselen wel met haar omloop om den hemel, maar niet in precies dezelfde periode; zij hangen af van den stand ten opzichte van de zon.

Dit kan uit dezelfde boven verzamelde waarnemingen blijken, als men daarbij den vorm van de maan opgeteekend heeft. Op ongeveer dezelfde plaats van den hemel was zij op 20 Dec. vol, op 27 Okt. dicht bij laatste kwartier en op 13 Febr. tusschen E.K. en V.M. Op 19 Nov. was ze bijna vol, op 9 Febr. op dezelfde plaats van den hemel sikkelvormig. Schrijft men bij elke waarneming, waar de gedaante van de maan ook opgeteekend was, bij, wat de lengte van de zon op dien dag was, dan blijkt, dat de gedaante van de maan afhangt van het verschil in lengte tusschen zon en maan (de e l o n g a t i e). Is de maan de zon 90° in lengte vooruit, dan is zij half; minder dan 90°, dan is zij sikkelvormig; meer dan 90°, dan is zij grooter dan half; meer dan 180°, dan neemt de maan weer af.

Passeert de maan bij haar omloop de plaats, waar de zon staat, dan is zij duister (n i e u w e m a a n, d.w.z. begin van den nieuwen kringloop van schijngestalten). Verwijdert zij zich naar links van de zon, dan wordt een sikkelvormige boog zichtbaar, die breeder wordt. Staat zij 90° van de zon af, dan is zij half verlicht. Op 180° afstand, dus juist tegenover de zon, is zij vol verlicht. Daarna neemt zij aan den rechterkant af; is de lengte van de maan 270° grooter dan die van de zon, staat zij dus 90 ° rechts van de zon, dan is de linkerhelft verlicht; nadert zij van rechts de zon steeds meer, dan wordt zij een steeds smallere sikkel, tot zij door de nabijheid van de zon verdwijnt. Terwijl de maan dezen omloop volbrengt, blijft de zon niet op dezelfde plaats staan, maar wandelt ook voort, ongeveer 1° per dag. Komt de maan na $27\frac{1}{3}$ dag op dezelfde plaats terug, waar zij de zon ontmoette, dan staat de zon daar niet meer, en heeft de maan nog eenigen tijd noodig om haar in te halen. D e m a a n p e r i o d e, w a a r i n d e w i s s e l i n g d e r s c h ij n g e s t a l t e t e l k e n s t e r u g k e e r t, i s l a n g e r d a n d e o m l o o p s t ij d.

Hoe groot is deze periode? Het is hetzelfde vraagstuk als na hoeveel tijd uur- en minuutwijzer elkaar telkens ontmoeten.

$$\frac{1}{\text{maanperiode}} = \frac{1}{\text{omloopstijd der maan}} - \frac{1}{\text{omloopstijd der zon}}$$

$$\text{of : maanperiode} = \frac{27^1/_3 \times 365^1/_4}{365^1/_4 - 27^1/_3} = 29^1/_2 \text{ dag.}$$

In een jaar is het aantal maanperioden 1 minder dan het aantal omloopen; het bevat $13^7/_{19}$ omloopen en $12^7/_{19}$ perioden.

Reeds in de oudheid was bekend, dat 19 jaren 254 maansomloopen en 235 maanperioden bevatten.

De maanperiode heet ook *synodische omloopstijd*.

§ 19. Uit deze verschijnselen kan men eenige gevolgtrekkingen afleiden omtrent de natuur van de maan:

1. De schijngestalten toonen, dat de *maan een donker lichaam* is, dat slechts licht geeft, omdat en zoover het *door de zon verlicht* wordt.

2. Dat de maan omstreeks nieuwe maan duister is, d.w.z. ons haar donkeren, niet verlichten kant toekeert, bewijst, dat zij dan *dichter bij ons is dan de zon*.

3. De gestalten van de maan, in 't bijzonder de sikkelvorm, kunnen alleen verklaard worden *doordat de maan een bolvormig lichaam is*.

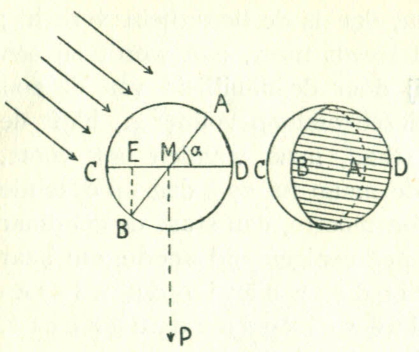


Fig. 31.

Vallen de zonnestralen als in Fig. 31 (van boven gezien), dan is van den bol de helft ACB verlicht, de helft ADB donker, en de grenslijn is de cirkel AB. Van uit de richting P gezien is de cirkel CD de omtrek van de maanschijf (zie rechter figuur). De cirkel AB, de schaduwgrens, vertoont zich hier, als elke cirkel, dien men scheef ziet, *verkort als een ellips*.

