

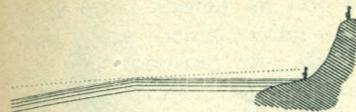
DE AARDE.

11. DE VORM VAN HET AARDOPPERVLAK.

De beschouwing van de hemelverschijnselen heeft ons geleerd, dat de aarde een naar alle zijden begrensd lichaam moet zijn. Met onzen eersten oppervlakkigen indruk, dat wij ons op een plat aardoppervlak bevinden, zou zich dit zeer goed laten ver-eenigen, wanneer dit vlak de bovenkant van een schijf of van een of ander lichaam met platte vlakken was. Zulke denkbeelden zijn in de oudste tijden (b.v. door sommige Grieksche filosofen) inderdaad geopperd. Maar eenvoudige waarnemingen op zee en aan de kust hebben reeds vroeg tot juistere opvattingen geleid.

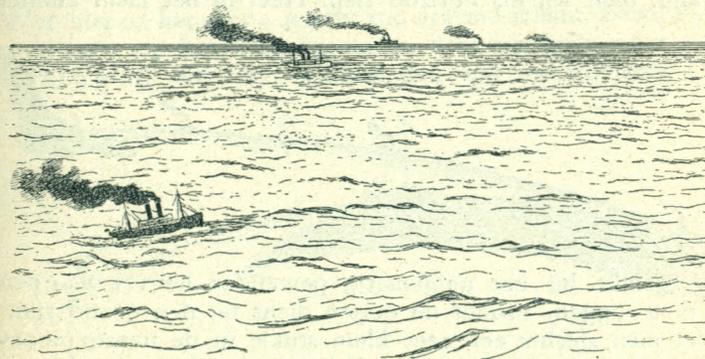
Iedereen weet, dat men van een open plaats of een heuveltop slechts een zeer klein gebied kan overzien, niet meer dan de naaste omgeving. Men denkt dan eerst, dat dit door de ver-wijderde bosschen en heuvels komt, die aan den horizon het verdere uitzicht belemmeren. Maar ook aan het zeestrand is het uitzicht op dezelfde manier beperkt. Tot aan den horizon ziet men steeds maar een klein gedeelte van de zee; van wat verder weg ligt, zien wij niets. Staan wij beneden, vlak aan het water, dan lijkt ons de horizon niet meer dan hoogstens een uur ver verwijderd; bij woelige zee kunnen wij zelfs bemerken, dat de lijn van den horizon eenigszins rimpelig is door de golfbeweging. Klimmen wij dan echter op een hoogte, op een rots of een duin, dan kunnen wij op eens veel verder kijken. De horizon is zeer ver weg en volmaakt recht; de plaats van de zee, waar wij de golfbeweging als flauwe rimpeling zien en die wij beneden als horizon zagen, ligt nu duidelijk onder den horizon en veel dichtër bij ons dan wat nu horizon is. Hoe is dat mogelijk? Blijkbaar is het zeeoppervlak geen plat vlak, want dan hadden

wij beneden even ver moeten kunnen kijken als boven. Het ziet er uit, alsof achter den dichtbijzijnden gerimpelden horizon, dien



wij beneden zagen, net als achter een rand, het zeeoppervlak iets scheef naar beneden loopt; boven kijken wij dan over dien rand heen, die beneden ons uitzicht begrensd, en daarom kunnen wij boven zoo-veel verder zien.

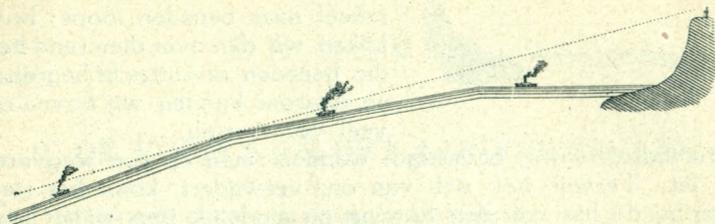
Deze indruk wordt bevestigd, wanneer men op een wegvarend schip let. Terwijl het zich van ons verwijderd, komt het steeds dichtër bij de lijn van den horizon en eindelijk zien wij het boven op den horizon rusten; daarna schijnt het, terwijl het steeds kleiner wordt, achter den horizon weg te zinken; de romp wordt onzichtbaar, ook met een verrekijker, en alleen mast en zeilen of schoorsteen en rook steken boven den horizon uit. Klimmen wij nu echter op een hoogte, dan kunnen wij, zool niet met het bloote oog, dan toch met een verrekijker het geheele schip weer beneden of op den horizon zien; maar ook voor deze hoogere standplaats verdwijnt het schip ten slotte achter den horizon.



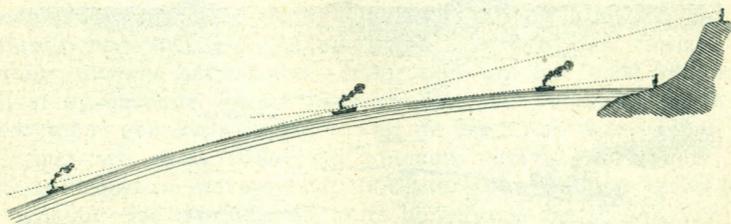
Achter den verren horizon moet dus een zeeoppervlak liggen, dat nog schuiner naar beneden loopt.

De menschen op het schip zien op dezelfde manier duinen en bergen achter den horizon wegzinken. Maar zij bemerkten er niets

van, dat zij over een of ander soort rand of grenslijn heen varen en dan op een schuin aflopend vlak komen. Voor hen blijft het zeeoppervlak altijd hetzelfde, vlak en horizontaal. Van grensranden,



waar vlakke stukken aan elkaar stooten, kan dus geen sprake zijn. Dan blijft alleen deze mogelijkheid over: de zeeoppervlakte is een naar alle zijden gelijkmatig flauw gebogen oppervlak. Van zulk een gebogen of gewelfd vlak kan men een des te grooter gedeelte overzien, hoe hooger men zich er boven bevindt; is men er zeer dicht bij, dan zijn de ver verwijderde deelen achter haar welving verborgen en deze welving vormt den rand, dien wij als horizon zien. Heel in het klein kunnen wij



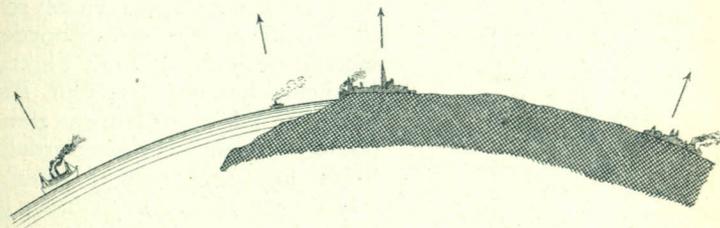
iets dergelijks bij een gelijkmatig gewelfden heuvel waarnemen; gaat men liggen, zoodat de oogen dicht bij den grond zijn, dan overziet men slechts een zeer klein stukje in de naaste omgeving, terwijl men een veel grooter stuk kan zien, als men rechtop staat.

Op zee kunnen wij dus ver verwijderde dingen daarom niet zien, omdat het wateroppervlak gebogen is. Dat geldt echter evenzeer voor het land. Waarom kan men ook bij het helderste weer in Rotterdam niets van de torens van Amsterdam zien, terwijl

tusschen deze steden geen heuvels of bergen zijn, die het uitzicht belemmeren? Aan den afstand alleen kan het niet liggen, want van hooge bergen, b.v. van den Brocken, kan men bij helder weer zeer goed zoover en nog verder het land overzien. Dat de torens van deze beide steden voor elkaar onzichtbaar zijn bewijst, dat er iets tusschen zit; dat kan niets anders zijn dan het gebogen aardoppervlak, dat als een rug tusschen hen ligt. Wat voor de zee geldt, geldt dus ook voor het laagland, mogen de heuvels hier de gedaante ook ietwat onregelmatiger maken: de vlakke aarde is evenzoo gebogen als de zeeoppervlakte.

Wij gebruikten zooeven de vergelijking met een zacht glooienden heuvel; maar het valt dadelijk in het oog, dat er toch een groot verschil tusschen beide gevallen bestaat. Bij den heuvel bemerken wij onmiddellijk, dat de hellingen scheef liggen; het water loopt daar langs naar beneden. Daarentegen bemerken de menschen op het wegvarende schip niets van dien aard; de mast van het schip blijft steeds rechtop staan, de zeespiegel ligt volkomen vlak en horizontaal, en het water toont niet de minste neiging om weg te vloeien. En toch bevindt zich het schip, naar hetgeen wij van het strand uit zagen, op een hellend, een schuin naar beneden loopend vlak. Hoe is dat mogelijk?

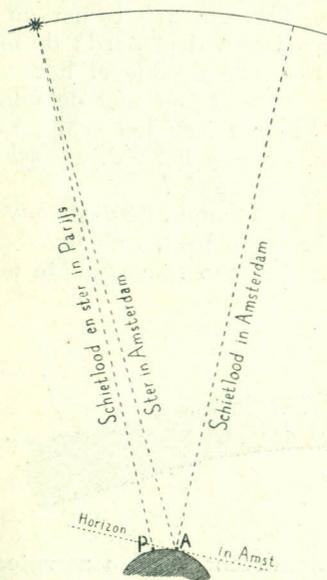
Wat hier op het eerste gezicht zoo vreemd schijnt, bewijst eenvoudig, dat wat op het schip boven en beneden heet, een andere richting is, dan wat wij aan den wal zoo noemen. De mast



van het schip staat recht naar boven, loodrecht op den zeespiegel, maar hij staat scheef ten opzichte van den mast van een schip, dat aan het strand ligt. Laten wij op het schip op zee een zwaar ding vallen, dan valt het daar recht naar beneden, maar toch in een andere richting dan een steen op het strand valt.

Voor de menschen op het schip ligt de oppervlakte van het water volkomen waterpas, en daarom heeft dit ook geen reden om weg te willen stroomen. Overal op zee is de oppervlakte horizontaal en de valrichting, loodrecht daarop, vertikaal; maar deze richtingen liggen scheef ten opzichte van waterpas en schietlood op een andere plaats. De torens van Amsterdam steken in een andere richting naar boven dan de torens van Rotterdam, hoewel deze richting in beide plaatsen met hetzelfde woord „naar boven” genoemd wordt. Boven en beneden, horizontaal en vertikaal beteekenen voor elke plaats andere richtingen; zij zijn geen absolute, maar relatieve begrippen.

Dat inderdaad de richting van het schietlood, de vertikale richting,



bijeenreis overland of over zee anders wordt, daarvan kan men zich ook nog op andere wijze overtuigen. Wanneer in Parijs het schietlood precies naar een bepaalde ster gericht is, dus de Parijzenaars die ster precies boven hun hoofd in het toppunt des hemels zien, kunnen de Amsterdammers diezelfde ster niet precies boven zich hebben. In Amsterdam moet deze ster iets meer naar het Zuiden staan, en het schietlood naar andere, meer noordelijke sterren gericht zijn. Dit blijkt ook werkelijk het geval te zijn. Reizen wij naar het Noorden, dan zien wij, dat de sterren aan den noordelijken hemel hooger komen te staan, terwijl de sterren in het Zuiden lager komen; sterren, die te voren recht boven ons stonden, staan nu hoog in het Zuiden; sterren, die in het

Zuiden dicht bij den horizon stonden, zinken weg en worden onzichtbaar; sterren, die bij hun laagsten stand in het Noorden even onder den horizon verdwenen, blijven er nu steeds boven. Het is alsof

de hemelbol in het Noorden iets opgetild en in het Zuiden iets gezakt is, dus iets van het Noorden naar het Zuiden gedraaid is. In werkelijkheid heeft natuurlijk de horizon zijn stand veranderd, is de horizon naar het Noorden gedaald, naar het Zuiden gerezen. Reizen wij naar het Zuiden, dan zien wij juist het tegendeel plaats vinden; in zuidelijke landen ziet men sterren boven den zuidelijken horizon uitkomen, die er in noordelijker streken altijd onder blijven. Daarom waren de volken der oudheid met vele sterren en stergroepen bekend — zooals de schitterende sterrenrij, die den staart van den Schorpioen vormt — die in ons land onzichtbaar zijn. Deze verandering in den stand der sterren ten opzichte van schietlood en horizon bevestigt, dat de oppervlakte van de aarde gebogen is.

Deze verschijnselen waren aan de zeevarende volkeren der oudheid, die de Middenlandsche Zee bevoeren, reeds goed bekend en zij trokken er ook al de juiste gevolgtrekkingen uit. Wel is waar bewijzen zij niet meer dan dat de aardoppervlakte van het Noorden naar het Zuiden gebogen is; want slechts in het Noorden en het Zuiden hebben voor een bepaalde plaats de sterren ook een bepaalde hoogte aan den hemel. In het Oosten en Westen stijgen of dalen de sterren; voor twee plaatsen, die ten Oosten en ten Westen van elkaar liggen, kan men iets dergelijks alleen dan vaststellen, wanneer men in beide precies op hetzelfde oogenblik naar den hemel kijkt en de hoogte der sterren aan den oostelijken of westelijken hemel opneemt. Zulk een geval wordt in het groote astronomische standaardwerk van de oudheid, de Almagest van Ptolemaeus, als bewijs voor de gebogenheid van het aardoppervlak aangevoerd. Bij een maansverduistering werd waargenomen, dat de maan op het oogenblik der verduistering voor de westelijke landen zeer laag, voor de oostelijke landen veel hooger aan den oostelijken hemel stond; een reiziger, die met bliksemsnelheid van Syrië naar Spanje kon vliegen, zou dus de maan aan den oostelijken hemel naar beneden zien dalen — een bewijs, dat ook van het Oosten naar het Westen de aardoppervlakte gebogen is.

12. HET WERELDBEELD DER OUDHEID.

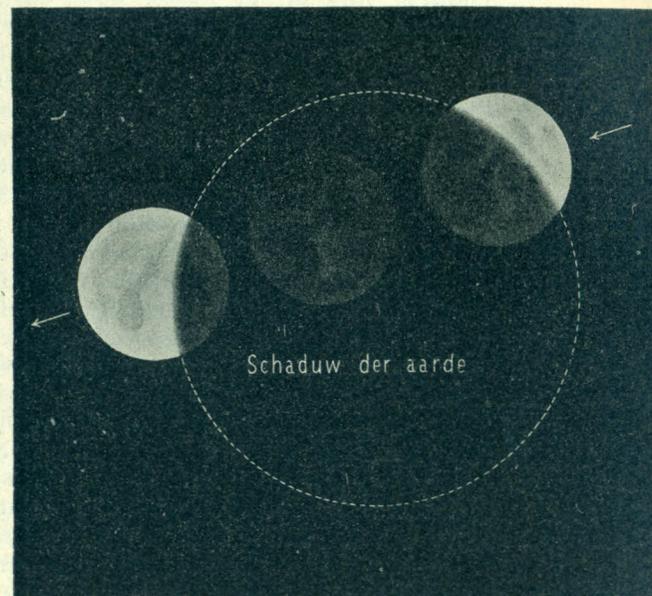
Welken vorm heeft nu de aarde zelf?

Wij vonden, dat haar oppervlakte, zoover wij die kennen — natuurlijk afgezien van de oneffenheden door bergen en dalen — naar alle kanten gelijkmatig flauw gebogen is. De onderstelling ligt nu voor de hand, dat dit overal geldt, dat het aardoppervlak overal dezelfde gelijkmatige welving vertoont en nergens hoeken of kanten heeft. Is dit het geval, dan moet de aarde de gedaante van een bol hebben.

Tot deze opvatting waren sommige wijsgeeren van het oude Griekenland reeds zeer vroeg gekomen. Wel is waar kenden zij slechts een klein deel van het aardoppervlak, niet meer dan de naaste omgeving van de Middellandsche Zee; het was dus wel wat gewaagd, enkel hieruit tot den bolvorm van de aarde te besluiten. Gelukkig kwam hun echter een ander verschijnsel te hulp, waaraan men de rondheid der aarde als het ware met eigen oogen onmiddellijk kan zien. Bij de maansverduisteringen treedt de maan in de schaduw van de aarde; daarbij kunnen wij de gedaante van de aardschaduw leeren kennen, en uit de schaduw van een lichaam kan men de gedaante van het lichaam zelf opmaken. Nu zien wij weliswaar die schaduw niet in haar geheel, want zij is veel grooter dan de maan; wij zien alleen een stukje van haar rand, wanneer de maan in of uit de schaduw treedt. Deze rand vertoont zich altijd als een zwak gebogen lijn zonder hoeken; zij toont ons duidelijk, dat de schaduw, als men haar in de buurt van de maan op een groot doek kon opvangen, als een zwart cirkelvlak zou verschijnen, driemaal zoo groot als de schijf van de maan. Het eenige lichaam, waarvan de schaduw altijd en in elke richting de gedaante van een cirkel heeft, is de bol. Hier had men dus een zichtbaar bewijs, dat de aarde werkelijk een bol moet zijn.

Deze uitkomst is zoozeer in strijd met de gewone opvattingen, die de menschen zich uit hun dagelijksche oppervlakkige onderzanding gevormd hebben, dat iedereen, die haar voor het eerst verneemt, haar voor ongelooflijk en onmogelijk houdt. Wanneer aan den anderen kant van den aardbol ook menschen wonen, dan zouden die met de voeten naar boven, evenals vliegen tegen een zolder moeten loopen! Waarom vallen zij niet naar

beneden? In deze vraag is de tegenstrijdigheid tusschen de oude begrippen over „boven” en „onder” en het nieuwe inzicht het scherpst belichaamd. Daar die oude denkbeelden meestal nauw met de godsdienstige leerstellingen verbonden waren, was het dikwijls gevaarlijk de nieuwe opvatting te verkondigen, daar zij als ketterij en verachting van den godsdienst vervolgd en bestraft werd.



Aardschaduw bij een maansverduistering.

Daarom durfden de Grieksche denkers eerst gaandeweg voor zulke denkbeelden uitkomen; het eerst vinden wij ze bij de leden van de door Pythagoras in Zuid-Italië (in de 6^{de} eeuw vóór Chr.) gestichte filosofenschool. En nadat de nieuwe leer van de rondheid der aarde zich ten slotte baan gebroken had en tot grondslag van de wetenschap der oudheid geworden was, werd zij naderhand, in de eerste eeuwen van het Christendom, toen alle aardsche wijs-

heid veracht werd en de wetenschap weinig in tel was, door kerkvaders en andere schrijvers weer als onchristelijk verworpen.

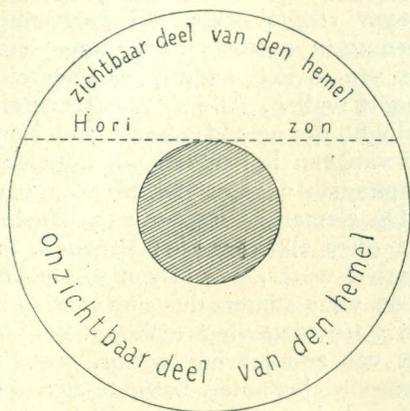
Maar op de Grieken, wier geest voor schoonheid en harmonie zoo bijzonder ontvankelijk was, moest de nieuwe leer toch een groote bekoring uitoefenen. Zeker, zij was onvereinigbaar met de primitieve natuurkundige denkbeelden over boven en beneden; maar deze tegenstrijdigheid was op te heffen door de grondbegrippen der natuurkunde eenvoudig met de nieuwe sterrekunde in overeenstemming te brengen. Zoo ontstond een wereldbeeld van wonderbare harmonie en verrassenden eenvoud, dat wij beschreven vinden in de werken van den wijsgeer Aristoteles (350 v. Chr.), die alle gebieden van het toenmalige weten der menschheid omvatten. Dit wereldbeeld beheerschte de geheele wetenschap der oudheid, die het slechts in eenige belangrijke details nog verder opbouwde; nadat het in de eerste eeuwen van het Christendom voor primitievere opvattingen had moeten wijken, kwam het weer tot eere, toen Albertus Magnus en Thomas van Aquino in de 13de eeuw de filosofie van Aristoteles tot aanzien brachten en met de kerkleer vereenigden; sindsdien beheerschte het de geheele verdere wetenschap van de middeleeuwen tot aan de groote omwenteling der wetenschap, die met het begin der nieuwe geschiedenis samenvalt.

In het midden van de wereld bevindt zich de aardbol, rondom door een draaienden hemelbol omgeven, die de buitenste grens van de wereld vormt. Waarom zijn het juist bollen? Omdat de wereld volmaakt en goddelijk is, en omdat de bol de volmaakste lichaamsvorm, de cirkel de volmaakste figuur is, daarom moeten de wereldlichamen allen bollen zijn en hun loopbanen allen cirkels. Overal op aarde staat de richting van het schietlood loodrecht op het aardoppervlak; alle zware lichamen vallen in de richting naar het middelpunt der aarde, dat tegelijk het middelpunt der wereld is. „Onder” beteekent altijd: naar het middelpunt der wereld toe; „boven” is de richting van het middelpunt af, naar den hemel toe. Alle lichamen hebben hun „natuurlijke” plaats in de wereld en hun „natuurlijke” beweging, die hen naar die plaats brengt „zij worden door de natuur naar de plaats gedreven, waar zij behooren en daar blijven zij in rust”. Al wat zwaar is, streeft naar het middelpunt der wereld, vindt daar zijn natuurlijke plaats

en valt daarom, aan zich zelf overgelaten, naar beneden; al wat licht is, zoekt zich van het middelpunt te verwijderen en stijgt dus omhoog, naar den hemel toe. Omdat alle zware stof naar het middelpunt van de wereld dringt, heeft zij zich daar tot een klomp samengehoopt; dit is de zware, donkere aarde. Zoo is dus meteen en op de eenvoudigste wijze de vraag beantwoord, die vroeger steeds weer vol verbazing gesteld was en tot menige vernuftige fantasie aanleiding had gegeven: hoe de aarde zoo maar vrij in het midden der wereld kon zweven zonder naar beneden te vallen. Alle deeltjestrachten zoo dicht mogelijk bij het middelpunt der wereld te komen; daarom moeten zij zich in de gedaante van een bol op elkaar stapelen, want alleen bij een bol zijn de buitenste deeltjes overal even ver van het middelpunt verwijderd. De elementen leggen zich daarbij in de volgorde van hun zwaarte over elkaar heen: beneden, in het midden, de aarde; daarboven het water; daarboven de lucht, en nog hooger het vuur. Lucht en vuur stijgen dus niet werkelijk tot den hemel; zij bewegen zich in onze omgeving omhoog, omdat hun natuurlijke plaats boven ons, verder naar buiten ligt. Boven en buiten dit gebied van de aardsche elementen bevindt zich de aether, het vijfde, hemelsche element, het rijk der hemellichamen. Terwijl de natuurlijke beweging van de aardsche elementen naar boven of naar beneden gericht is, naar de plaats, waar zij in rust kunnen blijven, is de natuurlijke beweging der hemellichamen de eindelooze, onvergankelijke, steeds gelijkmatige cirkelbeweging om het middelpunt heen.

Dit is het beeld, dat de oudheid zich van de wereld vormde. Hier doet zich nu de vraag voor: hoe groot is de aardbol in verhouding tot den hemel, die de wereld omsluit? Uit de hemelverschijnselen hebben wij afgeleid, dat de sterren en de geheele hemelbol om ons draaien; het kwam ons voor, dat wij ons in het middelpunt van de wereld bevinden. Wij zien nu in, dat dit niet juist kan zijn; het middelpunt der wereld, waar alles om heen draait, is het middelpunt der aarde dat onder ons ligt, terwijl wij ons daarboven op de oppervlakte bevinden. Wij zien dus den hemel niet van uit zijn middelpunt, en wanneer wij er ver buiten zijn, dan moeten daardoor de hemelverschijnselen merkbaar anders

worden. Zoo namen wij tot nog toe aan, dat de horizon juist de helft van den hemel voor ons bedekt; wij mochten dat doen, omdat wij zelf ten opzichte van den aardbol zoo klein zijn, dat de kim, die ons gezicht afsluit, op nagenoeg gelijke hoogte met ons zelf om ons heen loopt. Bevinden wij ons echter — natuurlijk op de vlakke



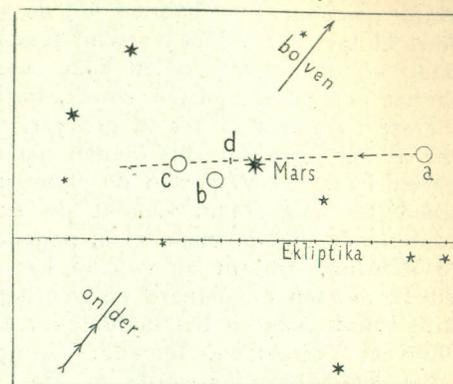
aarde, niet op een berg — aanmerkelijk boven het middelpunt der wereld, dan bedekt de donkere aarde voor ons meer dan de helft van den hemel; dan is het zichtbare deel van den hemel boven den horizon minder dan de helft, zooals de figuur dadelijk toont. Dan zou dus de zon, wanneer zij precies in den aequator staat, minder dan 12 uren boven den horizon moeten blijven. Daarvan is echter niets te bemerken; voorzoover uit de waarnemingen blijkt, verdeelt de horizon den hemel in twee

gelijke helften. De hemelverschijnselen hebben juist zoo plaats, alsof wij ons precies in het middelpunt van de wereld bevinden. De hemelbol met de sterren moet dus in verhouding tot de aarde onmetelijk ver van ons verwijderd zijn en de aarde buitengewoon veel in grootte overtreffen.