De halve breedte van deze ellips is EM = $r \cos \alpha$, als α de hoek der beide cirkels is, dus ook de hoek, dien in M de richtingen van de aarde af, en naar de zon toe met elkaar maken. De breedte van het verlichte deel is r ($1 - \cos \alpha$), dus o voor $\alpha = 0$, r voor $\alpha = 90°$, 2r voor $\alpha = 180°$. Men kan deze gestalten nabootsen door met een bal in de uitgestrekte hand zich om te draaien, terwijl de bal van terzijde door een lamp beschenen wordt.

De maan vertoont zich half, wanneer in het middelpunt van de maan de lijnen naar de zon en de aarde loodrecht op elkaar staan. Daaruit kunnen wij:

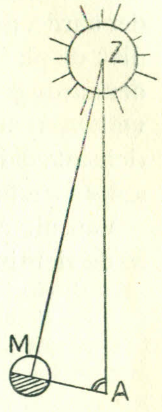


Fig. 32.

4. de verhouding van de afstanden van zon en maan vinden. Is Z de zon, A de aarde, M de maan (Fig. 32), dan is, wanneer de maan precies half verlicht is, $\angle$ M recht. Kennen wij dan $\angle$ A, d.i. den afstand aan den hemel tusschen eerste kwartier en de zon, dan is:

$$AM = AZ \cos A \text{ of } \frac{\text{afst. zon}}{\text{afst. maan}} = \text{sec. } A.$$

Daar A dicht bij 90° ligt, is deze verhouding zeer groot, d.w.z. *de zon is vele malen verder verwijderd dan de maan*.

In de oudheid trachtte Aristarchus op deze wijze den afstand van de zon te bepalen. Hij vond A = 87°, waaruit volgt, dat de zon 19 *maal* verder verwijderd is dan de maan. Dit is langen tijd aangenomen. Later is gebleken, dat $\angle$ A nog veel dichter bij 90° is, zóó, dat het verschil met 90° voor gewone waarnemingen onmerkbaar is.

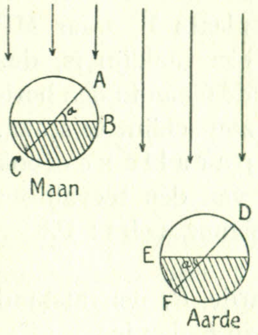


Fig. 33.

5. Als de maan sikkelvormig is, zien wij toch dikwijls de geheele schijf in een flauw schemerlicht, het z.g. *aschgrauwe licht*. Het ontstaat, doordat het donkere deel van de maan *door de aarde verlicht* wordt.

Van uit de maan gezien is dan de aarde nagenoeg geheel verlicht (Fig. 33; het deel D E is licht, E F donker, terwijl uit de aarde gezien van de maan het deel AB licht, BC donker is); dit licht beschijnt de maan, evenals de volle maan de aardsche velden flauw verlicht, en zoo is het donkere deel CB in dit aardschijnsel flauw zichtbaar.

§ 20. Wanneer wij zeggen, dat de maan in 27⅓ dag een kring om de aarde beschrijft, beteekent dit: om het middelpunt der aarde. Spreken wij van de plaats van de maan, dan beteekent dit: de plaats aan den hemel, waar zij, van uit het middelpunt der aarde gezien, zou staan. Van uit een punt op het aardoppervlak vertoont zij zich op een andere plaats, d.w.z. in een andere richting. Dit verschil in richting heet de parallaxe van de maan.

Van uit A (Fig. 34), het middelpunt, vertoont zich de maan in de richting AM; van uit B in de richting BM; hoek BMA is dan de parallaxe. Ligt D op de lijn MA, d.w.z. staat de maan in het zenith van plaats D, dan is de parallaxe = o. Zij is het grootst voor een plaats P, waar MP een raaklijn is, dus de maan in den horizon schijnt te staan.

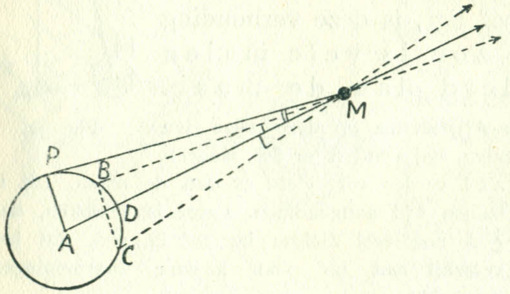


Fig. 34.

Deze hoek AMP heet horizontaal-parallaxe of ook kortweg de parallaxe, die dan niet meer van den toevalligen stand van de maan afhangt. Uit de figuur volgt: PA = AM sin ∠ PMA.

Noemt men dus den straal van de aarde R, den afstand aarde—maan d en de (horizontaal) parallaxe p, dan is:

$$\frac{R}{d} = \sin p.$$

Daar p een zeer klein hoekje is, kan men den sinus gelijkstellen met den boog. Daar de straal 57,3 × de boog van 1° is, kan men dan schrijven:

$$\frac{R}{d} = \frac{p}{57{,}3} \text{ of } d = \frac{57{,}3}{p} R.$$

Deze parallaxe is dus een maat voor den afstand; hoe dichter een hemellichaam bij de aarde is, des te grooter is de parallaxe. Voor zeer ver verwijderde hemellichamen, b.v. de vaste sterren, is de parallaxe onmerkbaar klein. Kent men de parallaxe van de maan, dan kent men ook haar afstand en omgekeerd.

Men bepaalt den afstand en de parallaxe, door gelijktijdig op twee ver verwijderde plaatsen op aarde, ten N. en ten Z. van den evenaar, de deklinatie van de maan te meten. Men vindt dan op de Noordelijke plaats B (Fig. 34) een kleinere, op de Zuidelijke plaats C een grootere deklinatie. Het verschil is ∠ BMC. Daar de afstand BC in aardstralen bekend is en ook de hoeken B en C te berekenen zijn, kan men uit △ CBM de lengte van CM en BM vinden.

Men vindt op die wijze p iets minder dan 1°, dus

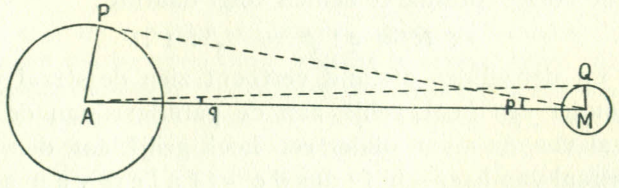


Fig. 35.

$d = 60\ R$ ongeveer. Zij is niet altijd even groot: over die verandering zie later, § 45.

De maan beweegt zich dus om de aarde in een kring, die een straal van 60 aardstralen heeft.

De lijn, volgens welke een waarnemer in P een punt van de maan M ziet, is dezelfde lijn, volgens welke een waarnemer op de maan in M de plaats P zou zien. Volgens de lijn MA zou dezelfde waarnemer het middelpunt van de aarde zien. Staat de maan voor P in den horizon, dan is MP een raaklijn aan de aarde, dus ligt voor een waarnemer in M het punt P op den rand van de aardschijf. De hoek PMA is de hoek, waaronder een waarnemer in M den straal van de aardschijf ziet. Wij vinden dus:

van uit de maan gezien vertoont de aarde zich als een schijf, waarvan de straal gelijk is aan de parallaxe van de maan.

Wij zien de maan van hier uit als een schijf met een middellijn van een halven graad, dus een straal van $^1/_4{}^\circ$.

Noemt men den straal van de maan r, den afstand weer d en haar schijnbaren straal aan den hemel q°, dan is:

$$\frac{r}{d} = \frac{q}{57{\cdot}3}$$

Met de vorige formule te zamen volgt daaruit:

$$r : R = q : p = {}^1/_4{}^\circ : 1^\circ.$$

Van uit denzelfden afstand vertoont zich de straal van de aarde onder een hoek gelijk aan de parallaxe van de maan, de straal van de maan onder een hoek gelijk aan den schijnbaren straal van haar schijf; dus de stralen van aarde en maan verhouden zich als de parallaxe van de maan tot haar schijnbaren straal, d.i. ongeveer als 4 : 1.

---

6. DE VERDUISTERINGEN.

§ 21. Een zoneklips ontstaat, wanneer met nieuwe maan de donkere maanschijf voor de zon treedt en deze bedekt. Meestal wordt slechts een deel van de zon bedekt; wanneer echter het middelpunt van de maan over het middelpunt van de zon loopt, (centrale eklips), kan de geheele zon bedekt en verduisterd worden. Voor ons oog vertoonen zich zon en maan als even groote schijven; soms is de maan iets grooter, soms iets kleiner dan de zonneschijf. In het eerste geval wordt de zon een paar minuten geheel verduisterd (totale eklips), in het tweede geval blijft een ring van de zon zichtbaar (ringvormige eklips).

Men kan een zoneklips waarnemen door een bewalmd glas (nog beter is het een bedorven fotogr. negatief te nemen, dat te sterk belicht en pik-zwart ontwikkeld is; dit geeft bij doorzien prachtige zonsbeelden). Wil men waarnemingen doen, die vast te houden zijn, dan doet men beter om een zonnebeeldje op een blad papier op te vangen. Laat men door een fijne opening het zonlicht vallen, en houdt men er op b.v. 1 M. afstand een papier achter, dan ontstaat een zonnebeeldje van 1 cM. middellijn; dan moet echter de omgeving vrij donker zijn, want dit beeldje is zeer zwak. Men kan wel een soort houten kast maken, waar door een kleine opening in de naar de zon toegekeerde zijde het licht valt op het papier, dat op den tegenoverliggenden bodem ligt. Om de 5 minuten b.v. teekent men op dit papier het zonnebeeldje.