Slechts één hemellichaam maakt hier een uitzondering: de maan, waarvan wij trouwens al weten, dat zij veel dicht bij ons is dan de zon. Bij de maan is het inderdaad, alsof zij aan een kleinen hemelbol zit, die door den horizon in twee ongelijke helften verdeeld wordt; als wij haar zien opkomen of ondergaan, bevindt zij zich in werkelijkheid in de bovenste helft van den hemel. Dat kan men zelfs met het bloote oog vaststellen, zonder hulp van instrumenten, wanneer men maar nauwkeurig op haar plaats aan den sterrenhemel let. Weliswaar is in den regel de plaats van de maan tusschen de sterren niet nauwkeurig genoeg in een kaart in te teekenen, omdat zij door haar sterken glans de

kleinere sterren in haar buurt onzichtbaar maakt. Doch nu en dan komt zij in het noordelijkste deel van haar baan vlak bij een heldere ster of een planeet, en dan kunnen wij haar beweging zeer nauwkeurig volgen. Teekenen wij dan haar plaats op de kaart in, zoowel wanneer zij in het Oosten of Westen dicht bij den horizon

staat, alsook wanneer zij hoog in het Zuiden boven ons hoofd staat, en vergelijken wij dan deze plaatsen met de plaats van den vorigen of den volgenden dag, dan ziet haar beweging er hoogst onregelmatig uit. Zoo stond zij b.v. op 11 Januari 1914 in de Tweelingen, dicht bij de planeet Mars, 's avonds om 6 uur in *b*, daarentegen om 11 uur hoog in het Zuiden in *c*, terwijl zij den vorigen dag om 11 uur in *a* gestaan had.



De maan in de Tweelingen op 10 en 11 Januari 1914.

Heeft zij haar baan regelmatig doorloopen, dan heeft zij om 6 uur in werkelijkheid in *d* gestaan. Bedenkt men nu, dat het sterrebeeld om 6 uur in het Oosten zóó ten opzichte van den horizon stond als de pijl aanduidt, dan blijkt dadelijk, dat wij de maan daar nagenoeg een graad



lager zagen staan, dan zij staan moest, en in werkelijkheid ook wel gestaan heeft.

De oorzaak van dit verschijnsel ligt nu onmiddellijk voor de

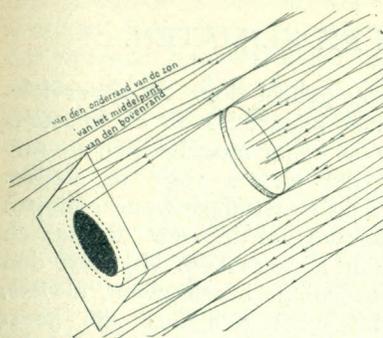
hand. Van uit het middelpunt der wereld, waar alles om heen draait, zou men haar op de goede plaats hebben gezien; maar wij staan hooger op de oppervlakte der aarde, en zien haar van uit dit hoogere standpunt, omdat zij vrij dicht bij ons is, lager staan. Had zij een paar uren vroeger in werkelijkheid precies voor Mars gestaan, dan hadden wij de ster nog altijd over de maan heen kunnen zien. Het verschil tusschen de plaats aan den hemel waar wij de maan zien, en haar werkelijke plaats waar zij van uit het middelpunt gezien wordt, heet haar parallaxe.

Deze parallaxe is des te grooter, naarmate de maan dichter bij ons is, en zij kan dus dienen om den afstand van de maan te leeren kennen. Wij zien de maan in den horizon nagenoeg een graad te laag staan. Omdat de richting, waarin wij van onze standplaats uit de maan zien, nagenoeg een graad anders is dan de richting, waarin zij van uit het middelpunt der aarde gezien wordt, moeten omgekeerd de richtingen, waarin van uit de maan onze standplaats en het middelpunt der aarde gezien worden, ook evenveel verschillen. Iemand, die op de maan staat, zou dus de halve middellijn der aarde in de grootte van nagenoeg een graad aan den hemel zien. Omdat de maan zich aan ons als een schijf met een middellijn van een halven graad vertoont, volgt hieruit onmiddellijk, dat de aarde nagenoeg vier maal grooter is dan de maan. Wij maken nu gebruik van de meetkundige stelling, dat elk ding, dat ons in de grootte van een graad aan den hemel verschijnt, 57 maal kleiner is dan zijn afstand.¹⁾ Van uit de maan gezien vertoont zich de halve middellijn van de aarde iets kleiner dan een graad. Daaruit volgt, dat de afstand van de maan ongeveer 60 maal grooter is dan de halve middellijn der aarde.

Deze uitkomst was ook reeds aan de geleerden der oudheid bekend. Van Hipparchus, die twee eeuwen na Aristoteles leefde (150 v. C.), is een vernuftige manier afkomstig om den afstand van de maan te vinden, die dit aardige heeft, dat er heelemaal geen moeilijke waarneming van parallaxe voor noodig was; deze

¹⁾ Ieder weet, dat de omtrek van een cirkel tot zijn middellijn staat als 22 tot 7. Verdeelt men den omtrek in 360 graden, dan staat dus de lengte van zulk een graad tot de halve middellijn als $\frac{22}{360}$ tot $3\frac{1}{2}$, dat is als 1 tot 57,3.

afstand werd door redeneering afgeleid uit iets, dat ons al bekend is. Wij weten, dat de schaduw van de aarde dáár, waar de maan door haar heen gaat, bijna driemaal zoo groot is als de maan zelf. Is deze schaduw niet even groot als de aarde zelf? Niet heele-



maal, zooals uit de volgende proef blijkt. Houdt men een muntstuk in het zonlicht en laat men zijn schaduw op een blad papier vallen, dan ziet men, dat het zwarte schaduwbeeld des te kleiner is, naarmate het papier verder van het geldstuk af gehouden wordt. Hoe komt dat? Vielen alle zonnestrallen precies in dezelfde richting, dan zou de schaduw precies even groot zijn als het ding zelf; daar echter

het zonnelicht niet door een lichtgevend punt, maar door een schijf aan den hemel uitgestraald wordt, dringen de stralen, die van den zonnerand komen, schuin in de ruimte achter het geldstuk en maken de schaduw kleiner. Zoo is het ook bij de aarde. Op de figuur, waar de stralen geteekend zijn, die van het middelpunt en die van de randen der zon komen, kan men zien — wanneer men in plaats van het muntstuk de aarde denkt —, dat de rand, die van de schaduw afgaat, van uit de aarde gezien juist zoo breed is als de halve middellijn van de zonneschijf. Men moet dus om de aardschaduw nog een ring van deze breedte leggen, om haar even groot als de aarde zelf te maken; dan wordt zij — daar zon en maan aan den hemel even groote schijven zijn — in plaats van bijna driemaal bijna viermaal zoo groot als de maan. De aarde zou zich dus, als zij zoover als de maan van ons af stond, bijna viermaal zoo groot als de maan vertoonen, dus als een schijf met een middellijn van bijna 2 graden. Daaruit volgt dan hetzelfde, wat wij boven afleidden.

Zoo kon de wetenschap der oudheid op den door Aristoteles gelegden grondslag haar wereldbeeld opbouwen. Op een afstand van 30 aardmiddellijnen cirkelt de maan om de aarde; volgens Aristarchus nam men aan, dat de zon op 19 maal grooteren afstand haar

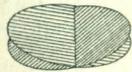
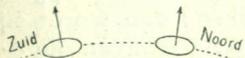
kring beschrijft, en op nog veel grooteren afstand, waarbij deaardedus onmerkbaar klein is, wentelt de hemelbol dagelijks om zijn as en sleept daarbij ook de lagere, dichter bij ons liggende hemelbollen mee.

13. HEMELASPEKTEN EN KLIMATEN.

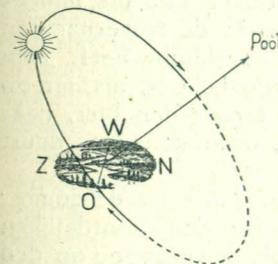
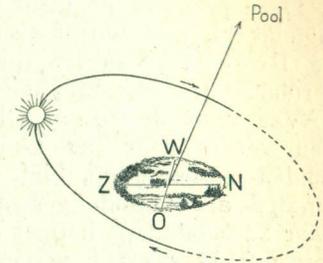
De primitieve mensch, die zich nog geheel door de oppervlak-kige indrukken van zijn omgeving laat leiden, houdt de omstandigheden, waaronder hij leeft, voor de eenig mogelijke en natuurlijke, en het valt hem moeilijk zich die anders voor te stellen. Door de wetenschap, die naderhand uit opzettelijke waarnemingen en bewuste gevolgtrekkingen opgebouwd wordt, weet de mensch zich boven dit subjektieve standpunt te verheffen. Hij leert dan zijn eigen omstandigheden als iets toevalligs beschouwen, als iets, dat evengoed anders kon zijn, en hij weet zich met zijn geest te verplaatsen in de verhoudingen en de toestanden, waaronder andere menschen leven. Hij doorziet het wezen der wereld objektief, onafhankelijk van zijn eigen toevallige levensomstandigheden; daarin ligt de groote beteekenis van de wetenschappelijke wereldbeschouwing.

Zoo zijn wij nu ook hier in staat om met behulp van de kennis, die wij tot dusver verkregen hebben, de hemelverschijnselen en de daarmee samenhangende wisselingen van dag en nacht en jaargetij voor alle plaatsen van de wereld af te leiden, zonder dat wij er zelf ooit geweest zijn. Toen de menschen nog slechts een klein gedeelte van de aardoppervlakte kenden, was het een triomf der wetenschap, dat men met zoo groote stelligheid kon zeggen, welke verschijnselen in onbekende werelddeelen moesten plaatsvinden, En toen vele eeuwen later de geheele aarde ontdekt en bezocht werd, verwonderde men zich in het geheel niet over de verschijnselen, die men daar waarnam; men kende ze van te voren en had ze niet anders verwacht.

Reizen wij van de plaats, waar wij wonen, naar het Noorden toe, dan krijgt de horizon, het kringetje, dat het kleine, zichtbare



gebied om ons heen omsluit, een anderen stand. Aan de noordzijde daalt hij, aan den zuidkant komt hij hooger, evenalsof hij iets gedraaid is om een as, die horizontaal Oost-West ligt; te gelijk buigt ook de richting van het schietlood iets naar het Noorden toe. Omdat voor ons natuurlijk de horizon altijd horizontaal en het schietlood altijd vertikaal blijft, komt het ons voor, dat de geheele sterrenhemel zich om dezelfde oost-westelijke as iets in omgekeerde richting gedraaid heeft; in het Noorden is hij hooger gekomen, in het Zuiden gedaald, zooals wij in een vorig hoofdstuk ook reeds gezien hebben. De hemelpool staat hooger aan den noordelijken hemel, en de hoogte van de sterren in het Zuiden is kleiner geworden. De as, waar de hemelbol dagelijks om draait, staat steiler en de banen, die de sterren van het Oosten naar het Westen beschrijven, liggen minder schuin. Hadden wij ons omgekeerd in zuidelijke richting begeven, dan hadden wij juist het tegenovergestelde gezien;



hoe zuidelijker men komt, des te lager komt de hemelpool, des te minder steil staat de hemelas, en des te steiler stijgen de hemellichten in hun dagelijkschen loop in het Oosten naar boven en dalen zij in het Westen naar beneden.

Wij vonden in het eerste gedeelte van ons werk als samenvatting van alle dagelijksche bewegingen der gesternten, dat de hemelbol met de daaraan vastgehechte hemellichten dagelijks om een as wentelt, die in een bepaalde richting schuin naar het Noorden omhoog gericht is. Hier blijkt nu, dat deze bepaalde schuine richting van de hemelas geen bijzonderheid van den hemel is, maar enkel een bijzonderheid van onze woonplaats, en door de toevallige ligging van onze woonplaats op aarde bepaald wordt. Voor iedere andere plaats is die richting anders. Van een bepaalde richting van de hemelas en van den hemel kan men dus eigenlijk in het geheel niet spreken.

Toen wij daarover spraken, bedoelden wij den stand van den hemel ten opzichte van horizon en schietlood, dien wij nu omgekeerd beter aanduiden als den met de woonplaats wisselenden stand van horizon en schietlood ten opzichte van den hemelbol. De stand van den hemel wordt aangegeven door den in graden gemeten afstand tusschen hemelpool en horizon: de poolshoogte, die voor noordelijke streken grooter, voor zuidelijke streken kleiner is. Deze poolshoogte geeft aan, hoever een plaats noordelijker of zuidelijker ligt, en wordt als bepaling van de standplaats op aarde de breedte van deze plaats genoemd. Voor ons land bedraagt zij ruim 50 graden, voor Zuid-Europa 40, voor Zweden 60 graden.

Wat voor de sterren geldt, geldt ook voor de zon. Naarmate men verder naar het Noorden gaat, staat zij 's middags in het Zuiden minder hoog, blijft zij 's winters dichter bij den horizon en kan zij de aarde minder verwarmen. Omgekeerd in zuidelijke streken, waar zij 's middags hooger aan den hemel klimt en de aarde sterker bestraalt. Daarom wordt het klimaat naar het Zuiden steeds warmer, naar het Noorden steeds kouder. Evenals de winterzon in de noordelijke streken 's middags minder hoog stijgt, zinkt daar de zomerzon 's nachts minder diep onder den horizon weg. De schemering in de zomernachten is er dus veel sterker, en in Petersburg en Stockholm heeft men dan de „witte nachten,“ waarin het bijna zoo licht is, als hier op een regenachtigen dag. De langste dag duurt langer dan hier, daar de dagkring van de zon minder scheef ligt, maar daarvoor duurt de kortste dag in den winter ook korter.

Gaat men steeds verder naar het Noorden, dan staat de zomerzon te middernacht steeds minder diep onder den noordelijken horizon, en eindelijk komt men in een streek, waar de zon op den langsten dag in Juni niet meer ondergaat. Hier begint het gebied van de middernachtszon. De hemelpool staat hoog boven ons hoofd, de hemelas staat zeer steil, bijna loodrecht; de banen der sterren liggen vrij vlak, in het Zuiden slechts weinig hooger dan in het Noorden. Ook de zomerzon beweegt zich in een zwak hellende baan om ons heen; in het Zuiden komt zij wat hooger, in het Noorden wat lager, maar steeds blijft zij zichtbaar. Eerst wanneer de zon zich eenige weken of maanden later verder van de hemelpool verwijderd heeft, gaat zij weer in het

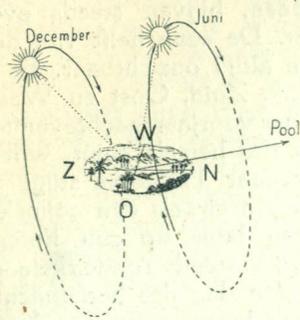
Noordwesten onder. Tegenover dezen weken- of maandenlangen dag in den zomer, staat een even lange nacht in den winter, waarin de zon in het Zuiden niet tot aan den horizon opstijgt en en dus onzichtbaar blijft. Zoo zagen de Hollandsche matrozen, die in 1596 voor het eerst op Nova-Zembla moesten overwinteren, de zon in November verdwijnen en eerst in Februari weer terugkomen. Door de geringe straling van de zon is de aarde in deze streken bijna het geheele jaar door met sneeuw en ijs bedekt; geen boom wil hier groeien, slechts eenige kruiden en bloemen schieten in de zomermaanden op, en een ondoordringbare ijsmassa verhindert aan de schepen den doortocht.

Gaan wij al maar verder naar het Noorden, dan moeten wij ten slotte op een plaats komen, waar wij de hemelpool precies boven ons hoofd hebben en de breedte dus 90 graden is: de Noordpool der aarde. De hemelas staat hier loodrecht, de sterren loopen horizontaal om ons heen, blijven steeds even hoog en geen enkele gaat op of onder. De eene helft van den hemel blijft altijd zichtbaar, de andere altijd onzichtbaar. Er is geen onderscheid meer tusschen Noord en Zuid, Oost en West; alle richtingen zijn hier gelijk. Op den dag der voorjaarsnachtevining, wanneer de zon op de noordelijke helft des hemels komt, wordt zij aan den horizon zichtbaar. Onmerkbaar langzaam stijgt zij omhoog, aldoor in 24 uren in steeds hoogere cirkels den geheelen horizon rondlopend, tot zij drie maanden later op zijn hoogst gekomen is; dan daalt zij, op dezelfde wijze steeds rondcirkelend, langzaam naar beneden en verdwijnt op den dag der herfstnachtevining. Terwijl zij in de volgende weken langzaam verder daalt, verdwijnt meer en meer het schemerlicht, dat met haar om den horizon rondloopt; een lange nacht begint, tot eindelijk in Februari de schemering en in Maart de zon weer verschijnt. Alleen de maan, die op dezelfde wijze afwisselend 2 weken zichtbaar en 2 weken onzichtbaar is, verlicht telkens voor 15 dagen dezen langen nacht.

In een boek uit de 2^{de} eeuw n. C. over het leven van beroemde wijsgeeren wordt van *Bion*, een tijdgenoot van Socrates, vermeld, dat hij de eerste is geweest, die beweerde dat er streken waren, waar dag en nacht ieder 6 maanden duren. Meer weten wij niet van hem, daar geen eigen geschriften van hem bewaard zijn gebleven. Uit dezen zin kunnen wij echter besluiten, dat reeds

in dien tijd, een eeuw vóór Aristoteles, volkomen juiste gevolgtrekkingen uit de leer van de rondheid der aarde afgeleid werden want van een werkelijke bekendheid met de Poolstreken was toen bij de Grieken nog geen sprake.

Gaan wij nu van uit onze woonplaats, in plaats van naar het Noorden, steeds verder naar het Zuiden. Wij weten al, dat dan de hemelas steeds minder steil wordt en de hemelpool steeds lager komt, dat de dagkringen van de sterren en de zon steiler worden en hun hoogte in het Zuiden toeneemt, terwijl het klimaat steeds warmer wordt. Ten slotte komen wij dan — op een breedte van $23\frac{1}{2}$ graad — zoover, dat de zomerzon in haar hoogsten stand recht boven ons hoofd staat. Gaan wij nog verder, dan staat de zomerzon 's middags in het Noorden, iets ten Noorden van het toppunt en de winterzon hoog in het Zuiden. Wij bevinden ons dan in de heete of tropische zone der aarde.

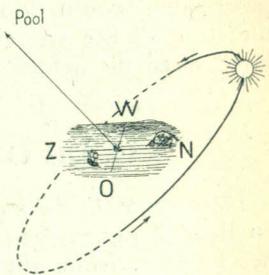


In deze streken komen wij dan op onze reis naar het Zuiden zoover, dat de hemelas geheel plat, horizontaal ligt; de Noordpool des hemels is tot aan den noordelijken horizon gedaald, dus is de breedte hier nul; tegelijk is echter de tot nu toe onzichtbare Zuidpool des hemels tot aan den zuidelijken horizon gestegen.

Wij bevinden ons dan op den evenaar of linie, den aequator der aarde. De sterren klimmen in het Oosten recht naar boven en dalen in het Westen recht naar beneden. Er zijn in het Noorden geen sterren meer, die nooit ondergaan, maar tegelijk zijn er in het Zuiden ook geen sterren, die steeds onzichtbaar blijven. Alle dagkringen worden door den horizon in twee gelijke helften verdeeld: de zon gaat altijd om 6 uur op en om 6 uur onder, terwijl de schemering slechts kort duurt, omdat de zon loodrecht stijgt en daalt. Op 21 Maart en 22 September komt de zon precies in het Oosten op, gaat recht over ons hoofd heen en gaat precies in het Westen onder. In Juni blijft zij steeds aan den Noordkant, in December aan den Zuidkant des hemels. Hier ontbreekt de tegenstelling tusschen een koud en een heet jaargetij,

omdat de zon in December en in Juni even hoog staat; het is altijd heet, en een verschil tusschen de jaargetijden bestaat slechts in een regelmatige afwisseling van droogte en regentijd, die gedeeltelijk met den vorm van landen en zeeën samenhangt.

Gaan wij nu over den evenaar heen nog verder naar het Zuiden, dan komen wij op het zuidelijke halfond der aarde; in het Zuiden verheft zich de Zuidpool des hemels boven den horizon, terwijl de Noordpool met de omliggende sterren onzichtbaar wordt. Alle verschijnselen, die wij tot nog toe aantreffen, keeren nu in omgekeerde volgorde terug, alleen met dit verschil, dat Noord en Zuid verwisseld zijn. De Zuidpool des hemels komt bij onze reis naar het Zuiden steeds hooger aan den zuidelijken hemel, en geeft door haar hoogte de toenemende zuidelijke breedte aan; de hemelas wordt steeds steiler, de banen der sterren worden steeds vlakker en het klimaat wordt steeds kouder. Maar nu klimmen de



sterren in het Oosten steeds naar links, naar het Noorden omhoog, bereiken in het Noorden hun hoogsten stand en dalen vandaar naar het Westen. Zij gaan dus niet naar rechts, maar naar links om. De Grieksche geschiedschrijver Herodotus verhaalt in het 4de Boek van zijn Historiën, dat Phoenicische schippers in opdracht van den Pharao Necho een tocht om Afrika deden; uit de Roode Zee voeren zij uit, en door de Zuilen van Hercules (de Straat van Gibraltar) kwamen zij na 3 jaren weer thuis. „Zij vertelden vele dingen, die mij niet geloofwaardig voorkomen, mogen ook anderen ze gelooven: onder andere, dat zij „om Lybië (Afrika) heen varend de zon aan hun rechterhand „kregen. Op die manier werd voor het eerst vastgesteld, dat Lybië „aan alle kanten door de zee omringd is.” Uit deze mededeeling, die den geschiedschrijver verzonnen en onmogelijk toescheen, kunnen wij omgekeerd besluiten, dat de Phoenicische schippers inderdaad op het zuidelijk halfond geweest zijn.

Deze verwisseling van rechts en links treedt ook hierin voor den dag, dat de gedaanten van de pas verschijnende en de weldra verdwijnende maansikkel verwisseld

zijn; op het zuidelijk halfmond ziet het eerste kwartier er juist zoo uit als bij ons het laatste kwartier. Verder is daar de middaghoogte van de zon het grootst, wanneer zij het zuidelijkst komt, dus in December, en het kleinst, wanneer zij zich in het noordelijkst deel van haar baan bevindt, dus in Juni. De jaargetijden zijn hier dus juist omgekeerd als bij ons; in December is het warme zomer, in Juni koude winter. Gaat men nu aldoor verder naar het Zuiden, dan komt men ook hier in koude, met sneeuw en ijs bedekte poolstreken, die de Zuidpool des hemels boven zich en de middernachtszon in het Zuiden hebben.

Zoodra men in de oudheid ingezien had, dat de aarde rond is, kon men al deze verschijnselen voor de verschillende deelen der aarde afleiden. Men geloofde echter, dat de menschen in de tropische zone en het zuidelijk halfmond nooit konden komen, daar deze streken van de bewoonde wereld om de Middellandsche Zee gescheiden waren door ondoordringbare woestijnen en door zeeën, die door dichte wiermassa's onbevaarbaar waren. Eerst 15 eeuwen later werd dit geloof vernietigd en de geheele aarde ontdekt.

14. DE ONTDEKKING DER AARDE.

Hoe groot is de aarde? Konden wij een reis om haar heen maken en daarbij onzen weg met een meetketting meten, dan wisten wij het in eens. Maar dit is praktisch onuitvoerbaar, en was het in nog veel hooger mate, toen de menschen nog slechts een klein deel van haar oppervlakte kenden. De vraag is, of men de grootte van de aarde niet kan vinden, terwijl men binnen een beperkt gebied blijft.

Dat is niet zoo moeilijk, als het op het eerste gezicht schijnt. Wanneer wij een kleinen afstand op de aarde meten, kunnen wij daaruit haar omtrek vinden, wanneer wij slechts weten, welk deel van den geheelen omtrek deze afstand is. Dit laatste kunnen wij uit de verandering van de richting van het schietlood vinden, die ons door de sterren wordt aangegeven. Wanneer de aarde een bol is en haar oppervlakte dus overal even sterk gebogen, dan moet telkens, wanneer wij een zelfden afstand doorloopen, ook de richting van het schietlood evenveel veranderen. Gaan wij zoo ver naar het Noorden, tot de sterren aan den Noordhemel precies

een graad hooger gekomen zijn, dan is de richting van het schietlood een graad, dus een 360^{ste} deel van den hemelomtrek anders geworden; wij hebben dan ook een 360^{ste} deel van den aardomtrek afgelegd en de geheele omtrek der aarde is 360 keer zoo groot, als de door ons afgelegde weg.