Beter nog kan men een kijkertje nemen; door het op de zon te richten en iets uit te schuiven, kan men een mooi scherp en groot zonnebeeld op een papier achter den kijker projekteeren. Op zulk een geprojekteerd zonnebeeld zijn de veranderingen in vorm zeer scherp en mooi te zien. Men kan den vorm op het papier afteekenen, het best door cirkels van de grootte van het zonnebeeld er onder te leggen, en daarop den maansrand snel te teekenen ; vooral de beide hoekpunten precies aan te geven. Snel moet het gaan, omdat door de draaiing van den hemel het zonnebeeld snel wegloopt, en door telkens den kijker te verstellen teruggehaald moet worden. Natuurlijk moet bij elke teekening de tijd precies aangegeven worden ; ook is het van belang, op elke teekening de richting van de dagelijksche beweging aan te geven, b.v. door de plaats aan te teekenen, waar een der hoekpunten na een oogenblik heen geloopen is (BC).

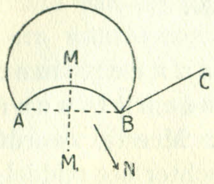


Fig. 36.

Uit deze teekeningen is dan voor verschillende oogenblikken de plaats der beide middelpunten van zon en maan t.o.v. elkaar te vinden, wanneer men aanneemt (wat voor dit doel geoorloofd is), dat de beide middellijnen even groot zijn ; dan is uit den afstand der beide hoekpunten AB de afstand der middelpunten te vinden, en uit ∠ ABC de richting van de verbindingslijn der middelpunten t.o.v. de richting naar de hemelpool. Vereenigt men al deze uitkomsten tot één teekening, dan ziet men daarop de beweging van het maanmiddelpunt t.o.v. dat der zon, en men kan zeer precies het tijdstip berekenen, waarop de middelpunten het dichtst bij elkaar waren.

Dit geeft dus een zeer nauwkeurige waarde (tot op eenige minuten) voor het tijdstip van nieuwe maan. Heeft men een dergelijke eklips ook in een vorig jaar waargenomen, dan is daaruit de maanperiode ook tot op eenige minuten te vinden ; daaruit is de omloopstijd van de maan veel nauwkeuriger te vinden, dan uit de plaatsen van de maan tusschen de sterren. De zeer nauwkeurige waarden voor perioden en omloopstijd van de maan, die in de oudheid de Babyloniërs al kenden, zijn uit eklipsen afgeleid.

Ziet men op een bepaalde plaats op aarde de middelpunten van maan en zon precies over elkaar heenstrijken, dan zal men op een verder N. gelegen plaats de maan lager zien, dus de zon er boven uit zien steken (II in Fig. 37), op een meer Z. plaats de maan hooger zien, dus de zon er onder uit zien steken (IV in Fig. 37). Hoe verder N. men gaat, des te lager ziet men de

maan ; gaat men zoover N., dat het maan-middelpunt ½° lager gezien wordt (in B), dan raken de schijven aan elkaar (I) : tot zoover is iets van een verduistering te zien, verder niet. Het zelfde geldt omgekeerd, als men naar het Z. zoover gaat (in C), tot de maan ½° ten N. van de zon schijnt te staan (V).

De maan behoeft dus niet, van uit het middelpunt der aarde

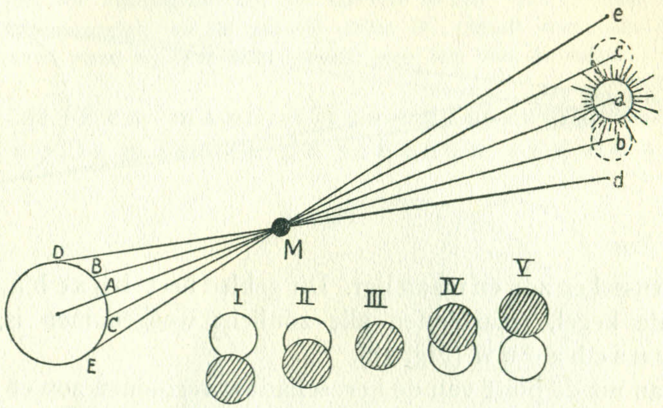


Fig. 37.

gerekend, precies een breedte 0° te hebben ; staat zij iets ten N. van de ekliptika, dan zal zij toch voor eene of andere plaats op het N. halfrond juist voor de zon staan.

Hoe groot kan de breedte van de maan zijn, opdat voor een plaats op den rand van de aarde de zon nog juist geheel bedekt wordt ? Hoe groot, opdat voor zulk een plaats nog juist boven een randje van de zon bedekt wordt ?

Willen wij de omstandigheden van een eklips in de w e r e l d - r u i m t e teekenen, dan moeten wij bedenken, dat de zon vele malen grooter is dan aarde en maan, in een mate, die in de teekening maar verzwakt weer te geven is. D e s c h a d u w v a n d e m a a n i s d u s e e n k e g e l, gevormd door de uit-

Bij een maaneklips maakt men vooraf een aantal cirkels klaar met de maanvlekken er in geteekend, alle gelijk; hierop wordt bij het intreden in en het uittreden uit de schaduw, telkens de ligging van de schaduwgrens geteekend; ter oriënteering teekent men naar buiten stralen, die naar verschillende zichtbare vaste sterren in de buurt loopen. Is de maan geheel verduisterd, dan kan men kleine sterretjes in haar buurt zien; men teekent dan op een op grooter schaal overgebracht stuk dierenriemskaart zoo nauwkeurig mogelijk telkens de plaats van de maan aan. Uit deze gegevens kan men de plaats en de grootte van de aardschaduw afleiden.

De schaduwgrens vertoont zich als een flauwgebogen lijn: de schaduw van de aarde is een cirkel, waarvan de straal nagenoeg driemaal zoo groot is als de straal van de maanschijf, dus $^3/_4{}^\circ$. Het middelpunt van de aardschaduw ligt precies in de ekliptika. De maan kan dus nog geheel verduisterd worden als haar breedte $\frac{1}{2}^\circ$ is, en een randje kan nog door de aardschaduw gaan, als haar breedte 1° is.

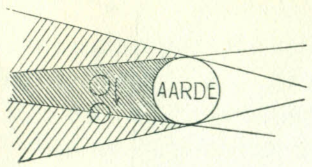


Fig. 41.

Een maaneklips vertoont zich natuurlijk overal op aarde, waar de maan dan zichtbaar is, geheel op dezelfde manier.

Hoe loopt dit verschijnsel in de wereldruimte?

Ook de aarde werpt een schaduwkegel achter zich (Fig. 41). De punt van de kernschaduw ligt hier achter de maan; omdat de aarde 4 maal grooter is dan de maan, is deze kegel 4 maal zoo lang als de maanschaduwkegel, dus 4 $\times$ de afstand van de maan tot de aarde. Op de plaats, waar de maan dezen schaduwkegel doorsnijdt, is de doorsnee dan $^3/_4$ middellijn van de aarde of 3 maansmiddellijnen.

Wil men deze berekening nauwkeuriger uitvoeren, dan beschouwt men fig. 42, waar M de plaats van de maan is, Z een punt van de zon,

A het middelpunt der aarde. Dan is $\angle\, s$ de schijnbare straal van de aardschaduw op de plaats van de maan; $\angle\, z$ de schijnbare straal van de zon; p is de parallaxe van de maan en p' is evenzoo de parallaxe van de zon. Uit $\triangle$ MAZ volgt:

$$p + p' = z + s$$

De som van zon- en maanparallaxe is gelijk aan

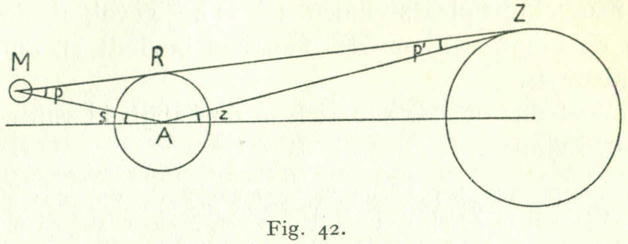


Fig. 42.

de som van de stralen van zon en aardschaduw. Daar p zeer klein is, wordt ruwweg $s = p - z = 1^\circ - \frac{1}{4} = \frac{3}{4}^\circ$.

Deze betrekking werd reeds in de oudheid door Hipparchus opgesteld om daarmee omgekeerd de parallaxe van de maan te vinden uit de waargenomen middellijn van de aardschaduw, zonder dat verdere waarnemingen van de maan noodig waren. Volgens Aristarchus nam hij den afstand van de zon 19 $\times$ den afstand van de maan aan. Dan is $p + p' = \frac{20}{19} p = z + s = {}^1/_4{}^\circ + {}^3/_4{}^\circ = 1^\circ$.

De kernschaduw van de aarde is ook omringd door een bijschaduw; de maan wordt daardoor reeds iets verflauwd in licht, vóór ze in de kernschaduw treedt. Ook hier gaan kernschaduw en bijschaduw geleidelijk in elkaar over, vandaar de vage begrenzing van de aardschaduw op de maanschijf.

De rossige zichtbaarheid van de verduisterde maan ontstaat door licht, dat door breking in de atmosfeer achter de aarde komt; het is dus eenigszins gelijksoortig met de schemering na zonsondergang op aarde.

§ 23. Waarom vindt niet bij elke volle maan een maaneklips en bij elke nieuwe maan een zoneklips plaats? Wij vonden, dat de maanbaan 5° helt ten opzichte van de ekliptika ; meestal is de breedte van de maan zoo groot, dat zij boven of onder langs de zon of de aardschaduw heen gaat.

Alleen als de breedte van de maan kleiner is dan 1 ½° kan er ergens op aarde een zoneklips, als ze kleiner is dan 1°, kan er een maaneklips plaats vinden. Dit is het geval, als de maan zich in de buurt van een der knoopen bevindt en dan juist vol of nieuw is.

Dan moet dus ook de zon zich in de nabijheid van een der knoopen bevinden.