Deze gedachtengang kwam reeds in de oudheid bij een geleerd geograaf, Eratosthenes in Alexandrië, op (ongeveer 230 v. Chr.); waarschijnlijk echter is dit denkbeeld ook al vroeger toegepast. Alexandrië aan den mond van den Nijl was toen de belangrijkste handelsstad van het groote gebied, dat door de veroveringen van Alexander onder Griekschen invloed gebracht was. In dit middelpunt van den toenmaligen wereldhandel ontmoetten het Oosten en het Westen elkaar; het stond niet slechts met de landen aan de Middellandsche Zee in verbinding, maar onderhield ook een levendig verkeer met de kusten van den Indischen Oceaan; en zelfs van nog verder afgelegen eilanden kwam, met de kostbare waren, ook met wonderverhalen gemengde aardrijkskundige kennis naar Alexandrië. Hier stroomden alle schatten der wereld te zamen, en met behulp van deze rijkdommen hebben de Ptolemaeën, de Grieksche vorsten van Egypte, hier een bibliotheek en een akademie als brandpunt van wetenschap gesticht. Tot de vele beroemde mannen, die aan de Alexandrijnsche bibliotheek verbonden zijn geweest, behoort ook Eratosthenes.

Het was hem uit berichten bekend, dat in Syene, een stad aan den Nijl in Zuid-Egypte, de zon op den langsten dag den bodem van een diepe loodrechte put bescheen, dus in het toppunt van den hemel stond. Daarentegen bleef zij volgens zijn meting op dien dag in Alexandrië $\frac{1}{50}$ van den hemelomtrek van het toppunt verwijderd. Zooveel was dus de richting van het schietlood in beide plaatsen verschillend en hun afstand moest dus ook $\frac{1}{50}$ van den omtrek der aarde zijn. Daar, naar de opgaven van 's konings bodem, deze afstand 5000 stadiën bedroeg, moest de omtrek der aarde 250.000 stadiën zijn. Nu werden in de oudheid verschillende soorten van stadiën gebruikt. In onze maat uitgedrukt komt een stadie van Eratosthenes met $157\frac{1}{2}$ meter overeen; zijn uitkomst voor den omtrek van de aarde wordt dan $39\frac{1}{2}$ millioen meter. Dat dit zoo precies met de werkelijkheid overeenstemt, is natuurlijk toeval; want naar de manier, waarop het gevonden werd, kon

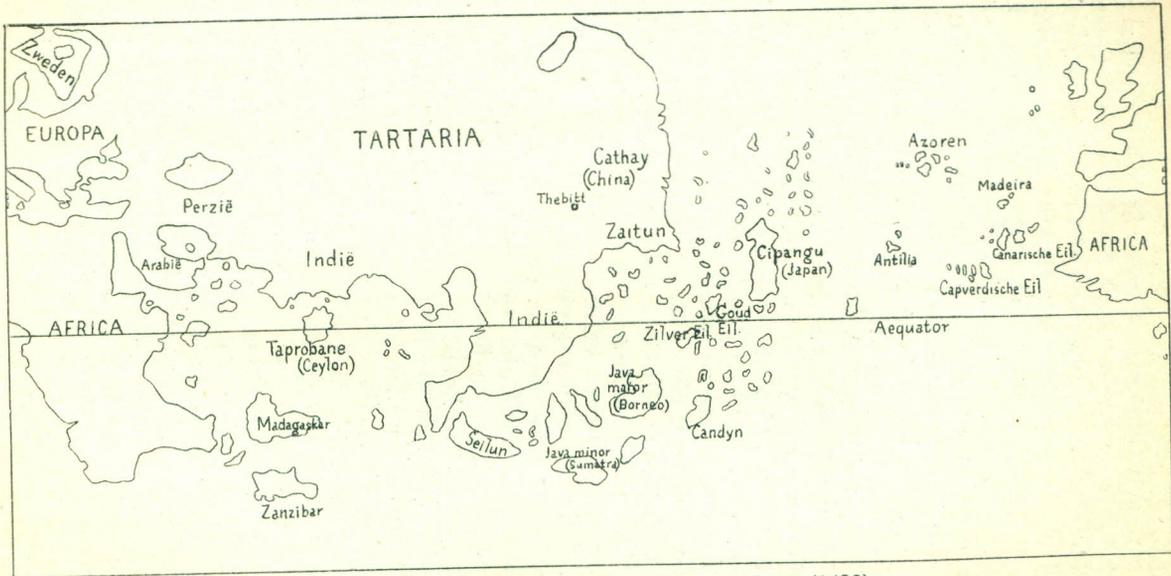
het slechts een ruwe schatting zijn. Het bijzondere en mooie lag in het principe, dat veroorloofde uit de kennis van een klein gebied de aarde als het ware in haar volle grootte te overzien. Andere geleerden der oudheid hebben later, volgens hetzelfde beginsel, andere uitkomsten voor de grootte der aarde opgegeven; de sterrekundige Ptolemaeus en de aardrijkskundige Strabo, die beiden ten tijde van de Romeinsche keizers leefden, gaven voor haar omtrek 180.000 stadiën (vermoedelijk van 210 meter) op.

Hoe groot was daarmee vergeleken nu de bekende wereld? De afstanden waren slechts zeer ruw, naar dagmarschen of naar dagreizen van zeilende schepen te schatten; en daar de schepen geen kompas bezaten en zich dus dicht bij de kust moesten houden, moesten deze schattingen vaak zeer onjuist zijn. Zoo kwam het dat de lengte der bekende wereld van het Westen naar het Oosten vrij wat te groot werd aangenomen. Eratosthenes gaf voor den afstand van de Atlantische oceaankust bij Spanje tot aan het eiland Taprobane (Ceylon bij Indië) 70.000 stadiën op; dit is een derde part van den omtrek van den cirkel, dien men door de Middellandsche Zee evenwijdig aan den evenaar om den aardbol leggen kan, en die natuurlijk wat kleiner dan de evenaar zelf is. Bij Ptolemaeus liggen de verste kusten van Indië den halven aardomtrek van Spanje verwijderd. Deze fout, die door andere en latere schrijvers nog erger gemaakt werd, is van groote beteekenis voor de wereldgeschiedenis geworden.

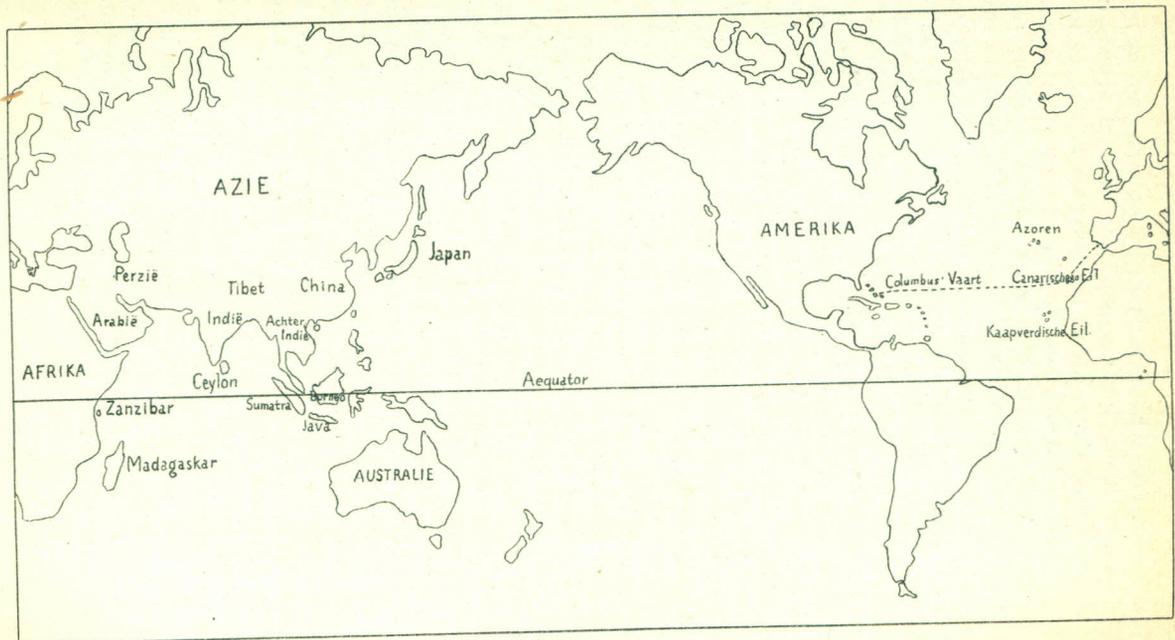
„Wanneer de groote uitgestrektheid van den Atlantischen Oceaan „dit niet verhinderde,” haalt Strabo uit een verloren gegaan werk van „Eratosthenes aan, „zouden wij, altijd denzelfden parallelcirkel volgend, van Spanje naar Indië kunnen varen, want het overige deel „bedraagt wat meer dan een derde deel van den geheelen cirkel.” De geleerden der oudheid zagen dus zeer goed de mogelijkheid om Indië te bereiken, wanneer men over den Atlantischen Oceaan steeds verder naar het Westen zeilde. Maar geen ondernemend zeeman kwam op de gedachte, dezen weg praktisch te probeeren. Waarom zou men ook? Alexandrië lag midden tusschen Europa en Indië, stond met beide in handelsverkeer, en de schatten van Indië konden er langs den kortsten weg komen. Waartoe zou men dan een anderen, langeren en moeilijkeren weg opzoeken, die bovendien nog door de onbekendheid met het kompas veel gevaarlijker was?

Toen, na den ondergang van het Romeinsche wereldrijk, Voor-Azië onder de heerschappij der Chaliefen tot een bloeiend centrum van handel, van nijverheid en van beschaving werd, dat aan de eene zijde met Indië en Oost-Azië en aan de andere zijde met het nog achterlijke, maar langzaam opkomende Europa in verbinding stond, was zulk een behoefte evenmin voorhanden. Dat werd eerst anders, toen door het opbloeien van handwerk, handel en geldverkeer in Europa en door den achteruitgang van het maatschappelijk leven in Voor-Azië, dat door ruwe, oorlogszuchtige Nomaden veroverd werd, het zwaartepunt der wereld zich naar Zuid- en West-Europa verplaatste. Naarmate de handelsverbindingen met Indië en met China, dat door de reizen van Marco Polo bekend geworden was, door de Turksche veroveringen in Voor-Azië en het uiteenvallen van het groote rijk der Mongolen verbroken werden, werd de drang steeds sterker om een anderen weg naar Indië over zee te vinden. Op het voetspoor van de Catalonische schippers, die reeds in de 14de eeuw een deel van de westkust van Europa en Afrika bezocht hadden, en met behulp van het aan de Arabieren ontleende kompas waagden zich de Portugeesche zeevaarders steeds verder naar het Zuiden, langs de westkust van Afrika, en bereikten in 1486 de Kaap de Goede Hoop. Bij hun verdere tochten kwamen zij, de oostkust van Afrika volgend, in het gebied waar de Arabieren een regelmatig handelsverkeer met Indië onderhielden, en bereikten in 1498 Indië zelf. Spoedig drongen de gewapende kooplieden steeds verder naar het Oosten, naar de Specerij-eilanden (de Molukken), naar China en Japan, en brachten de kusten en eilanden van Indië onder hun heerschappij. Geweldig breidde zich, door den drang naar avonturen en handelswinst omhoog gestuwd, de kennis van het aardoppervlak uit.

Maar nog voordat Indië op deze wijze bereikt werd, was het denkbeeld van Eratosthenes en de andere aardrijkskundigen der oudheid weer opgevat. Door zijn studie van de geschriften, die toen ter tijde de uitkomsten der antieke wetenschap, vaak over den omweg van Arabische vertalingen, samenvatten en aan de Westerlingen toegankelijk maakten, was de Genueesche zeevaarder Columbus tot de overtuiging gekomen, dat de aarde bolvormig was en dat Indië dus ook door een vaart naar het Westen te bereiken moest zijn. Daar hij aannam, dat de oude stadiën van



Wereldkaart naar de globe van Martin Behaim (1492).



Wereldkaart van tegenwoordig.

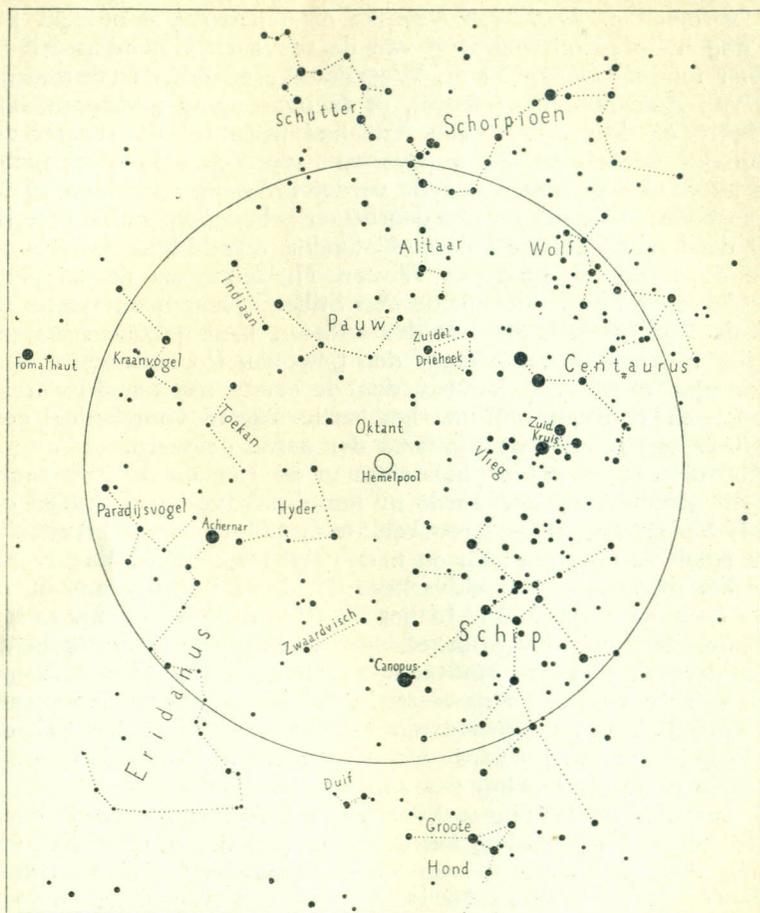
Ptolemaeus het tiende gedeelte van zijn Italiaansche mijlen (van $1\frac{1}{2}$ KM.) waren, hield hij de aarde voor veel kleiner dan ze werkelijk was; „de aarde is klein, ik verzeker u, dat ze niet zoo „groot is, als men gewoonlijk meent,” schreef hij later in een brief aan de koningin van Spanje. Hij werd in die meening versterkt door den Italiaanschen geleerde Toscanelli, die met veel zorgvuldigheid kaarten maakte, waarop de oostkust van Azië op niet al te grooten afstand van de westkust van Europa geteekend was; „ik heb tegenover de kusten van Ierland en Afrika, recht „naar het Westen toe, het begin van Indië met de eilanden en „de plaatsen aangegeven, waar men zal kunnen landen,” schreef Toscanelli aan den Portugeeschen kanunnik Martinez, toen hij hem zijn kaart toezond, die Columbus waarschijnlijk ook gebruikt heeft. Dat deze opvatting onder de geleerden van dien tijd algemeen verbreid was, wordt bewezen door de beroemde aardglobe van den Neurenberger astronoom en zeevaarder Martin Behaim, waarnaar onze kaart blz. 92 geteekend is, met een tegenwoordige wereldkaart ter vergelijking er onder; blijkbaar heeft hij het gebied van Spanje tot Ceylon naar de oude opgaven van Ptolemaeus geteekend, en daaraan naar het reisverhaal van Marco Polo de landen van Oost-Azië op veel te groote schaal aangehecht. Aan Columbus komt echter de verdienste toe de praktische konsekwenties uit deze opvatting getrokken te hebben. Zijn geheele leven lang heeft hij onvermoeid aan dit denkbeeld vastgehouden; eerst overal afgewezen, omdat men hem bij den lagen stand der algemeene ontwikkeling voor een fantast hield, gelukte het hem ten slotte in 1492 van de koningin van Spanje drie kleine schepen voor zijn doel te krijgen. Na een voorspoedige vaart van drie weken — de verhalen van de vele tegenspoeden onderweg, miterij der matrozen e.d. zijn later verzonnen —, waarbij hij steeds vast op zijn kaarten vertrouwde, bereikte hij op den 10^{den} Oktober land: hij had Amerika ontdekt.

Zijn dwaling, die hij met de geleerden van zijn tijd deelde, is de oorzaak van zijn durf en zijn slagen geweest. Had hij de werkelijke grootte van de aarde en de werkelijke afstanden gekend: had hij dus geweten, dat de afstand van Spanje naar Indië naar het Westen bijna tweemaal zoo groot is als naar het Oosten, dan had hij zijn tocht zeker niet ondernomen; want dat er nog een

geheel nieuw werelddeel tusschen zou liggen, kon hij natuurlijk niet vermoeden. Dan was Amerika eerst naderhand ontdekt bij een nog hoogere ontwikkeling van de zeevaart. Columbus zelf is na vier reizen, waarop hij de Westindische eilanden en de noordkust van Zuid-Amerika bezocht, in de overtuiging gestorven, dat hij Indië en de Oostkust van Azië had bereikt. Toen echter de Spaansche ontdekkers en veroveraars, door gouddorst en zucht naar avonturen gedreven, steeds verder drongen, ontdekten zij de oostkust van Amerika en den daarachter gelegen Stillen Oceaan. In 1519 deed Magelhaens wat Columbus gewild had, en bereikte Indië door een reis naar het Westen. Hij zeilde om de zuidpunt van Amerika heen, doorkliefde den Stillen Oceaan, ontmoette in Indië de Portugeezen, die van den anderen kant gekomen waren, en zijn schepen kwamen langs den gewonen Portugeeschen weg in Europa terug. Zij hadden dus de eerste reis om de wereld gedaan, en daarmee ook aan het hardnekkigste vooroordeel een praktisch bewijs voor de rondheid der aarde geleverd.

Met de groote ontdekkingsreizen in de 15^{de} en de 16^{de} eeuw was de ontdekking der aarde in hoofdzaak voltooid. Alleen de details bleven nog te onderzoeken; in de 17^{de} eeuw werd Australië door Abel Tasman ontdekt, en in de volgende eeuw werden overal door het toenemende wereldverkeer de kleine verspreide eilanden in de oceanen opgespoord. In het begin van de 19^{de} eeuw waren de omtrekken van alle groote eilanden en werelddeelen vastgelegd; het onderzoek van hun binnenlanden is het groote aardrijkskundige werk van de 19^{de} eeuw geweest. In het begin van de 20^{ste} eeuw zijn eindelijk nog de eeuwenlange pogingen, om door het ijs heen tot de beide polen der aarde door te dringen, met succes bekroond. Daarmee is de ontdekking der aarde voltooid.

De groote ontdekkingsstochten en zeevaarten van de 15^{de} en de 16^{de} eeuw, die plotseling het grootste deel der aardoppervlakte binnen den gezichtskring van de Europeesche volken brachten, hebben op de wetenschap der sterrekunde een geweldigen invloed uitgeoefend. Eenerzijds bevestigden zij door een praktijk, waarvoor elk vooroordeel wijken moest, de vroeger door geleerde wijsgeeren opgestelde theorie van den bolvorm der aarde, die van nu af aan een praktische beteekenis krijgt. Anderzijds ging van hen een sterke prikkel tot astronomisch onderzoek uit. Bij de



De zuidelijke sterrenhemel.
(De cirkel omsluit alle sterren, die minder dan 50 graden van de Zuidpool verwijderd en daarom hier steeds onzichtbaar zijn.)

tochten door de zuidelijke zeeën zag men voor het eerst de sterbeelden van den zuidelijken hemel, die voor een deel wel aan de ver naar het Zuiden wonende Arabieren bekend geweest waren, maar in Europa steeds onzichtbaar blijven; met verbazing aanschouwden de zeevaarders Canopus in het Schip, naast Sirius de helderste ster van den hemel, de merkwaardige groepen van den Centaurus en het Zuidelijke Kruis, en vele andere sterbeelden. Daar kwam nog een praktisch belang bij. Midden in den oceaan, ver van alle kusten, waren de hemellichamen de eenige betrouwbare gidsen van den zeeman; slechts met behulp van sterren, zon en maan kon hij zijn weg vinden en nauwkeurig de plaats op aarde bepalen, waar hij zich bevond. Maar daartoe was het noodig, dat hij de plaats van deze gesternten aan den hemel nauwkeurig in zijn almanak vooruit aangegeven vond; en dat was slechts mogelijk, wanneer de sterrekundigen ze vooruit wisten te berekenen. Zoo hebben de eischen en behoeften van de scheepvaart op den oceaan in hooge mate meegewerkt om de wetenschap van den hemel in de volgende eeuwen krachtig voort te stuwen.

15. GROOTTE EN VORM DER AARDE.

Eratosthenes had zijn methode ter bepaling van de grootte der aarde slechts voor een ruwe schatting gebruikt. Wil men de grootte van de aarde zoo nauwkeurig mogelijk kennen, dan kan men zich voor den afstand van de twee plaatsen niet met de ruwe opgaven van reizigers tevreden stellen; dan moet men dien afstand nauwkeurig meten.

Om een kleinen afstand op aarde te meten, bedient men zich eenvoudig van een meetlat of een meetketting, zooals de landmeters ze gebruiken. Zelfs grootere afstanden kunnen bij behoorlijke voorzorgen op die manier zeer nauwkeurig gemeten worden. Zoo heeft b.v. de sterrekundige Bessel in 1820 in Oost-Pruisen een afstand van 2 KM. gemeten, door stevige ijzeren stangen waarvan de lengte nauwkeurig bekend was, op houten schragen in een rij te leggen en de kleine tusschenruimten tusschen de stangen te meten door er zuiver bewerkte spitse wiggen tusschen te ste-

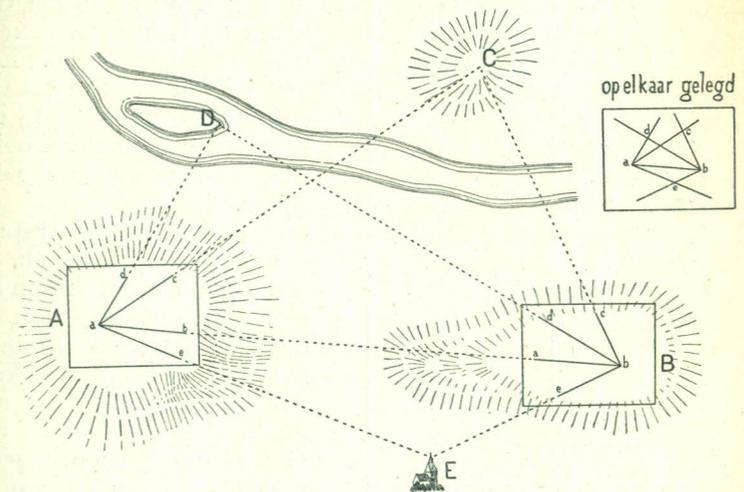
ken, die er des te dieper ingingen, naarmate de stangen verder uit elkaar lagen. Omdat metalen door de warmte uitzetten, moest natuurlijk ook hun temperatuur gemeten en in aanmerking genomen worden. Zoo gelukte het hem den gezochten afstand zoo nauwkeurig te meten, dat de mogelijk overblijvende fout niet grooter dan 4 millimeter, dus $\frac{1}{500000}$ van het geheel was. Met de moderne hulpmiddelen is de nauwkeurigheid nog tweemaal zoo groot, zoodat op een kilometer geen grooter fout dan een millimeter kan overblijven.

Zulke metingen zijn echter alleen op bijzonder gunstige, vlakke terreinen uit te voeren, waar geen heuvels of rivieren in den weg komen. Voor grootere afstanden, die men voor de bepaling van de grootte der aarde noodig heeft, is deze methode niet bruikbaar. Moet men zich hier dus toch maar met ruwe schattingen tevreden stellen, of bestaat er een middel de nauwkeurigheid van deze metingen op groote afstanden over te dragen? Zulk een middel bezitten wij in de driehoeksmeting.

De driehoeksmeting of trigonometrie is een methode, om door het meten van hoeken de ligging van verschillende plaatsen op aarde ten opzichte van elkaar in kaart te brengen en in getallen te berekenen. Op een plaats A (b.v. den top van een heuvel) leggen wij een blad papier op een tafel, en trekken daarop van uit een middelpunt de lijnen, die nauwkeurig naar verwijderde toppen of andere voorwerpen B, C, D, E, gericht zijn. Wij doen dan hetzelfde op den heuveltop B, waar wij op een papier van uit punt b lijnen in de richting van A, C, D, E, trekken. Leggen wij nu naderhand de beide bladen papier op elkaar, zoo, dat de lijn a-b op beide samenvalt en a en b op willekeurigen afstand van elkaar op deze lijn liggen, dan geeft het gekombineerde beeld op kleinere schaal nauwkeurig de ligging van de plaatsen A, B, C, D, E, ten opzichte van elkaar weer. Is nu de afstand A-B bekend, is hij b.v. 2 KM., en maken wij b.v. op onze teekening den afstand a-b gelijk aan 20 cM., dus $\frac{1}{10000}$ van den werkelijken afstand, dan is op onze kaart alles op $\frac{1}{10000}$ verkleind. Wij behoeven dan slechts den een of anderen afstand b-c of a-d op de kaart te meten; en zooveel centimeters wij daarvoor vinden, zooveel keer honderd meter moeten de werkelijke afstanden B-C en A-D bedragen, die

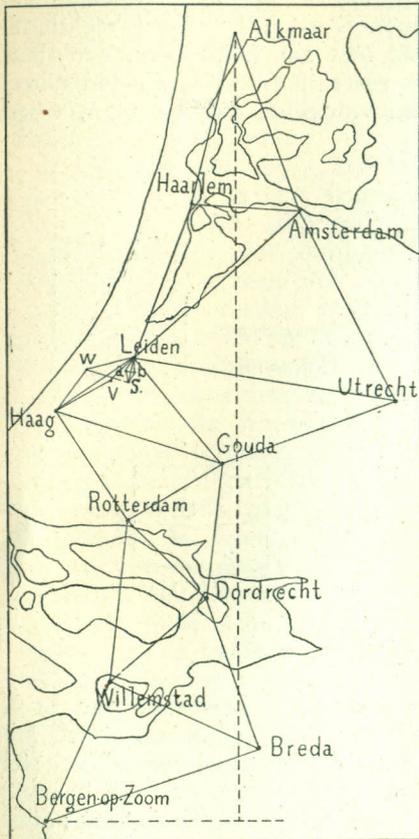
wij door de tusschenliggende rivier niet eens direkt kunnen meten.