Is de lengte van den klimmenden knoop 225°, van den dalenden knoop 45° (zooals in 1920), dan zal de zon omstreeks 6 Mei en 6 November dezelfde lengte hebben. Omstreeks die tijdstippen kon men dus met volle of nieuwe maan een eklips kunnen verwachten. Op 2 Mei 1920 was het volle maan, op 17 Mei nieuwe maan ; op 17 Mei was de lengte van de zon en de nieuwe maan 57° ; en 12° voorbij den klimmenden knoop is de breedte van de maan bijna 1°, dus moest op 17 Mei een zoneklips en op 2 Mei een maaneklips plaats vinden. Evenzoo met volle maan op 26 October en met nieuwe maan op 10 November. Het hangt natuurlijk van den tijd van den dag af, waarop de juiste samenstand plaats vindt, of zulk een eklips aan dezen of aan den anderen kant van de aarde zichtbaar is.

Eklipsen zijn alleen mogelijk op twee (een half jaar uiteen liggende) tijden van het jaar, waarop de zon in de buurt van de knoopen der maan komt.

Daar de knoopen van de maan 19° per jaar achteruitschuiven, vallen de tijdstippen, waarop de eklipsen kunnen voorkomen, voortdurend vroeger, 19 dagen per jaar. Na 9 jaren vallen ze dus weer op dezelfde tijden van het jaar.

Men ziet dit direkt, wanneer men uit eenige oude almanakken de opgaven voor zon- en maaneklipsen samenvoegt tot een lijstje.

7. PLAATSBEPALING OP AARDE EN AAN DEN HEMEL.

§ 24. Een der voornaamste toepassingen van de sterrekunde is het vinden van de plaats op aarde, waar men zich bevindt. Om echter met behulp van sterren, zon en maan de plaats op aarde te kunnen bepalen, moet men de plaatsen van deze hemellichamen aan den hemel eerst kennen.

De instrumenten, die daarbij gebruikt worden, dienen alle om hoeken te meten. Sommige zijn ingericht om den onderlingen afstand van twee hemellichten te meten. Andere dienen, om de plaats van een hemellicht ten opzichte van den horizon en zijn vaste punten te vinden.

In den ouden tijd waren de eerste soort instrumenten het meest in gebruik. Twee stangen, die als de beenen van een passer draaibaar met elkaar verbonden waren, ieder voorzien van vizieren, werden op 2 sterren gericht ; dan was hun hoek, die langs een verdeelden graadboog afgelezen werd, de afstand der beide sterren. Zoo werd nog door Tycho de plaats van een planeet t.o.v. de vaste sterren bepaald.

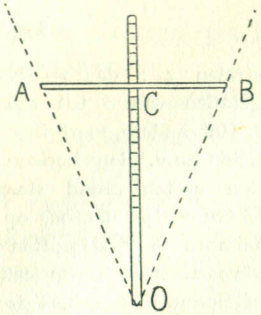


Fig. 43.

De zeelieden gebruikten in plaats daarvan den Jakobsstaf, een houten lat, in de hand gehouden, waarlangs een dwarslat op en neer geschoven werd. Deze dwarslat werd zoo gesteld, dat van uit O gezien, de eindpunten A en B der dwarslat met de twee sterren samenvielen ; de grootte van hoek AOB was door een verdeeling in C af te lezen, (men ziet dadelijk, dat $OC = \frac{1}{2}\, l \text{ cotg. } \frac{1}{2}\alpha$, als l de lengte van de dwarslat is). Later zijn deze instrumenten, als te onnauwkeurig, buiten gebruik geraakt. Om afstanden aan den hemel nauwkeurig te meten, gebruikt men tegenwoordig het spiegelsextant (door Hadley in 1731 uitgevonden), dat op het principe berust, dat men bij het meten maar in één richting naar de eene ster kijkt. Door spiegels worden de lichtstralen van de andere ster zóó teruggekaatst, dat ze uit dezelfde richting komen als die van de eerste. Spiegel A wordt zoo gedraaid, dat de stralen van de ster a naar spiegel B geworpen worden, die ze in den kijker zendt; spiegel B is alleen voor de onderste helft verzilverd; door de bovenste helft vallen de stralen van de ster b in denzelfden kijker. Is de arm van spiegel A naar C gericht, dan zijn de spiegels evenwijdig, dus ook de invallende stralen: de afstand der sterren is 0°. Is de hoek der spiegels α, dan is de hoek der invallende lichtstralen 2α; daarom is de cirkelrand in halve graden verdeeld, waar getallen van 0 tot 120 bij staan.

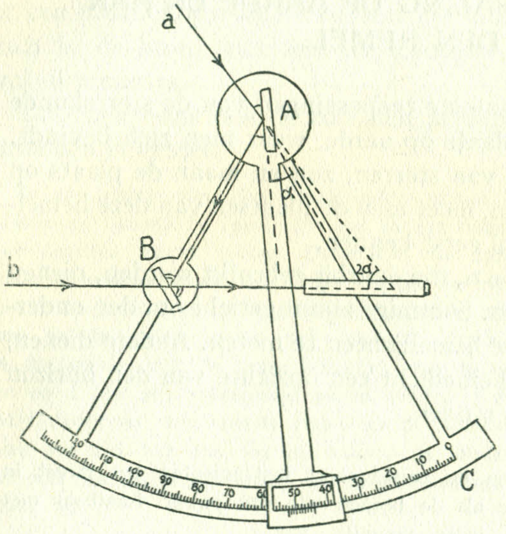


Fig. 44.