De uitvoering in de praktijk verschilt in tweërlei opzicht van deze eenvoudigste toepassing van het principe. Terwijl de uitvoerigste terreinkaarten ook werkelijk door het teekenen van richtingslijnen op het papier gemaakt worden, worden de richtingen voor de eigenlijke driehoeksmeting met een instrument, een theodoliet, nauwkeurig gemeten. Een verrekijker, waaraan een nauwkeurig in graden en onderdeelen verdeelde cirkel vastzit, wordt



achtereenvolgens op elk der verwijderde voorwerpen gericht en de hoek, dien kijker en cirkel telkens daarbij draaien, wordt met behulp van vaste merken of mikroskopen afgelezen. Bovendien worden de afstanden niet gevonden door ze op een kaart in kleineren maatstaf uit te meten, maar door ze te berekenen; alles, wat meetkundig te konstrueeren en dan te meten is, is ook in getallen met elke gewenschte nauwkeurigheid te berekenen; de daartoe dienende rekenmethoden (goniometrie en trigonometrie) zijn reeds vroeg ontwikkeld, gedeeltelijk in de oudheid, maar vooral in de 15de en 16de eeuw.

Deze driehoeksmeting werd het eerst in het begin van de 17^d eeuw door Snellius te Leiden op de meting der aarde toegepast. Een aantal stads- en dorpstorens in Holland vormden hoekpunten van een zich van het Noorden naar het Zuiden uitstrekkende reeks van aan elkaar sluitende driehoeken. Op iederen toren mat hij de hoeken tusschen de richtingen naar de omliggende plaatsen. Zoo kon hij het geheele net van driehoeken nauwkeurig nakonstrueeren, en hij behoefde slechts één van de driehoekszijden, dus den afstand van twee naburige driehoekspunten zorgvuldig te meten, om alle andere afstanden in het net, dus ook den afstand tusschen het noordelijkste en het zuidelijkste punt te kunnen berekenen. Hij mat direkt een afstand a-b van 326 voet op een weide tusschen Leiden en Soeterwoude, berekende daaruit de afstanden van Leiden naar de torens van Soeterwoude, Voorschoten, Wassenaar, daaruit de driehoekszijde Leiden—Haag, en zoo kon hij steeds verder gaan en met behulp van de gemeten hoeken alle andere driehoekszijden berekenen. Zoo was hij in staat den afstand van twee steden, die 100 KM. van elkaar lagen en door breede zeearmen



De graadmeting van Snellius.

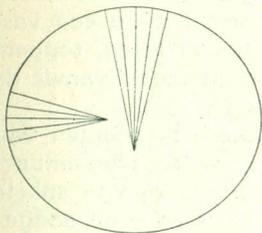
van elkaar gescheiden waren (Alkmaar en Bergen op Zoom,) zonder direkte meting met groote nauwkeurigheid te vinden. Hij behoefde nu nog slechts door waarnemingen der sterren te bepalen, hoeveel de richting van het schietlood in beide plaatsen verschilde, om daaruit den omtrek der aarde af te leiden.

Deze methode is sinds dien tijd overal op de landmeting toegepast. Om nauwkeurige kaarten te maken, wordt eerst uit torens en uit speciaal daarvoor op heuvels gebouwde stellages een driehoeksnet gevormd, dat zich over het geheele land uitstrekt; op ieder punt worden de richtingen naar de omliggende punten gemeten, zoodat men in staat is de relatieve ligging van deze punten nauwkeurig te berekenen en in kaart te brengen. Daarmee is dan als het ware een vast geraamte gevormd, waarin naderhand allerlei plaatsen, toppen, rivieren en andere voorwerpen door verdere metingen vanuit de driehoekspunten op de juiste plaats in te voegen zijn.

Naar de methoden van Snellius zijn alle latere bepalingen van de grootte der aarde uitgevoerd. In de 17^{de} eeuw steeg het natuuronderzoek meer en meer van een private liefhebberij van enkele personen tot den rang van een door den staat erkende aangelegenheid van openbaar nut. Toen werden in verschillende landen officieele vereenigingen van geleerden gesticht, z.g. akademies, die door staats-hulp in staat waren gesteld, grootere wetenschappelijke ondernemingen te volbrengen, die boven de krachten van enkele personen gingen. Onder de ondernemingen, die op deze wijze door de Fransche Akademie bevorderd werden, behoorde een nauwkeurige bepaling van den omtrek der aarde door meting van een afstand in Noord-Frankrijk, die onder leiding van den astronoom Picard ondernomen en in 1671 voltooid werd. Toen dit onderzoek in de volgende jaren nog verder uitgebreid werd door het meten van een zuidelijk stuk, dat er bij aansloot, kwam daarbij de verrassende uitkomst voor den dag, dat het eerste noordelijke stuk een kleineren omtrek van de aarde opleverde dan het zuidelijke stuk, anders uitgedrukt: de kromming van de aardoppervlakte scheen ten Noorden van Parijs kleiner te zijn dan ten Zuiden van Parijs.

Wij hebben tot nog toe aangenomen, dat het aardoppervlak overal even sterk gekromd en de vorm van de aarde dus precies een bol is; alleen door dat te veronderstellen, was het mogelijk

uit de kromming van een deel de grootte van het geheel te berekenen. Maar het was toch niet meer dan een veronderstelling, die voor de eenvoudigheid gemaakt werd, en men moest dus steeds met de mogelijkheid rekenen, dat de aarde niet precies een bol is, en dat verschillende deelen van haar oppervlak een verschillende kromming kunnen bezitten. Dat hier in Frankrijk nu zulk een verschil gevonden werd, kon dus op zich zelf niet zoozeer verrassen. Het zonderlinge van deze uitkomst lag in iets anders: uit theoretische beschouwingen hadden Newton en Huygens juist het tegengestelde afgeleid van wat de Fransche onderzoekers gevonden



hadden. Volgens deze beschouwingen, waarop wij later nog terugkomen, kan de aarde niet precies den vorm van een bol hebben, maar moet zij in de richting van de as, dus aan de polen iets samengedrukt zijn, dus iets meer van een sinaasappel hebben. De middellijn van pool tot pool is in dit geval iets korter dan de middellijn van den evenaar; aan de polen is, zooals aan een sinaasappel en aan bovenstaande figuur dadelijk te zien is, de oppervlakte minder gekromd dan aan den evenaar, en hoe verder men b.v. in Europa van het Noorden naar het Zuiden gaat, des te sterker moet de kromming worden. Dat was dus in tegenspraak met de uitkomsten der Fransche metingen.

Over de vraag, wie hier gelijk had, is lang getwist, tot men eindelijk inzag, dat deze Fransche metingen geen beslissende uitspraak veroorloofden. Het verschil in kromming tusschen Noord- en Zuid-Frankrijk was slechts gering, en onvermijdelijke kleine fouten der meting konden bewerken, dat dit verschil geheel verdween of zelfs omgekeerd werd. Om de kwestie uit te maken zond de Parijsche Akademie in 1736 twee expedities uit; de een zou zoo ver mogelijk in het Noorden, in Lapland, de ander aan den evenaar, in Peru, de kromming van het aardoppervlak bepalen. En toen bleek dadelijk onmiskenbaar, dat de theorie gelijk had. Terwijl de lengte van een graad, d.w.z. de afstand op aarde, waarop de richting van het schietlood precies een graad verandert, in Frankrijk 57012 toisen (de toenmalige Fransche lengtemaat

van nagenoeg twee meter) bedroeg, werd daarvoor in Lapland 57438 en in Peru 56734 toisen gevonden. De kromming van het aardoppervlak is aan den evenaar het sterkst en wordt des te kleiner, naarmate men dichter bij de polen komt. Daaruit volgt: de aarde is niet precies een bol, maar in de richting van de polen iets samengedrukt. Uit de uitkomsten van deze metingen werd berekend, dat de middellijn van pool tot pool $\frac{1}{300}$ (de zogenaamde afplatting der aarde) kleiner is dan de middellijn van den evenaar.

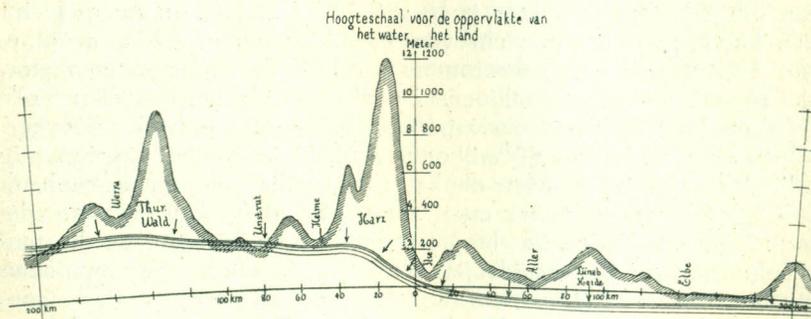
Onder de latere aardmetingen of graadmetingen, zooals ze meestal genoemd worden, is vooral diegene beroemd geworden, die in opdracht van de Nationale Konventie in 1793 ondernomen werd, om aan de natuur een nieuwe lengte-eenheid te ontleenen.

Het veertigmillioenste deel van een door de polen gaanden omtrek der aarde is onder den naam van meter in bijna alle landen (Engeland houdt nog aan zijn oude maten vast) in stede van de vroegere van plaats tot plaats verschillende ellen en voeten als internationale lengtemaat ingevoerd. Op den meter berusten ook de eenheden van vlaktemaat (een hektare is 10000 vierkante meter), van inhoudsmaat (een liter is $\frac{1}{1000}$ kubieke meter), en van gewicht (een kilogram is het gewicht van een liter water). Ten gevolge van eenige meet- en rekenfouten is echter de aangenomen meter niet precies het veertigmillioenste deel van den aardomtrek: volgens de nauwkeurigste metingen bedraagt deze omtrek ongeveer 8300 meter meer dan 40 millioen, zoodat de meter eigenlijk $\frac{1}{5}$ millimeter te kort is. Men denkt er echter niet over om die eenheid nog weer te veranderen; men heeft het idee van een aan de natuur direkt ontleende lengte-eenheid opgegeven, daar die ten gevolge van de onvermijdelijke foutjes toch altijd weer opnieuw zou moeten veranderd worden. De lengte van een meter is nu eenvoudig door den standaardmeter van platina gegeven, die in Parijs bewaard wordt.

In de 19^{de} eeuw zijn met steeds betere instrumenten nog vele graadmetingen gedaan in allerlei deelen der wereld, hoewel natuurlijk het meest in Europa. Zij bevestigen alle, dat de kromming van het aardoppervlak naar den evenaar toe grooter wordt, en

dat dus de aarde een afgeplatte bol is met een afplatting van ongeveer $\frac{1}{300}$, (Bessel vond $\frac{1}{299}$, Clarke $\frac{1}{293}$, Helmert $\frac{1}{296}$.)

Maar precies komt dat toch niet uit. Overal waar men het aardoppervlak nauwkeurig onderzocht heeft, vertoont het bovendien nog weliswaar geringe, maar toch duidelijk merkbare onregelmatigheden in de kromming, die vooral in bergachtige streken van beteekenis zijn. Natuurlijk moet men daarbij niet aan de vaste oppervlakte van het land met al zijn heuvels, bergen en dalen denken, — bij de aardmetingen heeft men daarmee niets te maken — maar aan de oppervlakte van stilstaand water. Men stelt zich voor, dat het zeeoppervlak over het landgebied voortgezet wordt, b.v. zoo, dat het zeewater zich door een menigte diepe kanalen overal binnen de vastelanden kan uitbreiden. Het door al deze wateren gevormde oppervlak is het grondvlak, van waaruit de hoogte der bergen en andere vaste punten boven den zeespiegel gerekend wordt. Op dit oppervlak staat het schietlood natuurlijk overal loodrecht, omdat het water anders zou gaan stroomen en een anderen stand aannemen. Over dit oppervlak denkt men zich de meetketting gelegd, wanneer men den afstand van twee plaatsen door driehoeksmeting afleidt; dit



oppervlak is het dus, waarvan de kromming bij de graadmeting bepaald wordt. En nu is gebleken, dat dit oppervlak wel ongeveer, maar niet precies samenvalt met een regelmatig afgeplatte bolfiguur. Op sommige plaatsen verheft het zich een weinig er boven,

op andere zinkt het er iets onder, en daardoor kan de kromming van dit oppervlak niet geheel regelmatig van het Noorden naar het Zuiden toenemen, en niet van het Oosten naar het Westen nauwkeurig gelijk blijven. De nevenstaande teekening toont hiervan een voorbeeld in een doorsnee door Noord-Duitschland van het Noorden naar het Zuiden, tusschen Kiel en Koburg, juist door de Brocken heen. Vergeleken met den maatstaf der afstanden zijn hier de hoogten van het land alle 100 maal te groot, de hoogten van den rustenden waterspiegel boven of onder de afgeplatte bolfiguur alle 10000 maal te groot genomen. De hellingen der bergen zijn dus 100 maal, de schuinsheid der pijlen, die de richtingen van het schietlood loodrecht op den waterspiegel aangeven, 10000 maal overdreven voorgesteld. Het nauwkeurig onderzoek van dit soort onregelmatigheden van het aardoppervlak is het doel van de tegenwoordige astronomisch-geodetische metingen, die door een internationale commissie geleid, sinds een halve eeuw eerst alleen in Europa en nu in alle werelddeelen een geheel leger van landmeters en sterrekundigen bezighoudt.

Hoe staat het nu echter met de werkelijke vaste oppervlakte, met haar hemelhooge bergen en diepe zeebassins? Kan haar gedaante ook nog ongeveer door een afgeplatten bol voorgesteld worden? De hoogste bergtoppen in de Alpen verheffen zich bijna 5000 meter, de hoogste toppen van de geheele aarde bijna 9000 meter boven den zeespiegel, en ongeveer even diep ligt de diepste zeebodem onder het wateroppervlak. Dit bedrag is minder dan $\frac{1}{1000}$ van de middellijn der aarde, die bijna 13 miljoen meter bedraagt. Stelt men de aarde voor door een bol van een meter middellijn, dan moet de middellijn van pool tot pool 3 millimeter korter zijn; de hoogste bergtoppen kwamen dan $\frac{2}{3}$ millimeter boven, de grootste zeediepten evenveel beneden deze oppervlakte. Om groote hooglanden als die van Midden-Azië en Amerika voor te stellen, zou op die plaats het oppervlak een paar tiende deelen van een millimeter verhoogd, en een even dun laagje zou voor de groote oceanen weggeschaafd moeten worden. Ondanks alle hoogten en diepten, heeft dus ook de vaste aardoppervlakte op zeer weinig na de gedaante van een afgeplatten bol.

16. DE TIJD.

Door den hemelbol in zijn dagelijksche wenteling meegevoerd, wandelt de zon regelmatig in een dag (dien wij naar een uit het oude Babylon overgeleverd gebruik in 24 uren verdeelen, in minuten en sekonden onderverdeeld) om de aarde heen. Zij verlicht daarbij achtereenvolgens alle kanten van den aardbol. Waar zij schijnt, is het dag, terwijl de tegenovergestelde kant nacht heeft.

De tijd is dus voor de verschillende streken der aarde verschillend. Wanneer een plaats op aarde, b.v. Batavia, de zon juist boven zich in het toppunt heeft, dan staat de zon voor alle plaatsen, die precies ten Noorden of ten Zuiden van Batavia liggen, op dit oogenblik in het hoogste punt van haar dagkring, in het Zuiden of in het Noorden. Al deze plaatsen, die op een zelfde, door de Noordpool en de Zuidpool gaande lijn (een meridiaan) liggen, hebben dus op hetzelfde oogenblik middag en hun klokken wijzen denzelfden tijd aan. In de plaatsen ten Westen van deze lijn (b.v. in Voor-Indië, Afrika) is het schietlood meer naar het Westen gericht, en staat de zon dus meer oostelijaanden hemel; hier is het nog voormiddag en bereikt de zon eerst later haar hoogsten stand; het omgekeerde geldt voor de meer oostelijk gelegen plaatsen (b.v. in Australië, Japan), die dan reeds namiddag hebben.

De plek op aarde, die de zon precies boven zich heeft, wandelt als het ware met de zon mee, in den loop van den dag regelmatig om de geheele aarde heen. Wanneer het in Berlijn 's middags 12 uur is, bevindt zich de zon in Juli juist boven het midden van de Sahara; 2 uren later staat zij boven de kust van Senegambië, na 4 uren boven den Atlantischen Oceaan, na 6 uren boven het eiland Haïti, na 8 uren boven de stad Mexico, na 12 uren boven het eiland Hawaï in den Stillen Oceaan, na 18 uren boven Achter-Indië, na 20 uren boven de stad Bombay, na 22 uren boven Mekka en na 24 uren weer boven de eerste plaats. Wanneer het in Berlijn middag is, is het in Mekka reeds 2 uur 's middags, in Bombay 4 uur, in Achter-Indië 6 uur 's middags, op Hawaï 12 uur middernacht, in Mexico 4 uur 'smorgens, op Haïti 6 uur 'smorgens en in Senegambië 10 uur voormiddags. De tijd is dus telkens een uur later, wanneer men op een plaats komt, die $\frac{1}{24}$ van den omtrek der aarde verder naar het Oosten ligt.

Dat geldt natuurlijk niet alleen voor de plaatsen, die de zon precies boven zich hebben, maar ook voor alle plaatsen, die ten Noorden of ten Zuiden daarvan op denzelfden meridiaan liggen. Op hetzelfde oogenblik, dat het in Berlijn, in Zweden, op Spitsbergen en aan den mond van den Kongo te gelijk 12 uur is, is het niet slechts in Achter-Indië, maar ook in Irkoetsk en op Sumatra 6 uur 's avonds, niet slechts op Hawaï, maar ook in Alaska middernacht, niet slechts op Haïti, maar ook in New-York en in Peru 6 uur 'smorgens.

Met deze verschuiving van den tijd hangt een ander eigenaardig verschijnsel samen. Toen de reisgenooten van Magelhaens, aan het eind van hun eerste reis om de wereld, op den 9den Juli 1522 bij de Kaap-Verdische eilanden dicht bij Europa aankwamen, vernamen zij, dat de menschen daar dien dag Donderdag noemden, terwijl het volgens hun dagboek eerst Woensdag 8 Juli kon zijn. De zeelieden waren zeer onthutst, dat zij zich zoo vergist hadden en dus op Goeden Vrijdag niet gevestigd en het Paaschfeest eerst op Maandag gevierd hadden. Een van de deelnemers, Pigafetta, die naderhand een beschrijving van de reis uitgaf, zeide daarin: „Mijn verbazing was des te grooter, omdat ik onderweg nooit „ziek was geweest en zonder eenige onderbreking alle dagen opgeteekend had. Wij bemerkten later, dat er toch geen vergissing „geweest was en dat wij, door steeds naar het Westen te varen „en den loop der zon te volgen, bij onze terugkomst op de plaats „van uitvaart 24 uren gewonnen moesten hebben.” Zooals uit deze woorden blijkt, waren de menschen op dit verschijnsel van te voren niet voorbereid, maar zij hebben toch spoedig de oorzaak begrepen. Wanneer iemand naar het Westen in 24 uren om de aarde zou kunnen reizen, zou hij de zon nooit uit het oog verliezen en het moest hem voorkomen, dat de tijd stilstond. Wie langzamer naar het Westen om de aarde reist, wordt wel telkens door de zon ingehaald en telt dan een dag verder, maar toch eenmaal minder dan wanneer hij thuis gebleven was; zijn dagen zijn langer dan de werkelijke dagen, maar hun aantal is één minder. Omgekeerd, wanneer hij naar het Oosten tegen de zon in reist; hij ontmoet dan de zon een keer vaker dan hij thuis zou doen en hij telt een dag te veel, omdat zijn dagen in werkelijkheid te kort zijn. De zeelieden, die om de wereld varen, moeten

daarom ergens onderweg een datum laten uitvallen, wanneer zij naar het Westen, en een datum twee keer schrijven, wanneer zij naar het Oosten varen.

Hoe rekenen daarbij nu de bewoners van de streken, waar zij onderweg aanlanden en met wie zij in datum moeten overeenstemmen? Hun datum wordt onzeker en twijfelachtig. Wanneer het in Berlijn middernacht van Donderdag op Vrijdag is, is het in Bombay Vrijdagmorgen 4 uur, in Yokohama Vrijdagmorgen 8 uur, op de Fidsji-eilanden Vrijdag voormiddag 11 uur, dus op Hawaï Vrijdagmiddag 12 uur; en tegelijk is het in Londen Donderdagavond 11 uur, in Washington Donderdagnamiddag 6 uur, in San Francisco Donderdagnamiddag 3 uur, op Tahiti kwart voor een, dus op Hawaï Donderdagnamiddag 12 uur. Dus, al naar men naar het Westen of naar het Oosten telt, vindt men voor deze Australische eilanden een verschillenden datum, Donderdag of Vrijdag. Men kan natuurlijk aannemen, wat men wil; dichter bij Amerika zal men Donderdag, dichter bij Azië zal men Vrijdag schrijven, en op een grenslijn ergens er tusschen in moet de datum een dag verspringen. De eilanden Hawaï en Tahiti, die ten Oosten, en de Fidsji-eilanden en Nieuw-Zeeland, die ten Westen van deze grens liggen, hebben nagenoeg denzelfden tijd op de klok, maar hun datum verschilt één dag.

Zoolang de menschen maar zelden buiten hun woonplaats kwamen, en de reizen naar verre landen zeer lang duurden, konden zij weinig of niets van een verschil in tijd bemerken. Iedere plaats regelde zich naar zijn eigen zonnetijd. Toen later door spoorwegen en telegraaf een snelverkeer ontstond, kwam ook de behoefte aan een algemeen geldigen eenheidstijd op. Meestal werd daartoe de tijd van de hoofdstad (Amsterdamsche of Parijsche tijd), of die van een hoofdsterrewacht (zooals in Engeland en op de Engelsche schepen de tijd van de marine-sterrewacht in Greenwich, in Rusland van de ten Zuiden van Petersburg gelegen sterrewacht in Poelkowo) voor het geheele land of in elk geval voor het spoor- en telegraafverkeer ingevoerd.

Toen echter het wereldverkeer zich meer en meer ontwikkelde, ondervond men deze verschillende nationale tijden steeds meer als een hindernis. Op een internationale konferentie, die in 1884 te Washington gehouden werd, werd daarom de Greenwich tijd,

die bij de zeevaarders van alle volken reeds lang in gebruik was, als grondslag voor een overal bruikbaren zonetijd aangenomen. De aarde werd door 24 meridianen in 24 van pool tot pool loopende strooken of zonen verdeeld; binnen elke strook zou de tijd van het midden der strook gelden, die steeds een vol aantal uren met den Greenwich tijd verschilt. Wanneer dit systeem eenmaal algemeen aangenomen is, zullen alle klokken der wereld slechts 24 verschillende tijden aanwijzen, die telkens een uur met elkaar verschillen, maar in de minuten precies overeenstemmen. De Vereenigde Staten van Noord-Amerika hadden dit systeem reeds vroeger ingevoerd; in dat land kwamen slechts 5 tijden voor, die, van het Westen naar het Oosten gaande, de Atlantische, de Oostelijke, de Centrale, de gebergte- en de Zuidzee-tijd genoemd werden, en respectievelijk 4, 5, 6, 7 en 8 uren met Greenwich verschilden. In Duitschland, Oostenrijk en Italië is de „Midden-europeesche tijd,” die een uur met Greenwich verschilt, algemeen ingevoerd. De Balkan-Statens, Egypte en Zuid-Afrika hebben een Oost-europeeschen tijd, die 2 uren met Greenwich verschilt. In vele landen verhinderen nationale en andere vooroordeelen de invoering van den wereldzomertijd, ofschoon onlangs ook in Frankrijk, dat lang tegengesparteld had, de Greenwich tijd als algemeen geldige normaaltijd ingevoerd is. In vele minder ontwikkelde landen, die nog niet sterk aan het wereldverkeer deelnemen, is de behoefte aan een wereldtijd natuurlijk nog niet voorhanden.

De voordeelen, ja de noodzakelijkheid van zulk een tijdregeling ligt bij de steeds voortschrijdende ontwikkeling van het wereldverkeer voor de hand. Daarentegen ontstaat het nadeel, dat aan de randen der zonen de tijd op de klok een half uur van den werkelijken tijd afwijkt. De werkzaamheden in school, fabriek of kantoor, die naar de klok geregeld worden, vallen daardoor 's winters of in den morgen of in den avond te veel in den tijd, dat het duister is. Dat is b.v. in Duitschland sterk merkbaar; in Oost-Pruisen gaat de zon op 21 December om 3.37 werkelijken tijd, maar reeds om 3.15 kloktijd onder, terwijl in Keulen de zon op dien dag in werkelijkheid om 8.2, naar de klok echter eerst om 8.35 opkomt.

17. DE DRAAIING DER AARDE.

Wij hebben ons nu het volgende beeld van de wereld gevormd. In het midden van het heelal bevindt zich de nagenoeg bolvormige zware aarde, op welker oppervlakte wij wonen. Op grooten afstand is zij door den hemelbol omgeven, die zich met al wat er aan vastzit, dagelijks regelmatig om de hemelas wentelt. Wij zien deze wenteling duidelijk voor onze oogen, wanneer de hemellichten opgaan, hun baan aan het uitspansel beschrijven en ondergaan.

Laten zich echter deze verschijnselen ook niet nog anders verklaren?

Wanneer men aan een station in een trein zit, waar een andere trein naast staat, gebeurt het dikwijls, dat men, wanneer een der beide treinen begint te bewegen, eerst niet weet, welke van beide beweegt en welke stilstaat. Men meent zelf al zachtjes in gang te zijn: en op eens, wanneer de andere trein ten einde is of men toevallig naar den vasten grond kijkt, bemerkt men met verbazing, dat onze trein nog rustig stilstaat. Ook omgekeerd kan het zinsbedrog volkomen zijn, zoolang onze eigen trein nog niet door het stooten zijn beweging verraadt. Worden wij onderweg door een sneller rijdenden trein ingehaald, dan kan men zich een poosje volkomen aan de illusie overgeven, dat wij den anderen kant uitrijden, om dan op eens, wanneer de andere trein voorbij is en wij aan de boomen en huizen onze werkelijke richting zien, als het ware door een schok tot de werkelijkheid teruggeroepen te worden.

Door zulke ondervindingen wordt het ons duidelijk, dat wij uit de betrekkelijke beweging van twee voorwerpen ten opzichte van elkaar, wanneer er geen andere bij zijn, in het geheel niet kunnen vinden, hoe elk afzonderlijk zich beweegt. Gesteld dat de vaste aarde met rails, huizen en boomen er niet was, dat ze wegge-tooverd of geheel onzichtbaar was — zooals bij een nachtelijke treinreis over een eenzame vlakte — dan was het ons ook met den besten wil van de wereld niet mogelijk, bij een ontmoeting met een anderen trein te zeggen, hoe onze trein en hoe de andere in werkelijkheid beweegt. Wij kunnen alleen maar zeggen: met betrekking tot ons beweegt de andere 5 Meter per sekonde naar rechts. Wij zouden evengoed kunnen zeggen, dat wij, met betrek-

king tot hem, 5 meter per sekonde naar links rijden. Het zou ook kunnen zijn, dat de andere trein met een snelheid van 20 Meter en de onze met een van 15 Meter naar rechts rijdt, zoodat hij ons inhaalt, of ook, dat de onze 30 Meter en de andere 25 Meter per sekonde naar links rijdt en wij hem dus inhalen. Of ook was het mogelijk, dat de andere 3 Meter per sekonde naar rechts en de onze 2 Meter naar links rijdt, zoodat dus de treinen elkaar kruisen. Dat alles is mogelijk en de eene uitdrukking is precies zooveel waard als de andere. Zoolang wij niets anders kunnen zien dan alleen dien anderen trein, hebben wij geen enkel aanknoopingspunt om uit te maken, hoe de beweging van elk der treinen ten opzichte van den vasten grond is; wij kunnen alleen hun betrekkelijke, hun relatieve beweging vaststellen. Uit de beweging, die wij bij een voorwerp waarnemen, kunnen wij alleen maar zijn relatieve beweging ten opzichte van ons leeren kennen, zonder over zijn of onze absolute beweging iets te kunnen zeggen. Wat wij bij den trein absolute beweging noemen, is ten slotte ook niets anders dan de beweging ten opzichte van de vaste aarde, die wij in ons dagelijksch leven als den vasten, rustenden grondslag voor alle beweging aannemen.

Van deze omstandigheid wordt somtijds op kermissen gebruik gemaakt voor een of andere op zinsbedrog berustende grappenmakerij. Men gaat in een schommel zitten, die aan het schommel melen gebracht wordt. Dan wordt echter, terwijl de schommel steeds langzamer beweegt, de omgeving — een kamer met vloer, waarop vastgespijkerde stoelen en tafels, met muur en zoldering — in tegengestelde schommelingen gebracht. De menschen in den schommel zijn dan vast overtuigd, dat zij steeds sneller heen en weer vliegen, hoewel de schommel reeds lang stilhangt. En wanneer dan ten slotte de heele kamer eenmaal over hun hoofd gedraaid wordt, meenen zij, dat zij zelf met den schommel rondgeslingerd worden, en klemmen zich angstig gillende vast, om niet naar beneden te vallen. Natuurlijk; hun oogen hadden geen ander rustpunt dan den vloer, de muren en de zoldering van de kamer; zij konden dus niet uitmaken, wat zich bewoog, de schommel of de kamer; en omdat zij het als vanzelfsprekend beschouwden, dat de kamer vaststond, kregen zij zelfs door de

macht van de suggestie dezelfde lichamelijke gewaarwordingen alsof zij woest heen en weer schommelden.

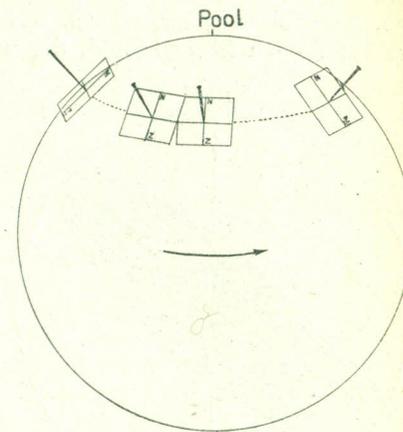
Iets dergelijks zou men hebben, wanneer men om een draaimolen een om dezelfde as draaibare, ballonvormige tent zoo spande, dat de grond en alles wat vast is, bedekt werd. Wordt dan, terwijl de draaimolen langzamer gaat draaien en eindelijk stilstaat, de tent om haar heen in tegengestelde draaiing gebracht, dan moet hetzelfde zinsbedrog ontstaan. Aan de menschen in den draaimolen is het eenvoudig onmogelijk om uit dat, wat zij zien, op te maken, of de draaimolen met henzelf naar den eenen kant, of de tent naar den anderen kant draait. Hun geheele zichtbare wereld bestaat uit deze beide dingen: draaimolen en tent, die zich ten opzichte van elkaar bewegen. Zij zien de tent om zich heen draaien, maar zij kunnen niet meer konstateeren dan dit enkele feit van de relatieve beweging. Of dit verschijnsel van beweging door een draaiing van den draaimolen of van de tent of van allebei ontstaat, is niet uit te maken.

Dit voorbeeld gelijkt al sprekend op het geval van hemel en aarde. De aarde is de draaimolen, de hemel de ballonvormige tent, die wij om ons heen zien draaien: zoo blijkt hier meteen de mogelijkheid van een nieuwe verklaring voor de dagelijksche draaiing van den hemel. Wat wij als draaiing van den hemel van het Oosten naar het Westen waarnemen, kan evengoed hierdoor teweeggebracht worden, dat de hemel in rust is en de aarde zich in tegengestelde richting, van het Westen naar het Oosten, draait. Het verschil met ons draaimolenvoorbeeld ligt hierin, dat hemel en aarde te zamen werkelijk de geheele wereld zijn; buiten hen is er niets anders meer, dat als vast punt dienen kan, om uit te maken, wie zich beweegt en wie in rust is. En uit hun betrekkelijke beweging ten opzichte van elkaar, die wij tot nu toe als draaiing van den hemel betitelden, laat zich over de werkelijke beweging niets beslissen.

Dat deze beide verklaringen: een draaiing van den hemel of een draaiing van de aarde om de as, die door de beide hemelpolen, dus ook door de beide aardpolen gaat, volkomen gelijkwaardig zijn en precies dezelfde verschijnselen moeten bewerken, daarvan kan men zich gemakkelijk overtuigen. Wanneer iemand

zich aan de Noordpool bevindt, ziet hij den halven hemelbol als een hangende koepel om een rechtopstaande as langzaam rechtsom draaien. Precies hetzelfde moet plaats vinden, wanneer deze hemelkoepel stil hangt en het aardoppervlak onder zijn voeten met alles, wat daarop staat, als een reusachtige draaischijf om een recht naar beneden gaande as, langzaam naar links draait. Ook in dit geval wandelen alle voorwerpen, die rondom aan den horizon te zien zijn, achter elkaar aan onder de zon door, of wel wandelt de zon boven hen allen langs, al naar men het noemen wil.

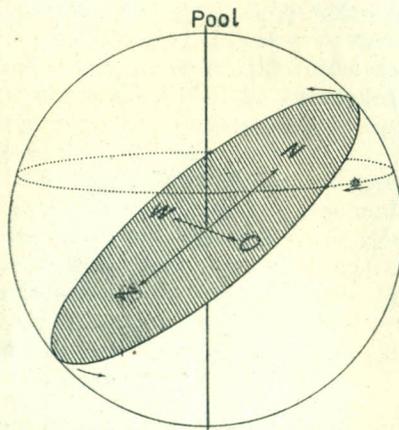
Voor andere plaatsen van de aarde is de zaak iets ingewikkelder, omdat daar onze standplaats zelf door de draaiing van de aarde beweegt. Wil men zich de verschijnselen, die hier optreden, goed duidelijk maken, dan doet men het best, wanneer men een kleinen houten bal neemt (b.v. een maasbal), die de aarde voorstelt, en daar een spijker als omwentelingsas doorheen slaat. De voorwerpen



Aardbol met horizon.

in de kamer, de muur, de zoldering, kunnen daarbij de verwijderde hemellichamen voorstellen. Legt men een stijf blad papier tegen den bal aan en steekt het met een speld vast, dan stelt de speld de richting van het schietlood, en het papier den horizon van de plaats op aarde voor, waar de speld vastzit. Het blad papier is de voortzetting van het kleine cirkeltje op aarde, dat in deze plaats den werkelijken horizon vormt; alles wat zich boven het blad papier bevindt is voor iemand op die plaats zichtbaar, alles wat er onder ligt onzichtbaar. Is nu de aarde in rust, dan stijgen aan den eenen kant, in het Oosten, door de draaiing van den hemel de hemellichamen boven dit vlak omhoog, en dalen zij aan den anderen kant in het Westen er onder. Nu nemen wij echter omgekeerd aan, dat de hemellichamen in de omgeving stilstaan en

dat de aarde naar links draait. Het blad papier verandert door die draaiing zijn stand ten opzichte van de omgevende dingen; en deze krijgen dus ook een anderen stand ten opzichte van het vlak van het papier, den horizon. Aan den kant, waar de beweging heen gaat, daalt dit vlak van den horizon; voorwerpen, die er te voren onder lagen, rijzen schijnbaar omhoog en worden zichtbaar. Aan den anderen, westelijken kant, die na komt, gaat het vlak omhoog en bedekt de sterren, die zich te voren er boven bevonden. Tegelijk merken wij op, dat het vlak daarbij zelf ook linksom draait; de lijn Noord-Zuid, die wij op ons blad geteekend hebben,



Hemelbol met horizon.

en die naar bepaalde voorwerpen van onzen zichtbaren horizon gericht is, beweegt zich onder de sterren in het Zuiden en het Noorden door. Daardoor schijnen deze sterren zelf naar rechts te loopen en gaan de hemellichamen in het Oosten schuin op en in het Westen schuin onder — dus volkomen de verschijnselen, die wij in werkelijkheid ook waarnemen. Denken wij ons nu dit horizonvlak tot aan den hemelbol doorgetrokken, zooals in de nevenstaande figuur, waar de bol nu den hemel voorstelt, dan wordt het tot een wand, die de wereldruimte in twee helften scheidt — want de aarde, waaraan hij vastzit, is onmerkbaar klein — en ook den hemelbol door zijn cirkelvormigen omtrek in een zichtbare en een onzichtbare helft verdeelt. Naar onze eerste opvatting draait de hemelbol om de wereldas rond, waardoor de sterren boven dezen rustenden wand in schuine richting omhoog stijgen, in het Zuiden het hoogst staan en in het Westen achter hem verdwijnen. Volgens de nieuwe verklaring staat de hemelbol stil, en draait de scheidingswand met de wereldas, waar hij scheef aan vastzit, naar links en in het rond, op dezelfde manier als een potlood, dat men scheef door een rond

blad papier steekt en dan tusschen de vingers rolt, dit papier mee in het rond draait. De omtrek van den wand (de horizon) strijkt daarbij tweemaal over een ster heen, eenmaal bij het opkomen, eenmaal bij het ondergaan. Op deze manier blijkt nog duidelijker, dat beide verklaringen precies op hetzelfde neerkomen, en dat het voor de beschrijving en de verklaring van de hemelverschijnselen egaal is, of men het een of het ander aanneemt.

Uit de hemelverschijnselen kunnen wij niet beslissen, welke van de beide verklaringen de juiste is, want voor hun beschrijving komen zij volkomen op hetzelfde neer. Om tusschen hen te kiezen en te beslissen, welke de ware is, moeten wij andere waarnemingen en overwegingen te hulp roepen.

18. DE STRIJD OVER DE BEWEGING DER AARDE.

De nieuwe verklaring heeft op de oude dit voor, dat zij ons wereldbeeld veel eenvoudiger maakt. Daar de hemel, vergeleken met de aarde, onmetelijk groot is, zou hij met een buitengewone, nauwelijks denkbare snelheid in het rond moeten vliegen, terwijl voor de aarde een veel kleinere snelheid voldoende zou zijn. Daar komt nog bij, dat verschillende hemellichamen een dubbele beweging hebben; terwijl zij zich met betrekking tot den hemel in eigen loopbanen bewegen, dus niet vastzitten, nemen zij toch deel aan zijn dagelijksche draaiing om de hemelas. Wij weten, dat de maan zich veel dichterbij de aarde bevindt dan de andere hemellichamen, en toch wordt zij door den zooveel verder verwijderden hemelbol in zijn wenteling meegevoerd. Daarin behoeft nu weliswaar geen onmogelijkheid voor de oude verklaring te liggen. Men stelde zich de zaak zoo voor, dat het gebied van den hemel, het rijk van den aether, zich van de grens van den dampkring tot aan den hemelbol uitstrekt, en dat de geheele inhoud van dit gebied door de buitenste schaal in haar snelle wenteling meegesleept wordt. Maar de nieuwe verklaring is toch aanmerkelijk veel eenvoudiger. Nemen wij haar aan, dan is de dagelijksche beweging slechts schijn: de hemel en de sterren staan stil, en de zon en de maan hebben

slechts één enkele beweging, waardoor, de een in een jaar, de ander in een maand, hun eigen banen om de aarde beschrijven. De groote nabijheid van de maan kan nu niet de geringste moeilijkheid meer opleveren.

Daartegenover spreekt ten gunste van de oude verklaring en als bezwaar tegen de nieuwe, dat wij van een beweging van de aarde onder onze voeten in het geheel niets bemerken. Wanneer het waar is, dat de aarde om haar as draait, dan moet een plaats aan den evenaar in 24 uren den geheelen omtrek der aarde, 40 millioen meter, doorloopen, dus (daar 24 uren = 86400 sekonden is) een snelheid van 463 meter per sekonde bezitten, 10 tot 20 maal grooter dan die der snelste spoortreinen. Zouden wij met onze geheele omgeving in zulk een onbegrijpelijk razende vaart kunnen voortvliegen, zonder er iets van te merken?

Dat dit bezwaar echter niet afdoende is, moesten reeds de oude Grieken bemerken. Op hun tochten over zee konden zij er zich van overtuigen, dat een nog zoo snelle beweging van het schip, mits zij maar gelijkmatig en rustig plaats vindt, in het geheel niet te voelen is. In de kajuit, waar alles, wat men ziet, mee beweegt, kan men niet uitmaken, of het schip vaart, tenzij aan de onregelmatigheden van de beweging; alleen het langzamer of sneller varen, het stooten, stampen of slingeren is waar te nemen. Evenzoo worden wij van de vliegende vaart van een sneltrein, waarin wij zitten, alleen door het voortdurende stooten en schudden en nu en dan bij scherpe bochten iets gewaar; lezen wij een poosje in een boek zonder naar buiten te kijken, dan weten wij dikwijls volstrekt niet, of wij vooruit of achteruit rijden. Daaruit blijkt, dat wij de beweging zelf niet kunnen voelen, maar alleen hare veranderingen en onregelmatigheden. Daar de draaiing der aarde natuurlijk volkomen rustig, zonder de geringste onregelmatigheid, plaats vindt, moeten wij er ondanks de reusachtige snelheid niets van kunnen voelen.

Het is daarom licht begrijpelijk, dat deze nieuwe gedachte, dat niet de hemel, maar de aarde dagelijks rondwentelt, reeds bij eenige Grieksche denkers der oudheid opkwam. Dat de filosoof Plato in zijn latere werken deze opvatting gehuldigd heeft, zooals dikwijls

aangenomen wordt, schijnt op een onjuiste uitlegging der betreffende zinswendingen te berusten. Met groote stelligheid schrijven echter latere auteurs aan zijn leerling Herakleides van Pontus, een beroemd tijdgenoot van Aristoteles, deze leer van de draaiing der aarde toe. Daarentegen verdedigt Aristoteles de tegengestelde opvatting, die beter bij het geheel van zijn natuurleer paste. Hij wist, dat zware lichamen veel moeilijker in beweging te brengen, dus veel trager zijn dan lichte; daarom past de rust voor de zware, de beweging voor de lichte elementen, en de aarde bestaat juist uit de opeenhooping van alle zware materie in het middelpunt der wereld. „De natuurlijke beweging van de deelen der aarde en dus „ook van de geheele aarde is naar het centrum der wereld gericht; „daarom is het duidelijk, dat de aarde noodzakelijk onbeweeglijk „in het centrum in rust moet zijn.”

Later hebben zich nog wel eenigen onder de wijsgeeren der oudheid voor de draaiing der aarde uitgesproken, maar hun geschriften en hun argumenten zijn ons niet bewaard gebleven. Den meesten lateren geleerden, met name dien van de Alexandrijnsche school, was het minder om vernuftige verklaringen en theorieën te doen, dan wél om een nauwkeurige vaststelling van de verschijnselen. Van een der geleerden uit dien tijd, Posidonius, vermeldt een later schrijver de uitspraak: „De natuurkunde bewijst de oorzaken en „de werkende krachten; de sterrekunde is niet in staat het wezen „der dingen te doorgronden en stelt zich daarom tevreden de „uiterlijke verschijnselen aan te wijzen. . . Aan den natuurkundige „blijft het vraagstuk overgelaten onder de theorieën, die in staat „zijn de bewegingen te verklaren, diegene uit te kiezen, die met „de natuurkundige beginselen der wereld in overeenstemming is. „Aan den astronoom is het onverschillig te weten, wat vast is en „wat zich beweegt; voor hem is iedere theorie aannemelijk, die „de verschijnselen goed weergeeft.” Hier wordt de reden duidelijk, waarom de leer van de rustende aarde de meeste instemming vond; de natuurkunde van Aristoteles, die uit de verschijnselen op aarde afgeleid was, gaf den doorslag.

Dit geldt ook voor het groote werk, waarin Claudius Ptolemaeus aan het einde der oudheid (150 n. Chr.) de uitkomsten der Grieksche wetenschap samenvatte, een werk, dat meest in een mengelmoes van Arabisch en Grieksch met *Almagest*

betiteld wordt, en dat de geheele sterrekunde in de Middeleeuwen tot aan de 17^{de} eeuw heeft beheerscht. Ptolemaeus weet, dat eenige denkers de draaiing van de aarde leerden, maar hij kan zich daarmee niet vereenigen en bestrijdt hun meening. Welke gronden voert hij aan?

„Sommigen zijn van meening, dat niets hen belet te veronderstellen, dat de hemel stilstaat en dat de aarde in ongeveer een „dag van het Westen naar het Oosten wentelt. Wat de verschijnselen der sterren aangaat, is het waar, dat er waarschijnlijk niets tegen zou zijn voor de eenvoudigheid dit aan te nemen. Maar „zij bemerken niet, hoe buitengewoon belachelijk zoo iets zou zijn, „wanneer men op de verschijnselen om ons heen en in de lucht „let. Naar hun meening zou, wat tegen de natuur is, het ijlste en „lichtste element (nl. de aether) òf in het geheel niet bewegen, òf „evenzoo als de andere aardsche dingen, terwijl de minder ijle „dampkring blijkbaar een snellere vaart zou hebben dan de aarde. „Ook zouden de grofste en zwaarste dingen een eigen sterke en „blijvende beweging hebben, terwijl toch omgekeerd het zware „aardsche, zooals ieder weet, moeilijk in beweging te brengen is. „Wanneer wij hun dat ook zouden willen toegeven, dan zouden „zij ons toch moeten toestemmen, dat de draaiing van het aard- „oppervlak veel heviger zou zijn dan alle mogelijke bewegingen, „die op haar plaats vinden, en dat zij in korten tijd zulk een „grootte plaatsverandering zou ondergaan, dat alles, wat niet op „haar steunt, steeds maar een enkele beweging zou schijnen te „bezitten, tegengesteld aan die der aarde. En men zou nooit een „wolk naar het Oosten kunnen zien gaan, noch iets anders, wat „vliegt of geworpen wordt, want de aarde zou hun steeds vóór „zijn en in de beweging naar het Oosten de leiding nemen, zoodat „al het andere zou achterblijven en naar het Westen schijnen „terug te wijken.

„Wanneer zij echter zeggen, dat met de aarde ook de lucht met „dezelfde snelheid rondgevoerd wordt, dan zou men toch evenzeer „de vaste lichamen in de lucht bij beide moeten zien achterblijven. „Of wel, wanneer zij meegesleept worden, als waren zij vast met „de lucht verbonden, dan zou men geen van hen ooit vóóruit of „achteruit zien gaan, maar zij zouden steeds op dezelfde plaats „blijven, en al wat vliegt of geworpen wordt zou niet van zijn

„plaats kunnen komen. En toch zien wij deze bewegingen duidelijk „plaats vinden, juist zoo, alsof er geen beweging der aarde is, die „ze tegenhoudt of versnelt.”

Dit zijn de tegenwerpingen, die Ptolemaeus tegen de draaiing der aarde maakt. Een bouw van het heelal, waarbij het buitenste fijnste element, de hemelsche aether in rust is, de daarop volgende lucht het snelst en de vaste zware aarde binnenin langzamer ronddraait, komt hem ongeloofelijk voor, wanneer hij daarmee de eenvoudige wet van de beweging der elementen volgens Aristoteles vergelijkt. Bovendien is een snelle beweging van de aarde niet te vereenigen met het feit, dat zware dingen zoo moeilijk beweegbaar zijn. Nu wil hij deze filosofische bezwaren niet al te zwaar laten wegen; maar beslissend is voor hem, dat de snel voortvliegende aardoppervlakte alles achter zich zou laten, wat niet vast aan haar zit, tenzij het door de lucht met geweld, als het ware tusschen planken geklemd, meegesleurd werd.

Deze tegenwerpingen werden vele eeuwen lang als afdoende beschouwd. Dat kon ook niet anders, zoolang de eenvoudige, primitieve ervaringen, waarop zij berusten, niet voor betere en grondigere waarnemingen plaats gemaakt hadden. Daartoe was echter vooreerst de tijd niet gunstig. Toen Ptolemaeus zijn werk schreef, naderde de oude wereld reeds haar ondergang, en vele eeuwen van oorlog en volksverhuizing, van ontwikkeling van arbeid en bedrijf en stil opbouwen van nieuwe toestanden moesten voorbigaan vóór een nieuwe beschaving kon opkomen. Het eerst kwam het Oosten, waar het peil van ontwikkeling het hoogst gebleven was, weer tot bloei. Daar ontwaakte na de veroveringen der Arabieren, in het centrum van het nieuwe wereldrijk, aan het hof der Chaliefen van Bagdad, met handel, handwerk en verfijnde beschaving ook de zin voor kunst en wetenschap, die zich later, na het uiteenvallen van het Chaliefenrijk, naar verwijderde middelpunten, zooals Cordova in Spanje, Merghab in Perzië en Samarkand in Toerkestan, overplante. De Arabische geleerden vertaalden de wetenschappelijke werken der Oudheid, deden nieuwe waarnemingen en ontdekten nieuwe verschijnselen, maar boven de algemeene opvattingen der ouden verhieven zij zich niet. Zij waren niet zoozeer zelfstandige denkers en wijsgeeren, als wel degelijke onderzoekers; met eerbied bestudeerden zij de oude wetenschap en

kwamen er niet toe, deze doornieuwe eigen theorieën omver te werpen.