Het andere soort instrumenten dient, om de plaats van een hemellicht t.o.v. den horizon te vinden. Zulke instrumenten moeten dan op den vasten grond staan. Het grondtype wordt aangegeven door het instrumentje, dat ons op blz. 4 diende, om de hoogte van de zon en haar azimuth te vinden. Een kijker is om een horizontale as in een vertikaal vlak draaibaar; op een verdeelden cirkel wordt de hoek van draaiing afgelezen. Dit geheel is om een vertikale as draaibaar; een horizontale verdeelde cirkel dient tot aflezen van de horizontale draaiing. Uitgangspunt van alle hoogtemetingen is hierbij een inrichting, die nauwkeurig

de vertikale of horizontale richting aangeeft. Daarvoor dient b.v. een schietlood, of ook een waterpas. Of wel men neemt dezelfde ster nog eens waar, teruggekaatst op een kwikzilveroppervlak, dat natuurlijk zuiver horizontaal staat; het teruggekaatste beeld staat even veel graden beneden den horizon als de ster zelf er boven.

Een instrument, dat op deze wijze gebouwd is, heet theodoliet of universaal-instrument, als het dient om hoogte en azimuth beide te bepalen. Groote instrumenten worden vastgezet in een bepaald azimuth, b.v. in den meridiaan, en dienen dan om alleen de hoogte te meten.

§ 25. Bepaling van rechte klimming en deklinatie.

Men gebruikt daarvoor een instrument om de hoogte in den meridiaan te meten, meridiaancirkel. Een kijker draait om een horizontale as, die O.-W. ligt op 2 vaste steenen pijlers. De kijker beschrijft dan den meridiaan. Een verdeelde cirkel, die met den kijker meedraait, wordt afgelezen door miskroskopen, die aan de pijlers vastzitten. Men richt den kijker op een ster, als deze door den meridiaan gaat. Men neemt waar:

1° het tijdstip, waarop de ster door den meridiaan gaat. Volgens § 6 is de R.Kl. = den sterretijd, waarop de ster in den meridiaan staat.

2° de hoogte van de ster in den meridiaan. Volgens § 5 is de hoogte = de deklinatie + (90° — de poolshoogte).

Hier blijkt, dat men R.Kl. en deklinatie niet onmiddellijk heeft; men heeft er andere grootheden voor noodig. Hoe vindt men die?

1. De rechte klimming. Heeft men een klok, die precies sterretijd aanwijst, dan is de doorgangstijd van de ster = de rechte klimming. Maar hoe weet men dat van die klok? Elke klok loopt wat fout en moet geregeld worden. Hoe weet men, hoeveel de sterreklok fout is?

De sterretijd is 0 u. 0 m., als het lentepunt door den meridiaan gaat. Nu is het lentepunt zelf wel niet zichtbaar aan den hemel, maar men kan het vinden uit waarnemingen van de zon. Neemt men de zon waar, juist op het oogenblik als haar deklinatie 0° is, dan staat zij in het lentepunt; en als een ster b.v. 1 u. 32 m. later door den meridiaan gaat, dan is haar R.Kl. ook 1 u. 32 min. = 23°.

Is de deklinatie niet precies 0°, dan kan men uit de deklinatie berekenen, hoever de zon nog van het lentepunt afstaat, dus hoeveel het lentepunt vóór of na de zon door den meridiaan gaat.

Weten wij eenmaal van één ster de R.Kl., dan kunnen wij daarnaar de klok regelen en van alle andere sterren, waarvan wij de tijden van doorgang hebben waargenomen, de R.Kl. vinden.

2. De deklinatie. Om uit de waargenomen hoogte de deklinatie te vinden, moeten wij de poolshoogte kennen. Hoe vinden wij die? Elke cirkumpolairster gaat 2 maal per dag door den meridiaan, eenmaal boven, en eenmaal beneden de pool. In het eerste geval staat zij evenveel boven als in 't tweede geval beneden de pool. De halve som van die beide hoogten is de poolshoogte. (Het halve verschil is de afstand van de ster tot de pool, dus 90° — deklinatie.) Zoo is de poolshoogte bekend, en daarmee berekent men uit de hoogte der sterren in het Z. de deklinatie.

Door deklinatie en R.Kl. is de plaats van een ster aan den hemel volkomen bekend. Men kan daaruit met formules van dezelfde soort als in Aanhangsel III lengte en breedte t.o.v. de ekliptika berekenen.

§ 26. Bepaling van de plaats op aarde.

De plaats op aarde wordt gegeven door lengte en breedte.

A. De **breedte** is te vinden uit de betrekking: breedte = poolshoogte.

De poolshoogte is, wanneer de plaatsen der sterren niet bekend zijn, te vinden uit de hoogte van een cirkumpolairster in onderste en bovenste kulminatie. (Zie vorige §.)

Zijn de plaatsen der sterren bekend, dan is het meten van de hoogte van een ster in den meridiaan voldoende.