Anders ging het, toen vele eeuwen later in de Europeesche wereld handel en bedrijf, burgerij en steden opgekomen waren, en daarmee ook een steeds sterkere behoefte aan klassieke beschaving, aan wetenschap en kennis ontstond. Uit de geschriften der oudheid, die eerst uit het Arabisch, later uit het Grieksch vertaald werden, putten de geleerden der 15^{de} eeuw hun eerste wis- en sterrekundige wetenschap. Onder hen was de beroemdste Johan uit Koningsberg (een dorp in Franken), naar het gebruik dier tijden Regiomontanus (d. i. de Koningsberger) genoemd, die zich afwisselend in Italië en in Neurenberg ophield, en overal zocht naar goede handschriften van den Almagest van Ptolemaeus, om van dit werk, evenals van andere belangrijke geschriften, door de pas uitgevonden boekdrukkunst een uitgave gereed te maken. Zoo werd de grondslag voor de mathematische studiën in Europa gelegd. Maar naarmate de geleerden hier dieper en beter in de oude theorieën doordrongen en nieuwe waarnemingen deden, voelden zij er zich steeds minder door bevredigd; nieuwe derkbeelden traden hier en daar reeds op, in plaats van het overgeleverde wereldbeeld. De beslissende stap werd in de 16^{de} eeuw door Nicolaus Copernicus gedaan, een geleerd geestelijke in de Poolsche stad Frauenburg, in het tegenwoordige Oost-Pruisen. In zijn werk „Over de baanbewegingen” (De revolutionibus), dat in 1543, zijn eigen sterfjaar, verscheen, brak hij geheel en al met de oude opvatting en bouwde hij de beweging der hemellichamen op geheel nieuwe principes op. Een van deze principes bestond hierin, dat hij de schijnbare draaiing des hemels door de aswenteling der aarde verklaarde en den hemel liet stilstaan.

Nadat hij eerst bewijst, dat de hemel onmetelijk groot en de aarde daarbij vergeleken niet meer dan een punt is, gaat hij voort: „het zou ons toch zeer moeten bevreemden, wanneer deze „zoo onmetelijk uitgestrekte wereld zich lichter in 24 uren in de „ruimte zou bewegen, dan de aarde, die slechts een zeer klein „deel van haar is.” Dan voert hij de gronden aan, waarop Aristoteles en Ptolemaeus zich beriepen voor hun meening, dat de aarde in het midden van de wereld in rust is, en hij weerlegt ze op de volgende wijze:

„Wanneer iemand van meening is, dat de aarde draait, dan „zal hij ook zeggen, dat deze beweging een natuurlijke en niet „een gewelddadige is. Wat echter volgens de natuur gebeurt, „heeft een uitwerking tegengesteld aan dat, wat door geweld „plaats vindt. Dingen, waarop geweld of een uiterlijke kracht „uitge oefend wordt, moeten noodzakelijk stuk gaan en kunnen „niet lang in stand blijven; wat echter van nature geschiedt, gaat „goed en blijft in den besten samenhang. Ten onrechte vreest „daarom Ptolemaeus, dat de aarde en al het aardsche uit elkaar „zal vliegen bij de uit de natuur voortkomende omwenteling, daar „toch de werking van de natuur geheel anders is dan die van de „kunst en dan wat door het menschelijk vernuft tot stand gebracht „wordt. Waarom echter vreest hij dit niet nog veel meer van de „wereld, wier beweging evenzooveel sneller zou moeten zijn, als „de hemel grooter is dan de aarde?... Zeker is het, dat de „aarde tusschen haar polen ingesloten door een bolvormig opper- „vlak begrensd wordt. Waarom zullen wij dan aarzelen, haar die „beweging toe te kennen, die van nature bij haar vorm behoort, in plaats „van aan te nemen, dat de geheele wereld beweegt, wier grens „wij niet kennen en niet kunnen kennen? En waarom zullen wij „niet erkennen, dat van de dagelijksche omwenteling de schijn „aan den hemel toekomt, en de werkelijkheid aan de aarde? En „dat het hiermee dus evenzoo is, als Aeneas bij Virgilius zegt: „„Wij varen uit de haven en de landen en de steden wijken terug” „— omdat, wanneer een schip rustig vaart, alles wat daarbuiten „is aan de schippers toeschijnt naar het beeld van de beweging „van het schip te bewegen, terwijl deze, daartegenover, zichzelf „met alles wat bij hen is in rust achten. Zoo zou het zonder „twijfel ook met de beweging van de aarde kunnen zijn, terwijl „men meent, dat de geheele wereld ronddraait.

„Wat zullen wij nu echter van de wolken zeggen en van de „andere dingen, die op de een of andere manier in de lucht „zweven, of vallen of naar boven stijgen? Alleen dit, dat niet „slechts de aarde en het met haar verbondene waterige element „zoo beweegt, maar ook een niet gering deel van de lucht en wat „verder nog op dezelfde manier met de aarde verwant is — „hetzij dat de benedenste luchtlagen, met aardachtige of water- „achtige materie vermengd, zich op dezelfde wijze als de aarde

„gedragen, hetzij dat de lucht deze beweging gekregen heeft en „door de aanraking met de aarde en door haar weerstand aan „de voortdurende omwenteling deelneemt. Daartegenover wordt „er nu met verbazing op gewezen, dat de hoogste streken der „lucht de beweging des hemels volgen, zooals die plotseling ver- „schijnende sterren bewijzen, die door de Grieken kometen of „baardsterren genoemd werden, voor wier ontstaan die streken „aangenomen worden, en die evenals de andere sterren opkomen „en ondergaan. Wij kunnen zeggen, dat dit gedeelte van de „lucht, omdat het zoo ver van de aarde verwijderd is, van de „aardsche beweging vrij gebleven is. Daarom schijnt de lucht, „die het dichtst bij de aarde is, in rust, evenals ook wat daarin „zweeft, wanneer het niet door den wind of door een andere „kracht al naar het toeval her- of derwaarts bewogen wordt. „Want wat is de wind in de lucht anders dan de vloed in de „zee? . . . Er komt nog bij, dat de toestand van onbeweeglijkheid „voor edeler en goddelijker gehouden wordt, dan die der ver- „andering en der onbestendigheid, welke laatste daarom meer „voor de aarde dan voor de wereld past. Ik voeg er nog bij, „dat het nogal onzinnig schijnt aan het omvattende geheel een „beweging toe te schrijven en niet liever aan het daarin bevatte „deel, de aarde . . . Men ziet dus, dat naar dit alles de beweeg- „lijkheid van de aarde waarschijnlijker is dan haar rust, vooral „wat betreft haar dagelijksche omwenteling, die de aarde het „meest eigen is.”

Dit zijn de gronden, die Copernicus voor de draaiing der aarde en tegen de meening van Ptolemaeus aanvoert. Er is geen enkele bij, die op nieuwe, in de oudheid onbekende feiten berust; hetzij hij betoogt, dat de beweging van de aarde een natuurlijke en geen kunstmatige of gedwongene beweging is, of dat aan de aarde als bol van nature een draaiing toekomt, of dat zij minder volkomen is dan de hemel — altijd blijven zijn argumenten geheel in den gedachtengang van de klassieke natuurfilosofie. Het tijdperk der Renaissance, waarin Copernicus leefde, het begin der 16^{de} eeuw, was nog geheel met den geest der antieke wereld doortrokken. De Renaissance beteekende ook niets anders dan een weer opleven van de wetenschap, van de kunst en van de geheele blijde levensopvatting en kultuur der oude Grieken en Romeinen; aan een

revolutie van de grondslagen van leven en denken dacht nog niemand. Copernicus kon zich voor zijn nieuwe opvatting alleen op de hemelverschijnselen beroepen, door er op te wijzen hoeveel eenvoudiger, natuurlijker en begrijpelijker de bouw van het heelal daardoor werd. Hij kon de oude tegenwerpingen niet afdoende weerleggen, want daartoe moesten eerst voor de wetenschap der natuurkunde nieuwe grondslagen gelegd worden; zoolang had hij dus de autoriteit der geldende wetenschap tegen zich. Daarom waren de meeningen onder de geleerden der 16^{de} eeuw dan ook zeer verdeeld. Daar de sterrekunde vooral door de praktische behoeften der zeevaart tot het verzamelen van steeds meer ervaringen en tot waarneming der natuur zelf voortgedreven werd, was hier de geest voor nieuwe denkbeelden ontvankelijk. Daarentegen beheerschte de oude natuurfilosofie van Aristoteles, door de autoriteit der kerk gesteund, nog gedurende de geheele 16^{de} eeuw de hoogeschole en stond de nieuwe leer vijandig in den weg. Eerst in de tweede helft van deze eeuw begon hier en daar in Italië en Holland praktische proefneming en kritiek der oude leer op te komen. En eindelijk bracht het begin van de 17^{de} eeuw een volslagen ommekeer der wereldbeschouwing, die vooral met den naam van den Italiaanschen geleerde Galileo Galilei verbonden is. Uit de ervaring, uit proefnemingen en beschouwingen, waartoe voor een deel de strijd over de beweging der aarde zelf aanleiding gaf, ontwikkelden zich voor het eerst juiste en heldere opvattingen over beweging en rust, die het oude wereldbeeld van Aristoteles omverwierpen en de moderne natuurwetenschap inleidden. Zij toonden voorgoed de ongegrondheid der vroegere tegenwerpingen tegen de beweging der aarde aan.

19. BEWEGING EN RUST.

Wanneer een bal over den grond rolt, zien wij dat zijn beweging steeds langzamer wordt en dat hij eindelijk stil blijft liggen. Bringen wij een tol aan het draaien, dan zien wij, dat hij steeds langzamer gaat draaien en ten slotte omvalt. Het allereerst ligt het nu voor de hand, daaruit te besluiten, dat rust de natuurlijke

toestand der dingen is, waarnaar zij alle streven, en dat elke beweging, wanneer zij niet telkens door een voortstuwende kracht onderhouden wordt, vanzelf geleidelijk uitdooft. Beschouwt men de zaak echter nader, dan bemerkt men, dat de bal des te eerder blijft liggen, naarmate de grond ruwer is. Is de grond zeer hobbelig en ongelijk, dan houdt de beweging spoedig op; neemt men daarentegen een zeer gladden bal en een gladden vloer, zoodat de beweging zoo weinig mogelijk door oneffenheden gehinderd wordt, dan is van een vermindering der beweging nauwelijks iets te bespeuren. Een aan zich zelf overgelaten spoorwagen kan op de rails soms mijlen ver voortrollen zonder te verlangzamen; op een gewonen straatweg zou hij echter niet veel verder dan een paar meter komen. Ook een tol draait des te langer naarmate de grond en de punt gladder zijn. Worden de assen van een wiel zoo ingericht, dat de wrijving zoo goed als geheel verdwijnt, dan kan het rad uren lang draaien, zonder merkbaar te vertragen.

Uit zulke ervaringen wordt het ons duidelijk, dat het spoedig ophouden der beweging over een ongelijken grond eenvoudig uit den tegenstand ontstaat, dien de oneffenheden van den grond aan de beweging bieden. Maar geldt dat nu ook niet, wanneer de bal op een gladden vloer, de spoorwagen op de rails of het wiel met zijn kogelassen slechts uiterst langzaam de beweging verliest? Want ook hier zijn de weerstanden niet geheel en al afwezig; het ligt dus voor de hand om in de kleine, overgebleven wrijvingen de oorzaak voor het langzame uitdooven der beweging te zoeken. Konden wij de wrijving nog meer verminderen, dan zou de beweging zonder twijfel nog veel minder verlangzamen. Geheel en al opheffen kunnen wij nu bij onze proeven die weerstanden niet, want alles, wat wij op aarde in beweging brengen, blijft op een of andere manier met iets anders in aanraking. Maar wij hebben toch het recht naar al deze feiten de overblijvende zwakke vertraging van alle beweging aan de overgebleven wrijving toe te schrijven, die wij niet kunnen opheffen. En wij mogen daaruit besluiten, dat, als er geen weerstand is, de beweging steeds dezelfde blijft, zonder te vertragen en ten slotte op te houden. Dat geldt voor zware lichamen evenzeer als voor lichte, voor den spoorwagen zoo goed als voor den bal, voor de zware aarde zoo goed als voor een tol. Hebben zij een-

maal hun beweging, al is zij nog zoo snel, dan behouden zij die onverminderd, zoolang geen weerstand optreedt, die hen remt. Een voortdurende drijvende kracht om de beweging in stand te houden is alleen noodig om, zooals bij onze machines, de wrijvingsweerstand te overwinnen.

Wanneer dus in de oudheid gezegd werd, dat zware lichamen moeilijker en langzamer bewegen dan lichte, even alsof hun het bewegen meer moeite kost, zoo is dat onjuist. In beweging blijven kost geen moeite. Wat moeite kost, is in beweging komen, en dat is het ook, wat men bedoelde zonder het scherp van elkaar te onderscheiden. Om een zwaar voorwerp in beweging te brengen, is een veel grootere krachtsinspanning noodig dan bij een licht voorwerp. Een stoot, die een klein wagentje in groote vaart doet wegvliegen, kan een spoorwagen nauwelijks van zijn plaats brengen; met dezelfde inspanning, waarmee men een kleinen steen ver weg-slingert, kan men een zwaren steen nauwelijks een paar meter voortwerpen. Maar evenzoo kost het een groote inspanning een zwaar voorwerp, dat zich beweegt, in rust te brengen; een bal, die aan komt vliegen, vangt men met de hand gemakkelijk op, maar een langzaam rollenden spoorwagen kan één man met zijn geheele lichaamskracht niet tegenhouden; hij wordt eenvoudig door de zware massa teruggeduwd en, als hij niet oppast, verpletterd. Uit deze feiten is te zien, dat elke verandering van eenmaal voorhanden beweging of rust moeite kost; aan zichzelf overgelaten behoudt ieder ding, licht of zwaar, de beweging die het heeft, moge die beweging nu snel, langzaam of niemendal zijn. En deze moeite zal des te grooter zijn, naarmate het lichaam zwaarder is; dezelfde krachtsinspanning heeft des te grooter uitwerking, hoe lichter het voorwerp is. Om bij verschillende voorwerpen dezelfde verandering van de voorhanden beweging (of rust) te bewerken, is een des te grootere kracht noodig, naarmate het voorwerp zwaarder is.

De fout van de oude opvatting ligt dus in de meening, dat alle dingen een zekere traagheid bezitten, die zich tegen de beweging verzet en hen in rust tracht te brengen, omdat dit hun natuurlijke toestand is. Zoo wordt het begrijpelijk, waarom Ptolemaeus, en na hem vele anderen telkens opnieuw in andere bewoordingen tegen

de beweging van de aarde aanvoeren, dat de vogels en de wolken zouden moeten achterblijven, terwijl het aardoppervlak met de boomen en de nesten in vliegende vaart onder hen wegijlt. Wij weten nu, dat men van een traagheid van alle voorwerpen slechts in dien zin spreken kan, dat zij zich tegen elke verandering van hun beweging verzetten, en dat zij zonder inwerking van buiten, aan zichzelf overgelaten, hun beweging behouden. Een vogel, die op een tak zit, rent evenals een mensch, die op den grond staat, met de aardoppervlakte in een razend snel tempo voort. Vliegt de vogel op of doet de mensch een sprong in de hoogte, dan behouden zij die groote snelheid, die ze met de aarde, den boom en den tak deelden, en zij blijven dus van zelf boven of vlak bij de plaats op aarde, waar zij te voren waren. Zij verkeeren in hetzelfde geval, als een ruiter in het cirkus, die omhoog springt, terwijl zijn paard voortrent; hij komt niet achter het paard op den grond neer, maar, omdat hij gedurende zijn sprong dezelfde beweging behoudt, blijft hij boven den rug van het paard en komt ook weer daarop neer.

Wanneer dus een samenstel van vele voorwerpen een regelmatig, gemeenschappelijke beweging bezit, al is deze nog zoo snel, dan vinden de aparte bewegingen van de voorwerpen ten opzichte van elkaar precies zóó plaats, alsof het geheel zich in rust bevindt. Dat dit zoo is, daarvan kan ieder zich gemakkelijk op een stoomboot — of ook in een trein — overtuigen. Gaat men in de kajuit — want boven op het dek neemt de lucht geen deel aan de beweging van de boot — dan ziet men daar alles net zoo gebeuren, alsof de boot stil ligt. Een vlieg zweeft om ons hoofd en wij zelf wandelen heen en weer, zonder van de snelle vaart iets te bemerken; gooien wij een bal in de hoogte, dan valt hij juist in onze handen terug; laten wij hem vallen, dan valt hij recht naar beneden — d.w.z. met betrekking tot de kajuit, want ten opzichte van den oever valt hij schuin naar beneden, daar hij met het schip met dezelfde snelheid voortbeweegt. Konden wij buiten de aarde een vast, onbeweeglijk merkteecken zetten, dan zou een vallende steen ten opzichte daarvan schuin naar het Oosten naar beneden bewegen. Ten opzichte van de aarde echter valt hij recht naar beneden. Omdat alle dingen om ons heen, aardoppervlak, huizen, boomen, vogels, lucht en

wolken door de draaiing der aarde een gemeenschappelijke beweging hebben, gedragen zij zich in hunne bewegingen ten opzichte van elkaar juist zóó, alsof het geheel zich in rust bevindt.

Wij hebben vroeger reeds gevonden, dat wij uit de waarneming van de relatieve beweging van twee voorwerpen niets kunnen afleiden omtrent hun rust of beweging. Wij zien nu, dat er tusschen rust en gelijkmatige beweging in het geheel geen onderscheid bestaat. Vloog de aarde met nog veel grootere snelheid rechtuit door de ruimte, dan zouden wij evengoed kunnen aannemen, dat zij stil stond, want het zou precies op hetzelfde neerkomen. Rust is geen absolute toestand — daarin bestaat vooral de onhoudbaarheid van de natuurleer der oudheid — rust is niets dan een relatief begrip.

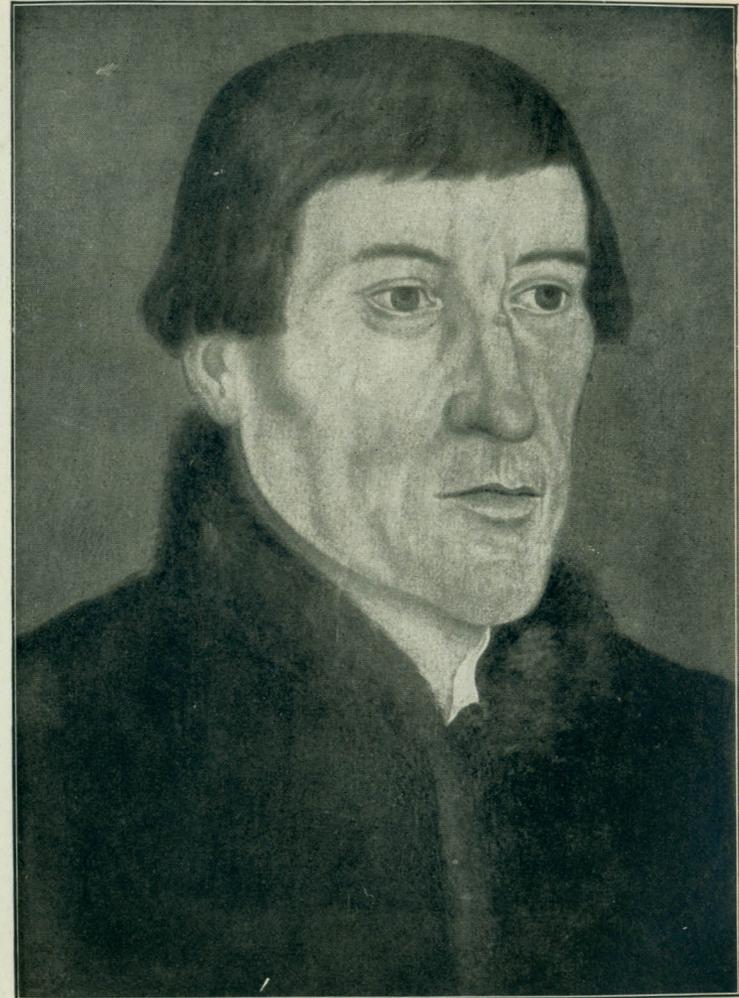
20. DE DAMPKRING.

Toen de leer van de draaiing der aarde opkwam, lag er voor de menschen een bijzondere moeilijkheid in de voorstelling, dat de atmosfeer meedraaide. Volgens Aristoteles werd de lucht, die de aarde van alle kanten omgeeft, op groote hoogten steeds ijler en ging daar over in het vuur en het hemelsche element, die de hoogere gebieden vulden. Wanneer nu de lucht vlak aan de oppervlakte meedraaide, tot hoever namen dan de hoogere, boven elkaar liggende lagen deel aan deze beweging? Al het „ondermaansche” gold in dien tijd als vergankelijk en aardisch, en zoover, dus tot in de buurt van de maan, dacht men, dat ook de dampkring der aarde zich moest uitstrekken. „Terwijl de kleinste afstand van de „maan,” schreef Copernicus, „meer dan 49 maal de halve middel„lijn der aarde bedraagt, is het ons toch niet bekend, dat in deze „zoo groote ruimte iets anders voorhanden is dan lucht, en, zoo „men wil, dat, wat men het vurige element noemt.” Wij hebben ook reeds gezien, hoe hij deze zwaarigheid trachtte op te lossen, door aan te nemen, dat van die kolossale luchtmasa, die een ruimte inneemt, vele duizenden malen grooter dan de aarde, alleen de binnenste lagen door de aswenteling der aarde meegesleept

worden. In de 17^{de} eeuw werd dit vraagstuk eerst volkomen opgehelderd.

Iedereen weet, hoe een pomp werkt; wordt de zuiger omhoog getrokken, dan stijgt het water mee, anders zou onder den zuiger een leegte ontstaan. Men verklaarde zich dat zóó, dat de natuur geen leegte toelaat, en waar er anders een zou ontstaan, de stof van alle zijden aandringt om de leegte te vullen. In de 17^{de} eeuw viel echter de aandacht op het feit, dat men in een pomp het water niet hooger dan 10 meter kon opzuigen; trekt men den zuigerverder in de hoogte, dan ontstaat een leegte, die niet meer door verder opstijgend water aangevuld wordt. De Italiaansche natuurkundige Torricelli, een leerling van Galilei, maakte daaruit op, dat de oorzaak van het stijgen van het water in de pompbuis niet hierin te zoeken is, dat de natuur een afkeer van leegte heeft, maar eenvoudig in de drukking van den dampkring. De lucht, die ook alle holten in de aarde doordringt, drukt op het water der onderaardsche wellen en perst het in de pompbuis omhoog, wanneer daarin anders een leegte zou ontstaan. Daar echter deze druk niet onbegrensd is, maar een bepaalde sterkte heeft, kan hij het water niet verder dan tot een bepaalde hoogte omhoogpersen; een waterzuil van 10 meter hoogte in de buis drukt even sterk als de dampkring buiten en is met hem in evenwicht. Wanneer deze verklaring juist is, moet kwikzilver, dat 13 maal zoo zwaar is als water, door den dampkring slechts tot een hoogte van $\frac{1}{13}$ van 10 meter opgeperst kunnen worden. Toen Torricelli de proef deed, bleek dat ook inderdaad uit te komen; aan een kwikzilverbarometer kan iedereen zien, dat het kwikzilver in de van boven gesloten buis ongeveer 76 cM. hooger staat dan in de open buis, en de luchtledige ruimte boven zich niet vult. Ook nog op een andere wijze werd deze verklaring bevestigd. De druk, dien de lucht door haar zwaarte uitoefent, moet des te geringer zijn, naarmate men hooger in den dampkring komt. Toen de Fransche natuurkundige Pascal in 1647 de kwikzilverproef van Torricelli op den top van den 1000 M. hoogen Puy de Dôme liet herhalen, bleek het, dat daar de kwikzilverzuil slechts 66 cM. hoog was, dus 10 cM. lager dan beneden in de vlakke.

Deze ontdekking, dat de dampkring, die zich boven ons uitstrekt, door zijn zwaarte op de aarde drukt



NICOLAUS COPERNICUS
(1473—1543)

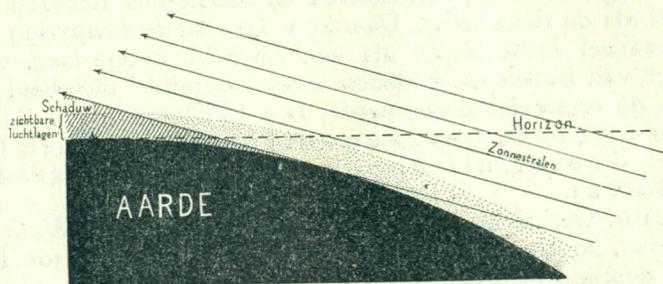
en een bepaald gewicht heeft, maakte het mogelijk de hoogte van den dampkring te vinden, mits men maar het gewicht van een liter lucht kende. Dit gewicht was te bepalen, nadat door den burgemeester van Magdeburg, Otto von Guericke, in 1654 de luchtpomp was uitgevonden, waarmee men een afgesloten ruimte luchtledig kon maken. Weegt men een gesloten flesch eerst met lucht gevuld, en dan nadat de lucht er uitgepompt is, dan is het verschil het gewicht van de lucht in de flesch. Op die manier werd gevonden, dat de lucht in onze omgeving, aan het oppervlak der aarde, 780 maal lichter dan water is. Een kolom van deze lucht van 7800 meter hoogte kan een waterzuil van 10 meter hoogte in evenwicht houden en oefent dus dezelfde drukking uit als de dampkring. Daaruit volgt, dat de dampkring boven ons evenveel lucht bevat als een 7,8 KM. hooge laag, waarin de lucht van boven tot beneden overal dezelfde dichtheid heeft als aan de oppervlakte der aarde. De luchtmasse, die de aarde omgeeft, bedraagt niet meer, dan een 8 KM. dikke, overal uit oppervlaktelucht bestaande laag bevat.