Poolshoogte = N. deklinatie + (90° — hoogte), als de ster in het Z. staat.

De zeeman op het schip meet de hoogte van de zon. Met het sextant meet hij den afstand van de zon tot de zichtbare kim: dus moet daarvan de kimduiking afgetrokken worden, om de hoogte boven den horizon te krijgen. Hij richt het instrument op de zon kort vóór den middag, volgt de zon, terwijl deze nog iets stijgt, net zoo lang tot het stijgen ophoudt; dan leest hij de hoogte boven de kim af. Aan zijn almanak ontleent hij de deklinatie van de zon voor dien dag.

B. De lengte is volgens § 13 gelijk aan het verschil in tijd tusschen de plaats van waarneming en den nulmeridiaan (Greenwich). Dus is in de eerste plaats noodig den tijd te weten. De **tijd** is het gemakkelijkst te vinden.

1. Als de plaats van waarneming op den vasten grond ligt en de meridiaan bekend is, gebruiken wij den doorgangstijd door den meridiaan. Op het oogenblik van doorgang van de zon door den meridiaan is het 0 uur ware zonnetijd. Op het oogenblik van den doorgang van een ster door den meridiaan is de sterretijd = de R.Kl. van deze ster (zie § 6), die wij bekend veronderstellen en in de almanakken vinden.

Nemen wij de zon waar, dan is ook daarvoor de sterretijd van doorgang = de R.Kl. van de zon.

2. Op zee is deze manier niet te gebruiken, omdat men op een beweeglijk schip geen vaste richting voor den meridiaan heeft. Hier wordt in het Oosten of Westen met een sextant de hoogte van de zon gemeten.

Om uit deze hoogte den uurhoek te vinden, moet de poolshoogte of breedte bekend zijn. Uit de meting van den laatsten middag is, daar de koers en de snelheid van het schip bekend zijn, de breedte op het oogenblik van de tijdsbepaling gemakkelijk te vinden. Kent men deze breedte, en natuurlijk ook de deklinatie van de zon, dan kan men door passende formules (zie Aanhangsel III) den uurhoek berekenen, die gelijk is aan den waren zonnetijd. Hetzelfde is ook met een ster te doen.

C. Om de **lengte** te vinden, moet men nu weten, hoe laat het in Greenwich is op het oogenblik van waarneming. Dit was het moeilijkste gedeelte van het vraagstuk van de lengte op zee, waarvoor sinds 1500 steeds nieuwe methoden bedacht zijn.

1. Een eerste middel, het vroegst beproefd, is het waarnemen van hemelverschijnselen, die overal op aarde gelijktijdig zichtbaar zijn. Men weet uit den almanak, hoe laat het verschijnsel naar Greenwichtijd plaats vindt. Men neemt waar, hoe laat het volgens plaatselijken tijd optreedt ; het verschil is het verschil in lengte. Zoo nam Columbus voor dit doel in Amerika een maaneklips waar. Later zijn sterbedekkingen door de maan voor dit doel gebruikt, die wel niet precies gelijktijdig overal te zien zijn (parallaxe van de maan), maar het verschil is toch in rekening te brengen.

2. In de 18de eeuw kwam de methode van de m a a n s a f s t a n d e n op. De maan loopt per dag 13° langs den hemel, evenals een wijzer langs een wijzerplaat. Kent men uit den almanak de plaats van de maan tusschen de sterren voor 0 u., 1 u., 2 u. enz. Greenwichtijd op elken dag, dan kan iemand, op welke plaats van de aarde ook, aan deze plaats van de maan den Greenwichtijd aflezen. Dit gebeurt door den afstand van de maan tot naburige heldere sterren met het sextant te meten ; deze afstanden staan in de zeemansalmanakken van uur tot uur Greenwichtijd vooruit berekend. Natuurlijk moet de beweging van de maan dan heel precies vooruit bekend zijn.

3. Eveneens in de 18de eeuw kwam de methode op, chronometers mee te nemen, die den tijd van Greenwich aanwezen. In elke haven, waarvan de lengte bekend was, kon bovendien vastgesteld worden, hoeveel ze fout waren : men behoefde er dan alleen op zee op te vertrouwen.

Natuurlijk moeten de chronometers zeer nauwkeurig loopen ; ter wederzijdsche kontrôle nam een schip er altijd eenige mee.

4. Op het vaste land, tusschen sterrewachten bv., kon men op veel eenvoudiger wijze gebruik maken van de t e l e g r a a f. De tijd van een sterrewacht kan telegrafisch overgebracht worden naar een andere plaats van waarneming ; vergelijkt men daarmee den eigen tijd, dan geeft het verschil onmiddellijk het verschil in lengte.

Deze methode is sinds kort ook voor schepen op zee bruikbaar door toepassing van de d r a a d l o o z e t e l e g r a fi e. Op vaste tijdstippen volgens Greenwichtijd worden seinen uitgezonden, die op alle oceanen door de schepen opgevangen en met hun eigen tijd vergeleken kunnen worden.