Nu is in werkelijkheid de dampkring veel hoger. Want lucht vormt niet, zooals water, een laag, die van beneden tot boven overal dezelfde dichtheid heeft en dan met een scherp grensvlak eindigt. Lucht is veerkrachtig. Zij wordt des te sterker samengeperst, naarmate een grooter druk op haar uitgeoefend wordt, terwijl zij zich bij vermindering van den druk steeds meer uitzet en ijler wordt. Hoe hoger men in den dampkring komt, des te geringer wordt de druk, omdat een kleinere luchtmasse er van boven op drukt, en des te ijler en lichter wordt dus de lucht. Op een hoogte van 6 KM. is de druk tot de helft, op een hoogte van 18 KM. tot op $\frac{1}{10}$ afgenomen, en voor elke verdere stijging van 18 KM. worden druk en dichtheid weer 10 maal kleiner. De dampkring heeft dus geen vaste grens; hij gaat onmerkbaar in de leege wereldruimte over.

Kan men dus voor de hoogte van den dampkring geen bepaald getal opgeven, zoo kan men toch enkele getallen voor de hoogte vinden, waarop men van den dampkring nog iets bemerkt. De fijne veerwolken (cirruswolken), die uit ijsnaaldjes bestaan, zweven

op een hoogte van 10 tot 20 KM. De nog fijnere wolkstrepen, die soms in den middernachtelijken schemeringsboog des zomers zichtbaar zijn en „lichtende nachtvolken” genoemd worden, zweven 70 tot 80 KM. hoog, waar de lucht 10.000 maal dunner is dan aan de oppervlakte der aarde. Hier kan de lucht dus nog de fijnste stofdeeltjes zwevend houden.

Een andere maatstaf wordt ons door de hoogte gegeven, waarop de verlichting van de lucht door het zonlicht nog merkbaar is. Overdag zien wij den hemel schitterend blauw, en deze stralende helderheid ontstaat door de verlichting van de lucht om en boven ons door de zon. Is de zon ondergegaan, dan wordt het licht

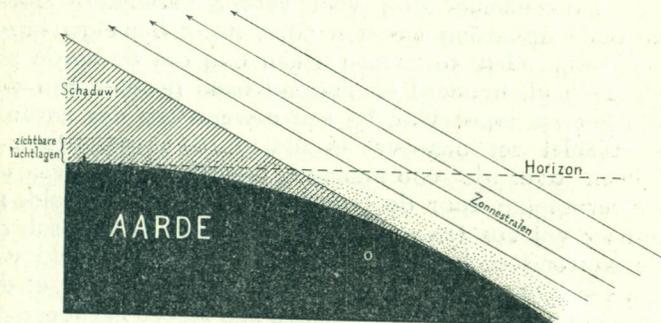


De schemering.

zwakker en trekt zich steeds meer als schemerlicht naar het Westen terug. Daaruit blijkt, dat de onderste en dichtste lagen van den dampkring niet meer door de zon beschenen worden, en van de naast hoogere lagen alleen een naar het Westen gelegen gedeelte — zooals de bovenstaande figuur toont, waar de zichtbare dampkring door een gestippelde laag is voorgesteld. Wanneer eindelijk het laatste schemerlicht verdwenen is, zijn alle lagen, die dicht genoeg zijn om ons in het zonlicht zichtbaar te worden, in de schaduw gekomen, en van de lucht boven onzen horizon worden alleen maar de nog hoogere, dunnere lagen door de zon verlicht. Uit den tijd, waarop het laatste schemerlicht in het Westen verdwijnt, laat zich, zooals de figuur op de volgende bladzijde toont, afleiden, tot op welke hoogte de lucht nog in het zonlicht zichtbaar is. Op deze wijze heeft reeds in de middeleeuwen de

Arabische geleerde Alhazen daarvoor een bedrag van ongeveer 80 KM. gevonden.

Dat daarboven nog veel dunnere lucht zich tot nog veel grootere hoogte uitstrekt, wordt bewezen door het opvlammen van vallende sterren, wier hoogte naar de vroeger uiteengezette methode der driehoeksmeting te berekenen is, wanneer zij op twee verschillende plaatsen gelijktijdig waargenomen zijn; daarbij heeft men hoogten van een paar honderd KM. gevonden. Maar — en daarop komt het voor ons hier aan — wat beteekent deze hoogte in vergelijking met de middellijn van de aarde, die bijna 13000 KM. bedraagt? De in het zonlicht zichtbare lucht verheft zich slechts tot $\frac{1}{160}$ van



Einde van de schemering.

de aardmiddellijn, de uiterst dunne, allerhoogste sporen reiken nog tot $\frac{1}{50}$ van de aardmiddellijn, terwijl de helft van alle lucht zich in een laag bevindt, die niet dikker dan $\frac{1}{2000}$ van de aardmiddellijn is. Het lijkt er dus niets op, dat de dampkring de geheele ruimte tot aan de maan zou vullen; deze wereldruimte is tot vlak bij de aardoppervlakte leeg. Slechts een uiterst dunne, aan haar oppervlak klevende luchtschil omgeeft de aarde. De onderstelling, dat deze luchtschil met de aarde om haar as meedraait, alsof zij een enkel lichaam met haar vormt, biedt dus niet de geringste moeilijkheid meer.

21. EERSTE BEWIJZEN VOOR DE DRAAIING DER AARDE.

Toen in het begin van de 17^{de} eeuw de bezwaren, die vroeger aan de leer van de aswenteling der aarde in den weg stonden, gaandeweg opgeheven werden, moest de oude opvatting van de draaiing des hemels aan de menschen steeds onmogelijker voorkomen. Men had gevonden, dat de beweeglijke hemellichamen — zon, maan en planeten — groote wereldlichamen waren, voor een deel nog grooter dan de aarde, en in banen rondliepen, die de aarde honderden en duizenden malen in grootte overtroffen, terwijl de sterrenhemel nog veel verder verwijderd moest zijn. Naar de oude opvatting moesten deze, naast hun eigen bijzondere beweging, nog allen te zamen elken dag om de aarde zwaaien met een snelheid, honderd en duizend maal grooter dan de snelheid, die het aardoppervlak bij een aswenteling der aarde moest bezitten. Galilei zei daarover in zijn in 1632 verschenen werk: „Gesprekken over de voornaamste wereldstelsels,” waarmee hij zich een vervolging door de Inquisitie op den hals haalde:

„Wanneer wij dus ten eerste alleen maar op de kolossale grootte „van de sterrensfeer letten, vergeleken met de kleinheid van den „aardbol, die daarin vele millioenen malen begrepen is, en dan aan „de snelheid denken, waardoor in een dag en een nacht een geheele „omwenteling volbracht wordt, dan wil het er bij mij niet in, dat „iemand het voor begrijpelijker en geloofwaardiger kan houden, „dat de hemelbol draait en de aarde daarentegen in rust blijft.” En wat verder: „Wanneer het ter bereiking van precies dezelfde „uitwerking op hetzelfde neerkomt of de aarde zich alleen beweegt, „terwijl het geheele overige heelal in rust is, of dat de aarde rust „en de geheele wereld een gemeenschappelijke beweging heeft: „wie zou dan kunnen gelooven, dat de natuur — die toch naar „de algemeene opvatting niet vele middelen aanwendt, waar zij „met weinige kan toekomen — er de voorkeur aan gegeven heeft „een onmetelijk aantal der geweldigste lichamen met ongelooflijke „snelheid te laten bewegen, om datgene te bewerken, dat door een „matige beweging van een enkel lichaam om zijn eigen middelpunt „evengoed te bereiken is?”

Dit betoog was zoo overtuigend, dat weldra de aswenteling der

aarde door geen enkel ernstig geleerde meer betwijfeld werd. Natuurlijk kon iemand, die met alle geweld aan de oude leer wilde vasthouden — de nieuwe was bovendien door de kerk verboden — zich altijd nog hierop beroepen, dat een werkelijk afdoend bewijs voor de draaiing der aarde ontbrak, en dat zij alleen wegens de grootere eenvoudigheid als het waarschijnlijkst aangenomen werd. Zulke bewijzen zijn later eerst gevonden, toen zij eigenlijk niet meer noodig waren. Zij traden toen dan ook niet op als eindelijk gevonden bewijzen, die de tot dusver twijfelachtige draaiing der aarde nu voor iedereen tot een onbetwistbare waarheid maakten, maar als merkwaardige nieuwe verschijnselen, die hun verklaring vonden in de reeds als vaststaand beschouwde aswenteling der aarde.

In een vorig hoofdstuk bleek ons, dat een gemeenschappelijke beweging van een aantal bij elkaar behorende dingen, al is zij nog zoo snel, zich in de beweging van deze aparte dingen ten opzichte van elkaar in het geheel niet bemerkbaar kan maken. Daardoor komt het — zoo verklaarden wij onze dagelijksche ervaring — dat wij van de snelle beweging der aardoppervlakte niets bemerken. Maar deze laatste gevolgtrekking is toch niet heelemaal juist. Zij zou volkomen juist zijn, wanneer de aarde met alles, wat daarop woont en leeft, rechtuit door de ruimte vlog, en elk ding op aarde dus precies dezelfde beweging had als alle andere en deze ook steeds behield. Dat is echter bij de draaiing der aarde niet het geval. Wel beweegt zich alles in onze onmiddellijke omgeving nagenoeg gelijk, maar streken van de aarde, die verder van ons verwijderd zijn, hebben een geheel andere beweging dan wij. Aan den evenaar bijvoorbeeld beweegt het aardoppervlak veel sneller dan hier, omdat het daar in dezelfde 24 uren een veel grooteren omtrek doorloopen moet; hoe verder men zich van den evenaar verwijderd, des te langzamer is de beweging, en de polen blijven geheel in rust. Bovendien behoudt ieder deel van het aardoppervlak niet de beweging, die het eenmaal heeft, want het vliegt niet rechtuit, maar draait in een kring rond.

Dat een beweging in een kring zich in bepaalde verschijnselen bemerkbaar moet maken, was van oudsher reeds zoo goed bekend, dat het uitblijven van deze verschijnselen zelfs als tegenwerping tegen de draaiing der aarde werd aangevoerd. Wanneer men een steen aan een touw bindt en in het rond slingert, zoodat hij een

kring beschrijft, dan voelt men, dat hij het touw uit de hand tracht los te rukken; en laat men los, dan vliegt hij ook weg. Men voelt, dat een kracht hem van het middelpunt der beweging tracht te verwijderen; deze kracht, die het touw gespannen houdt, heet middelpuntvliedende of centrifugaalkracht. Zij is, des te grooter naarmate de beweging sneller is, en zij is zelfs in staat het vliegwiel van een machine uiteen te doen springen als het te hard gaat, zoodat de stukken door den muur en het dak vliegen. Nu draait de aarde met een onvergelykelijk veel grootere snelheid; kan men ook niet beweren, dat daardoor stukken uit den vasten aardbol losgerukt moeten worden, zoo zou men toch kunnen vreezen, dat alles, wat maar los op haar staat of ligt, door de middelpuntvliedende kracht weggeslingerd moest worden. Dit bezwaar tegen de draaiing der aarde was misschien met nog veel meer nadruk opgeworpen, als het niet bij een rustende aarde voor den nog veel sneller draaienden hemel in veel hoogere mate zou gelden.

Daarbij wordt echter uit het oog verloren, dat men onderscheid moet maken tusschen de snelheid van ronddraaiing en de snelheid, waarmee de omtrek zich voortbeweegt. Wanneer men een klein rad zoo snel draait, dat zijn omtrek dezelfde snelheid krijgt als het aardoppervlak, 500 M. per seconde, dan zou het zeker door de middelpuntvliedende kracht uit elkaar gerukt worden. Laat men het echter in 24 uren eenmaal rondwentelen, dan zou zijn beweging ternauwernood merkbaar zijn. Welk van deze beide gevallen komt nu met het geval van de draaiende aarde overeen? Geen van beide.

Wanneer men het touw, waaraan de steen vastzit, 4 maal langer neemt, en den steen toch in denzelfden tijd rondslingert, zoodat hij 4 maal zoo snel beweegt, dan is de middelpuntvliedende kracht, die men aan het touw voelt trekken, grooter geworden. Slingert men echter den steen met dezelfde snelheid, dus in een 4 maal langeren tijd in het rond, dan is deze kracht omgekeerd kleiner geworden. Ervaring en berekening (waarop wij later nog terugkomen) hebben getoond, dat men dezelfde middelpuntvliedende kracht bij een 4 maal langer touw krijgt, wanneer men den steen in den dubbelen tijd, dus ook met de dubbele snelheid rondslingert. Wanneer twee bollen ronddraaien, waarvan de een honderdmaal

grooter is dan de ander, dan moet, zal de middelpuntvliedende kracht bij beide dezelfde zijn, de omwentelingstijd van den grooten bol tienmaal grooter zijn dan die van den kleinen, waarbij zijn oppervlakte ook tienmaal sneller beweegt. Bij een bal van 13 cM. middellijn (een honderdmillioenste van de aardmiddellijn), die in $8\frac{1}{2}$ sekonde (een tienduizendste van 24 uren) om zijn as draait, waarbij zijn oppervlak aan den evenaar 5 cM. per sekonde voortbeweegt (een tienduizendste van de snelheid van den evenaar), moet volgens dezen regel de middelpuntvliedende kracht evengroot zijn als bij de aarde.

Er kan dus geen sprake van zijn, dat er iets door de middelpuntvliedende kracht van de aswenteling der aarde weggeslingerd zou kunnen worden. Door de zwaarte wordt elk ding naar de aarde toe getrokken en vastgehouden, en vergeleken met deze zwaartekracht is de middelpuntvliedende kracht, die ze van de aarde tracht te verwijderen, dus omhoog te heffen, slechts onbeduidend. Eenigszins wordt de zwaartekracht er natuurlijk wel door verminderd. Aan den evenaar is de draaiing het snelst en de middelpuntvliedende kracht het grootst; aan de polen ontbreken zij. Door de middelpuntvliedende kracht ten gevolge van de draaiing der aarde moet dus de zwaartekracht aan de polen grooter, aan den evenaar kleiner zijn en van den evenaar naar de polen geleidelijk toenemen.

Wanneer wij dus met een nauwkeurige veerbalans naar Afrika gingen, dan zouden wij bemerken, dat een pond suiker of een pond ijzer daar niet meer een pond weegt, maar een paar gram lichter geworden is — wanneer ten minste niet onderweg door stooten of door de warmte de kracht van de veer veranderd is. Beter dan met deze toch maar onbetrouwbare toestellen is zulk een verandering van de zwaartekracht aan een slinger waar te nemen; en op deze wijze is zij ook het eerst ontdekt.

In 1672 ging de sterrekundige Richer in opdracht van de Fransche Akademie naar Cayenne in Zuid-Amerika om daar waarnemingen te doen. Hij had een slingeruurwerk meegenomen, dat vooraf goed in orde wes gebracht; daarom verbaasde het hem zeer, dat het, toen hij het opgehangen en in gang gebracht had, veel te langzaam ging; elken dag liep het bijna 2 minuten achter

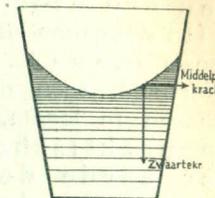
Van de uitzetting van den slinger door de warmte kon het niet komen; daarvoor was de verandering veel te groot. Hij dacht, dat er onderweg misschien iets mee gebeurd was en maakte daarom den slinger $2\frac{1}{2}$ mM. korter om het kwaad te verhelpen; want een slinger slingert des te sneller, naarmate hij korter is. Maar toen Richer naderhand in Frankrijk terugkwam, bleek de klok alweer niet in orde te zijn; zij liep nu 2 minuten per dag vóór en de slinger moest $2\frac{1}{2}$ mM. verlengd worden. Sommigen meenden dat door de groote hitte of door de zware ongezonde lucht in Cayenne de slinger daar zooveel langzamer geweest was; maar reeds vóór de expeditie uitvoer, was er in de Akademie over gesproken, dat de middelpuntvliedende kracht de zwaartekracht in de heete gewesten moet verzwakken. Dit bleek nu juist te zijn: de slinger had in het heete land langzamer geslingerd, omdat de zwaartekracht daar kleiner is dan in Parijs. En toen kort daarna hetzelfde op andere plaatsen in de tropen werd waargenomen, was er geen twijfel meer mogelijk. Zoo was het door Richer opgemerkte verschijnsel het eerste direkte bewijs voor de aswenteling van de aarde.

Toch was er iets aan de zaak nog niet in den haak: de getallen klopten niet. De slinger toonde een grootere verandering dan uit de middelpuntvliedende kracht berekend werd. De middelpuntvliedende kracht vermindert de zwaarte met een bedrag van $\frac{1}{600}$, wanneer men van Midden-Europa naar den evenaar gaat, en maakt haar evenveel grooter bij een reis van Midden-Europa naar de Noordpool; uit den slinger vond men echter, dat de zwaarte $\frac{1}{400}$ verminderd was. Dit verschil werd door den Engelschen wiskundige Newton als een gevolg van de afgeplatte gedaante der aarde verklaard. Bij zulk een vorm van de aarde is de zwaarte aan de polen, waar men dichter bij het middelpunt is, grooter dan aan den evenaar en dit verschil voegt zich bij het verschil, dat uit de aswenteling ontstaat.

Deze afplatting der aarde levert nu zelf nog een nieuw bewijs voor haar aswenteling. Wanneer alle deeltjes der aarde alleen maar aan hun zwaarte gehoorzamen, dan moeten zij zich, zooals reeds Aristoteles heel goed inzag, tot een bolvormig lichaam samenballen. Ten minste moet het beweeglijke

water precies de gedaante van een bol aannemen; want wanneer het zeeoppervlak op een of andere plaats verder van het middelpunt der aarde verwijderd was, moest het water vandaar wegstroomen als van een heuvel, en het zou eerst dan tot rust komen, wanneer het oppervlak overal even ver van het middelpunt verwijderd was. Komt er nu echter een middelpuntvliedende kracht bij, dan wordt de gedaante anders.

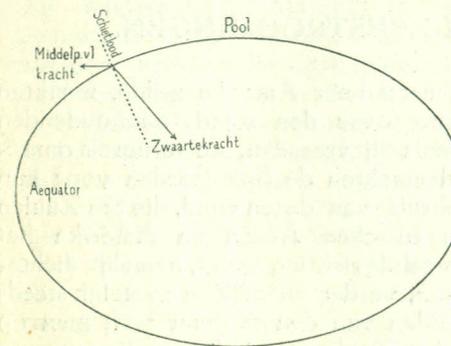
Brengen wij het water in een emmer in snelle draaiing door er met een stok in te roeren, dan zien wij, dat het oppervlak ook niet vlak en horizontaal blijft. Door de middelpuntvliedende kracht wordt het water naar buiten, naar den rand toe gedreven en het oppervlak wordt uitgehold tot de gedaante van een kom. Bij deze gedaante is er evenwicht; de zwaartekracht trekt het water met evengroote kracht naar de holte in het midden, als de middelpuntvliedende kracht het van het midden wegdrijft. De oppervlakte van het water staat dan loodrecht op de totale kracht, die deze beide krachten met elkaar vormen.



Iets dergelijks geldt ook voor de met water bedekte, draaiende aarde. De gedaante van het wateroppervlak kan nu geen bol meer zijn, want de middelpuntvliedende kracht tracht het water zoover mogelijk van de as weg te drijven, zoodat het dan van de polen

naar den evenaar stroomt. Het moet aan den evenaar hooger stijgen en aan de polen lager komen, d.w.z. het oppervlak komt aan den evenaar verder van het middelpunt af en aan de polen er dichter bij. Bij deze gedaante is er weer evenwicht; de werking van de zwaarte, die het water naar de polen terug tracht te voeren,

wordt door de werking der middelpuntvliedende kracht opgeheven,



die het van de polen tracht weg te drijven. De richting van het schietlood, waar het watervlak loodrecht op moet staan, wordt door de vereenigde werking van de beide krachten, zwaarte en middelpuntvliedende kracht, bepaald. Dus moet de oppervlakte der aarde, d.w.z. het zeeoppervlak door de draaiing der aarde om haar as de gedaante van een afgeplatten bol aannemen.

Uit deze theoretische overweging hebben Newton en Huygens, zooals boven (blz. 102) vermeld werd, de afplatting der aarde al voorspeld, toen de praktische metingen precies het tegendeel schenen te leeren. De latere bevestiging van hun voorspelling, de praktische vaststelling van de afplatting der aarde door de graadmetingen in de 18^{de} eeuw vormde dus een nieuw bewijs voor de aswenteling der aarde.

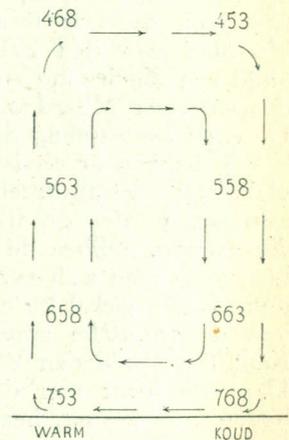
Nu hebben wij gevonden, dat niet slechts het zeeoppervlak, maar ook het vaste aardlichaam deze afgeplatte gedaante bezit. Om dit te verklaren neemt men aan, dat de thans zoo harde en vaste aarde in vroeger tijd veel weker, misschien wel geheel vloeibaar en gesmolten was, en toen den afgeplatten vorm gekregen heeft, dien zij na het vastworden behouden heeft.

22. WINDEN EN ZEESTROOMINGEN.

Toen Columbus voor het eerst naar Amerika zeilde, maakten zijn reisgenooten zich ongerust over den steeds aanhoudenden Noordoostewind, die hun, zooals zij vreesden, de terugreis onmogelijk zou maken. Naderhand maakten de Spanjaarden voor hun reizen naar Amerika altijd gebruik van dezen wind, die ten Zuiden van de Kanarische eilanden tusschen Afrika en Amerika het geheele jaar door steeds in dezelfde richting waait, namelijk dichter bij Europa uit het Noordoosten, verder zuidelijk en westelijk steeds meer uit het Oosten. Ten Zuiden van den evenaar treft men op dezelfde wijze een voordurenden Zuidoostewind aan, die over een gebied waait, dat zich tot aan de grens van den heeten aardgordel uit-

strekt. Deze bestendige winden, die passaten genoemd worden, heerschen ook in het heete gedeelte van den Stillen Oceaan, ten Noorden van den evenaar als Noordoostpassaat, ten Zuiden van den evenaar als Zuidoostpassaat, en den Zuidoostpassaat treft men ook in den Indischen Oceaan aan. In het noordelijke deel van dezen Oceaan, evenals in het Zuiden van Azië, treft men in plaats daarvan de moessons aan, die om het halve jaar hun richting omkeeren en in den zomer als Zuidwestewind, in den winter als Noordoostewind waaien.

Een verklaring van deze passaatwinden, die zich door hun regelmatigheid zoo opvallend van de onregelmatige wisseling van weer en wind in de gematigde streken onderscheiden, werd voor het eerst in 1735 door een Engelsch sterrekundige Georg Hadley gegeven. In de buurt van den evenaar, waar de zonnestraling het felst is, wordt de lucht sterk verhit, en omdat warme lucht bij denzelfden druk ijler en lichter is dan koude lucht, stijgt zij omhoog. Van beide kanten, van het Noorden en van het Zuiden, stroomt dan de lucht daarheen om de plaats van de opstijgende lucht in te nemen. Daar het gewicht van een kolom ijle, warme lucht geringer is dan het gewicht van een even hooge kolom koude lucht, neemt de druk in de warme luchtkolom naar boven langzamer af dan in de koude. Zij kunnen zich dus niet in rustig evenwicht naast elkander bevinden; wanneer beneden de druk in de warme kolom kleiner is dan in de koude, dan is omgekeerd op groote hoogte de druk in het warme gebied het grootst. Boven stroomt daarom de lucht van het warme gebied naar het koude, terwijl beneden het omgekeerde plaats vindt. In plaats van evenwicht in rust moet een regelmatige kringloop ontstaan, een onafgebroken luchtcirkulatie: beneden stroomt de lucht naar het warme gebied, boven van het warme naar het koude; in de warme luchtkolom stijgt zij omhoog, in het koude gebied



daalt zij naar beneden, zooals ook in de figuur te zien is, waar de druk op verschillende hoogten evenals bij den barometer door millimeters kwikhoogte aangegeven is. Zulk een kringloop vindt 's winters ook in een verwarmde kamer plaats; bij de kachel stijgt de warme lucht op, bij het raam daalt de koude lucht neer; langs den zolder stroomt de lucht van de kachel naar het raam, en over den vloer van het raam naar de kachel. Zoo waait ook aan de kusten in de tropische gewesten overdag een zeewind naar het sterk verhitte land, en des nachts een landwind naar de lauwe zee.

Zulk een kringloop op reusachtige schaal of, juister nog, een dubbele kringloop vindt boven de tropische oceanen plaats. Van beide kanten, van het Noorden en van het Zuiden, stroomt de lucht naar den evenaar; in het midden, den gordel der windstilten, stijgt de heete lucht op en voert groote massa's waterdamp mee, die zich boven tot wolken verdichten en in zware onweersbuien in zee terugstroomen. Boven vloeit de lucht naar beide zijden weg, daalt aan de grenzen van den tropischen gordel op de aarde neer, en stroomt dan langs het aardoppervlak weer naar den evenaar terug. Volgens deze verklaring moet dus ten Noorden van den evenaar altijd een Noordewind, ten Zuiden altijd een Zuidewind waaien. Hoe komt het nu, dat men in plaats daarvan een Noordoostpassaat en een Zuidoostpassaat aantreft? Door de aswenteling der aarde.

Wij hebben er reeds op gewezen, dat het draaiende aardoppervlak niet overal dezelfde snelheid heeft. De plaatsen aan den evenaar, die den grootsten cirkel van 40 miljoen meter in 24 uren doorloopen, hebben de grootste snelheid, 464 meter per seconde. Naarmate men zich verder van den evenaar verwijderd, wordt de doorloopen cirkel kleiner, en dus ook de snelheid. Aan de grens van de tropische zone is zij 426 meter, op de breedte van de Kanarische eilanden 400 meter, in Midden-Europa 327 meter. Daar de lucht aan de beweging van de plaats, waar zij zich bevindt, deelneemt, heeft zij ook een des te kleinere west-oostelijke snelheid, naarmate men zich verder van den evenaar verwijderd. Stroomt deze lucht nu langs het aardoppervlak naar den evenaar, dan behoudt zij haar oorspronkelijke langzame west-oostelijke snelheid, terwijl zij over plaatsen strijkt, die sneller bewegen; zij

blijft dus steeds meer achter bij het aardoppervlak, d.w.z. zij beweegt zich ten opzichte van dit oppervlak in westelijke richting. De lucht, die van het Noorden naar den evenaar stroomt, beweegt zich in zuidwestelijke richting, is dus een Noordoostewind, die steeds meer oostelijk wordt; evenzo moet de van het Zuiden komende lucht ten Zuiden van den evenaar een Zuidoostewind worden. Omgekeerd moet de lucht, die boven in den dampkring van den evenaar wegstroomt, de snelle beweging van den evenaar behouden, dus de streken, waar zij komt, vooruitloopen; dat werkelijk hoog in de lucht ten Noorden van den evenaar een bestendige Zuidwestewind, ten Zuiden van den evenaar een bestendige Noordwestewind waait (de z.g. anti-passaat), blijkt uit de beweging van hoogzwevende schapewolkjes, en ook hieruit, dat de asch van onder den evenaar gelegen vuurspuwende bergen ver ten Noord-oosten van den vulkaan zelf neerkomt.

De richting van de passaatwinden levert dus een nieuw bewijs op voor de aswenteling der aarde. Hetzelfde geldt voor de moessons, die deel uitmaken van een kringloop van lucht tusschen het vasteland van Azië en den Indischen Oceaan. Des zomers, wanneer het vasteland verhit wordt, stroomt daarheen een Zuidewind van uit den Oceaan; 's winters stroomt omgekeerd de lucht van uit de kille hoogvlakten van Azië naar de warme, zuidelijke zee. Door de draaiing der aarde wordt de richting van deze luchtstroomen op dezelfde manier veranderd als bij de passaten; 's zomers heerscht daarom de Zuidwestmoesson, 's winters de Noordoostmoesson. Door den invloed van de onregelmatige verdeling van land, zee en eilanden treden echter in de moessons nog vele plaatselijke verschillen op.

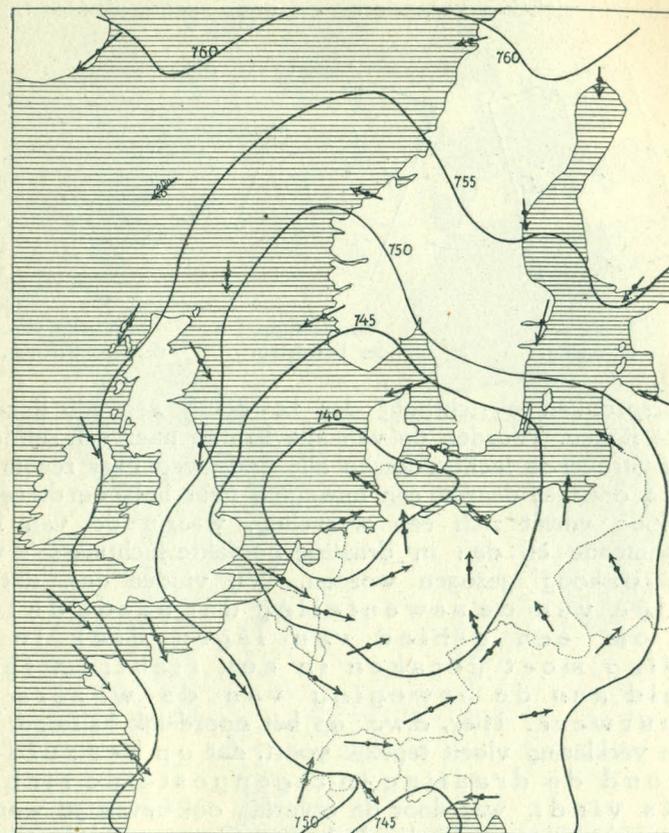
Om aan den wind de draaiing van de aarde te zien, behoeft men echter niet eerst naar de tropen te gaan; ook in ons klimaat hebben wij haar op bijna elk weerkaartje duidelijk voor ons. In de gematigde luchtstreken zijn weer en wind zoo veranderlijk en onregelmatig, dat men langen tijd geloofde, dat er in het geheel geen wet en regel in te vinden was. Eerst in de laatste eeuw is het gelukt, uit de gelijktijdige regelmatige opteekeningen van barometerstand en windrichting in vele plaatsen van Europa ook in deze wisselingen bepaalde wetten te ontdekken, en zoo de grondslagen voor een begin van wetenschappelijke weervoorspelling te leggen.

Het eerst vond de Berlijnsche natuurkundige Dove, dat de geweldige stormen, die nu en dan over West-Europa trekken, reusachtige luchtwervels zijn, evenals de draaikolken in stroomend water en de kleine wervelwinden, die bij heftige windstooten soms over de straat loopen. In het midden van zulk een werveling is de luchtdruk zeer laag; naar buiten neemt hij toe. Om dit midden draaien de luchtmassa's met geweldige snelheid naar links, d.w.z. in een richting, tegengesteld aan de beweging van de wijzers van een klok. Deze geheele luchtdraaikolk schuift meestal van het Westen of Zuidwesten naar het Oosten of Noord-oosten. Zij komt uit den Oceaan en lost zich boven Europa langzamerhand op, doordat van alle kanten luchtmassa's op haar storten om de lage drukking op te heffen, en daarbij haar beweging remmen.

Dit geldt echter ook, al treedt het verschijnsel hier ook zwakker en onregelmatiger op, voor de gewone winden, zooals Buys Ballot in Utrecht het eerst bewezen heeft. Volgens de door hem gevonden wet der winden waait de wind steeds om de gebieden van lagen luchtdruk heen in een richting tegen de wijzers van een uurwerk in; of, zooals hij het uitdrukte, heeft een waarnemer, die met den rug tegen den wind gaat staan, den lagen barometerstand aan de linker-, den hoogen aan de rechterhand. Van de juistheid van dezen regel kan iedereen zich gemakkelijk door beschouwing van de weerkaartjes overtuigen, die dagelijks in de groote kranten afgedrukt worden en waarvan wij op pag. 143 er ook een weergeven. Men ziet hier duidelijk, hoe, ondanks kleinere lokale afwijkingen, de winden, waarvan de richting door de pijlen aangegeven wordt, langs de lijnen van gelijken luchtdruk of iets meer naar den kant van den lagen druk gericht zijn, en daarbij het gebied van lagen druk aan den linkerkant hebben. Zij wervelen dus naar links om het gebied van lagen druk heen.

De oorzaak van deze draaiing en van deze bepaalde draaiingsrichting ligt weer in de aswenteling der aarde. Was deze er niet, dan zou de lucht van de omliggende plaatsen van hoogen druk in een rechte lijn naar een in het midden gelegen gebied van lagen druk stroomen. Maar door de draaiing der aarde raken deze luchtstroomen van den rechten weg af. Wij hebben vroeger reeds gevonden op welke wijze de horizon van een plaats ten gevolge

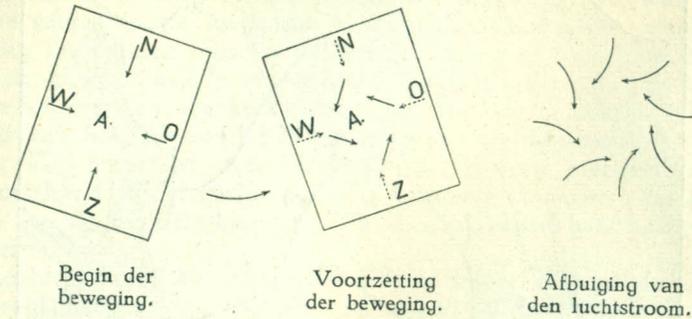
van de aswenteling zijn stand verandert. Terwijl hij aan de oostzijde daalt en aan de westzijde rijst, draait hij tegelijk in zijn eigen



Weerkaartje voor 26 Maart 1909.

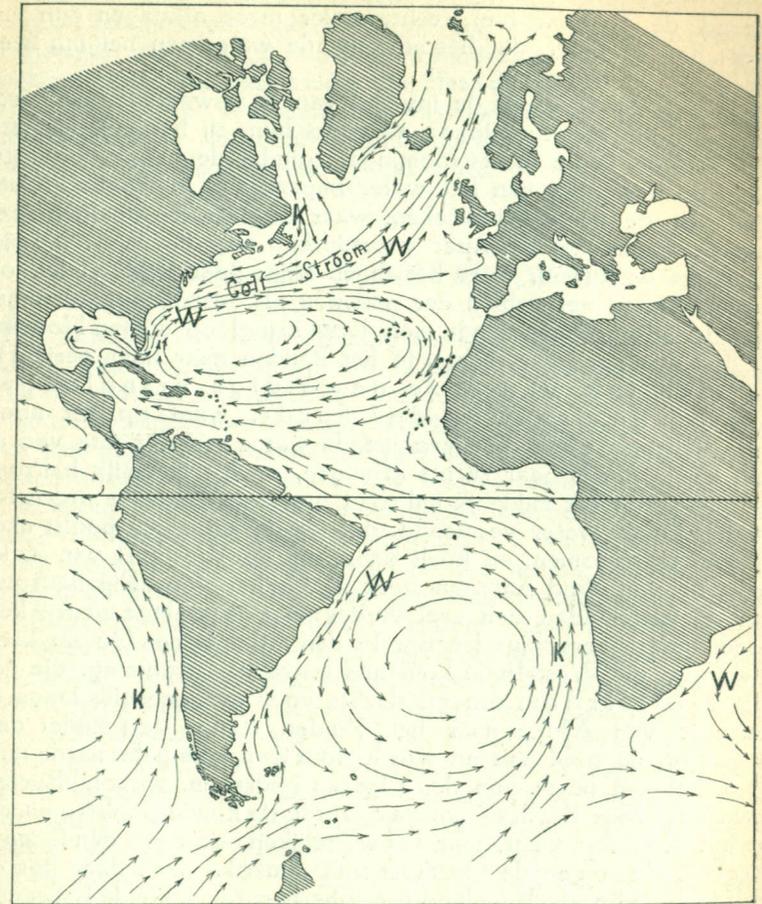
vlak langzaam naar links om. Het eerste kan in aardsche verschijnselen niet voor den dag komen, omdat alles door de zwaarte tegen de aarde gedrukt wordt; het tweede moet echter te voor-

schijn treden, wanneer de lucht als wind over de aardoppervlakte der aarde strijkt. Het aardoppervlak draait onder deze luchtstroom langzaam naar links; daarom moet de wind ten opzichte van de aarde zijn richting veranderen en naar rechts afbuigen, zoodat



het oorspronkelijke richtpunt der beweging aan zijn linkerkant komt te liggen. Worden de van alle kanten naar een zelfde middelpunt strevende luchtstromen alle onderweg naar rechts afgeleid, dan ontstaat daaruit een beweging naar links om dit centrum heen. Zoo vormt zich een werveling, waarin de van buiten aanstroomende en dan in draaiing geraakte luchtmassa's voortdurend omhoog gezogen worden. Wij vinden dus, dat ten gevolge van de aswenteling der aarde de lucht hier om een gebied van lagen druk in een draaiing moet geraken in een richting, tegengesteld aan de beweging van de wijzers van een uurwerk. Hier, d.w.z. op het noordelijk halfrond. Want uit deze verklaring vloeit tegelijk voort, dat op het zuidelijk halfrond de draaiing in tegengestelde richting plaats vindt, wat door de ervaring ook bevestigd wordt, en wat voor de cyclonen in den Indischen Oceaan reeds lang bekend was. Zoo levert de draaiingswet der stormen en de wet van Buys Ballot voor de gewone winden in de gematigde luchtstreken een nieuw bewijs voor de draaiing der aarde.

Zulk een bewijs konden de winden leveren, omdat de lucht zich vrij over de aarde beweegt en zoo de verschillen in de beweging



Zeestroomingen in den Atlantischen Oceaan.

van verschillende deelen der aarde aan het licht brengt. Dat geldt echter ook voor het andere bewegelijke element, voor het stroom-

mende water. Zoo heeft men opgemerkt, dat op het noordelijk half rond de rivieren hun rechteroever meer afknagen dan hun linker; daaruit blijkt, dat het stroomende water een neiging heeft naar rechts af te buigen.

Nog duidelijker treedt de invloed van de aswenteling der aarde in de groote zeestroomingen te voorschijn, zij het ook niet zoo regelmatig als in de luchtstroomingen, omdat de kusten der vastelanden de beweging van het water beperken en in bepaalde banen leiden. In de heete aardstreken, waar de passaten onafgebroken waaïen, stroomt het zeewater voortdurend naar het Westen, buigt dan langs de kusten, waar het tegen stuit, naar beide zijden om en keert buiten het gebied der passaten als oostelijke stroomingen terug. In alle oceanen vindt men dezen kringloop, die ten Noorden van den evenaar naar rechts, in het Zuiden naar links gericht is. De richting van deze geweldige kringloop past bij de draaiing der aarde, want op het noordelijk half rond moet het stroomende water ten opzichte van de vaste aarde steeds naar rechts afbuigen, op het zuidelijk half rond naar links. Op het zuidelijk half rond wordt de oostelijke strooming met het koude water vermengd, dat uit de zuidelijke poolstreken vrij kan toestroomen, en koelt daardoor de Westkust van Zuid-Afrika en van Zuid-Amerika sterk af. Op het Noordelijk half rond, waar de vastelanden zich veel verder naar de pool toe uitstrekken, treden andere verschijnselen op. In den Atlantischen Oceaan keert de warme, uit West-Indië komende oostelijke strooming, die den naam Golfstroom draagt, slechts voor een gedeelte langs de Westkust van Afrika naar het Zuiden terug; een ander deel stroomt op de pool aan en wordt door de draaiing der aarde naar den oostelijken oever van den Oceaan gedreven, waar hij Europa verwarmt. Door dezelfde oorzaak wordt de koude poolstroom, die van het Noorden komt, naar den westelijken oever van den Oceaan gedreven, dus tegen de Oostkust van Amerika aan; daar ligt op dezelfde breedte als Engeland het onherbergzame, koude Labrador, en de stad New-York, die op dezelfde breedte als Napels ligt, heeft een klimaat als Nederland. Evenzoo wordt in het Noorden van den Stillen Oceaan de temperatuur aan de Oostkust van Azië verlaagd door een kouden stroom uit de Beringstraat, terwijl de warme, uit de buurt van Indië komende „Zwarte Stroom” de

Westkust van Noord-Amerika verwarmt. Daardoor hebben Britsch-Columbia en Californië (zij het ook maar op een smal kustgebied) een heerlijk klimaat, terwijl aan den overkant Kamtsjatka en Sachalin veel kouder zijn. Het verschil in klimaat tusschen de Oost- en de Westzijde der vastelanden, dat Europa in zijn ontwikkeling zoo bijzonder begunstigd heeft, is dus voornamelijk een gevolg van de aswenteling der aarde.

23. VAL- EN SLINGERPROEVEN.

De bewijzen voor de draaiing der aarde, die wij tot nog toe leerden kennen, zijn alle groote algemeene verschijnselen, die of door de verschillende snelheid van verschillende streken der aarde, of door de middelpuntvliedende kracht ontstaan, en die dus alleen door een algemeene bekendheid met de geheele aarde aan het licht konden komen. Zijn er echter ook niet verschijnselen, waaruit wij de draaiing der aarde kunnen opmaken, zonder dat wij ons van onze woonplaats behoeven te verwijderen? Natuurlijk moet men er op rekenen, dat deze verschijnselen slechts zeer moeilijk en alleen door bijzonder zorgvuldige en nauwkeurige proeven ontdekt en vastgesteld kunnen worden — anders waren zij natuurlijk aan de menschen vanzelf al vroeger opgevallen. Want de snelheidsverschillen, die binnen het bereik van een in zijn woonplaats blijvenden waarnemer vallen, zijn natuurlijk uiterst klein. Toch moeten zij voorhanden zijn en wel in tweeërlei vorm. Ten eerste beweegt verder naar het Noorden het aardoppervlak zich langzamer, verder naar het Zuiden sneller oostwaarts, wat op een langzame draaiing naar links van den grond onder onze voeten neerkomt, die wij vroeger al als een draaiing van den horizon in zijn eigen vlak hebben leeren kennen. Ten tweede hebben hooggelegen voorwerpen, zooals de spits van een toren, een grootere snelheid dan het aardoppervlak zelf, omdat zij verder van de aardas verwijderd zijn en dus een grooteren kring beschrijven.

Dit tweede snelheidsverschil moet aan het licht treden, wanneer wij een steen boven van een toren naar beneden laten vallen. Boven heeft hij een grootere oostelijke snelheid dan de grond

beneden, en deze snelheid behoudt hij onder het vallen; hij loopt het aardoppervlak vooruit en moet dus niet precies onder de plaats aankomen, waar hij losgelaten werd, maar iets meer oostelijk. Weliswaar is het niet veel; aan den evenaar beschrijft de spits van een 100 meter hoogen toren in 24 uren een kring, die 628 meter langer is; zijn snelheid is dus $7\frac{1}{2}$ mM. per seconde grooter dan die van den voet van den toren. In onze streken, waar de toren scheef ten opzichte van de aardas staat, is het verschil nog kleiner, slechts 4 mM. per seconde. Daar de steen $4\frac{1}{2}$ sekonde voor het vallen gebruikt, zou hij slechts 2 cM. ten Oosten van de plaats neerkomen, waar hij neer moest komen, als de aarde stilstond; en doordat de richting van de zwaartekracht onder het vallen verandert, wordt dit bedrag nog wat minder.

De eerste proeven van dezen aard werden in 1804 door Benzenberg van af den Michaelstoren in Hamburg gedaan. Daarbij bleek al dadelijk, hoe moeilijk het was stellige uitkomsten te krijgen. Door den wind raakten de vallende kogeltjes uit hun koers, en de minste ongelijkheid bij het loslaten bewerkte, dat zij naar den eenen of den anderen kant afweken. Nadat door het neerlaten van een schietlood de plaats bepaald was, waar de kogels zonder de draaiing der aarde moesten neerkomen, bleek het, dat de werkelijke plaatsen, waar zij neerkwamen, daar aan alle kanten om heen lagen; eerst bij een zeer groot aantal proeven kwam het uit, dat zij toch gemiddeld het meest naar het Oosten afweken. Later zijn dergelijke proeven onder veel voorzorgsmaatregelen in een mijnput herhaald, waar de wind geen stoornis kon brengen. Daarbij bleek inderdaad, dat de valplaatsen weliswaar nog eenigszins verspreid lagen, maar toch in hun grootste ophooping duidelijk de oostelijke afwijking toonden, die bij een draaiing der aarde te verwachten was.

Kunnen wij nu ook het andere der beide vermelde verschijnselen, de draaiing van den grond onder onze voeten, door direkte proeven zichtbaar maken? Dat hangt daar van af, of wij een beweging kennen, die onafhankelijk van deze draaiing haar eigen richting behoudt, en lang genoeg blijft bestaan om aan haar een merkbare draaiing van het aardoppervlak te kunnen bemerken. In 1851 kwam de Fransche natuurkundige Foucault op de gedachte, dat de heen en weer gaande beweging van een slinger aan deze eischen voldoet. Hangen wij een gewicht aan een draad

op en laten wij het dan heen en weer slingeren, dan behoudt deze beweging haar richting, hoe zich de omgeving ook mag draaien. Daar de aardbodem zich onder den slinger naar links draait, moet het slingervlak van den slinger ten opzichte van den vasten grond naar rechts schijnen te draaien. Brengen wij dus b.v. den slinger precies in de richting Oost-West aan het slingeren, dan moet deze richting na eenige uren West-noordwest-Oostzuidoost geworden zijn, en eindelijk, wanneer de slinger het ten minste zoolang uithoudt, Noordwest-Zuidoost worden.

Bij deze proef ter demonstratie van de draaiing der aarde heeft men het voordeel, dat men haar aan een groot publiek tegelijk kan vertoonen; zoo kan men iedereen op eenvoudige en overtuigende wijze, als het ware voor het eerst van zijn leven, met eigen oogen laten zien, dat de grond onder zijn voeten draait. Daarom droeg de eerste openbare vertooning van deze slingerproef in 1852 in Parijs het karakter van een groote plechtigheid. Van den koepel van het Pantheon hing aan een 67 meter langen staaldraad een zware kogel, die, nadat hij eerst een tijd rustig gehangen had, voorzichtig uit den evenwichtstoestand gebracht werd en losgelaten. Na elke slingering, die een halve minuut duurde, was duidelijk te zien, dat de kogel niet op de vorige plaats terugkwam en dat de richting van slingering juist zooveel draaide als volgens de aswenteling der aarde moest zijn. Deze proef van Foucault wordt tegenwoordig nog dikwijls op Burgerscholen en bij voordrachten herhaald; daarbij zijn echter vele voorzorgsmaatregelen noodig, daar de geringste wringing in den draad of het geringste zijdelingsche duwtje bij het loslaten in staat zijn geheel andere en vaak grootere veranderingen in de richting van beweging te doen ontstaan.

Deze verschillende proeven bewijzen, dat de menschen ook in het geval, dat zij door een eeuwige dichte wolkenlaag nooit iets van zon, maan of sterren bemerkt hadden, toch tot het inzicht hadden kunnen komen, dat de aarde, waarop zij leven, om haar as wentelt. Men moet er echter bijvoegen, dat dit inzicht dan nog lang een twijfelachtige en onzekere theorie zou gebleven zijn. Onze overtuiging van de draaiing der aarde berust in de eerste plaats op de hemelverschijnselen, die alleen goed te verklaren zijn door een volledig wereldstelsel, waarvan de draaiing der aarde een

wezenlijk element vormt. Slechts in de tweede plaats komen de aardsche verschijnselen als bevestigingen van deze leer in aanmerking; en de val- en slingerproeven van de 19^{de} eeuw hebben zeker niemand onder de menschen van een twijfelaar tot een overtuigd aanhanger van deze leer gemaakt.

DE PLANETEN.

24. DE VERSCHIJNSELEN DER PLANETEN.

Toen wij de sterrebeelden aan den hemelbol voor het eerst leerden kennen, is onze aandacht reeds op die merkwaardige schitterende sterren gevallen, de dwaalsterren of planeten, die voortdurend hun plaats veranderen* en tusschen de vaste sterren langs den hemel wandelen. Deze dwaalsterren, die reeds in de oudheid de grootste belangstelling bij de menschen wekten, willen wij nu nader beschouwen. Zij zijn vijf in getal, en doordat ons het begin van de wetenschap door de volkeren der oudheid overgeleverd is, zijn zij onder de namen der Romeinsche goden en godinnen: Mercurius, Venus, Mars, Jupiter en Saturnus bekend gebleven.

Iedereen kent wel de helderste van alle sterren, de schitterende avondster. Spoedig na zonsondergang ziet men haar als een klein lichtpuntje aan den blauwen avondhemel opduiken; ja, dikwijls kan men haar zelfs vóór zonsondergang vinden, want zij is de eenige onder de sterren, die ook overdag duidelijk zichtbaar is. Wanneer dan de hemel donkerder wordt en het schemerlicht meer en meer verdwijnt, wordt zij steeds helderder, tot zij eindelijk met een glans straalt, die de heldere vaste sterren soms 100 malen overtreft en in maanlooze nachten zelfs schaduw geeft. Eenige uren na zonsondergang blijft zij zichtbaar, soms langer, soms korter, maar altijd gaat zij vóór middernacht onder. Zij is ook niet altijd zichtbaar; wanneer zij langer dan een half jaar aan den avondhemel geschitterd heeft, verdwijnt zij voor langen tijd, om later opnieuw voor den dag te komen. In dien tusschen-tijd straalt aan den morgenhemel even helder de morgenster, die lang voor de eerste schemering het naderend einde van den nacht