

OVER HET METEN VAN AANTREKKINGS- KRACHTEN.

DOOR

Dr. G. J. MICHAËLIS.

De schoone theorie der algemeene aantrekkingskracht heeft men voornamelijk aan de ontdekkingen van drie mannen te danken. GALILEI leerde de wetten van den vrijen val kennen. KEPLER spoorde de wetten op der beweging van de planeten om de zon. Maar NEWTON leerde het verband inzien, dat bestaat tusschen de beweging van een vallend lichaam en van een planeet. Hij toonde aan, dat de wetten van KEPLER verklaard worden door aantrekkende krachten tusschen de zon en de planeten. Hij nam aan, dat alle lichamen een aantrekking op elkaar uitoefenen, die op eene bepaalde wijze met den afstand verandert, en bewees, voornamelijk door de studie van de beweging der maan, dat de zwaartekracht een bijzonder geval is van de algemeene aantrekkingskracht. De theorie van NEWTON is de grondslag geworden van alle sterrenkundige berekeningen en de nauwkeurigheid, waarmede de uitkomsten met de waarnemingen overeenkomen, is een bewijs voor de volkomenheid dier theorie. Na een onderzoek van de beweging der hemellichamen gedurende twee eeuwen, heeft men geen enkel feit ontdekt, dat met de wet der algemeene aantrekking in strijd is. Nog onlangs heeft de sterrenkundige OPOLZER in eene vergadering van duitsche natuurkundigen de vragen besproken: is de theorie van NEWTON voldoende om de bewegingen der hemellichamen te verklaren? Zijn er redenen, om haar slechts als eene benadering tot de waarheid te beschouwen? In deze voordracht werden een paar afwijkingen van

de theorie besproken, die men bij de beweging der maan, van enkele planeten (voornamelijk Mercurius) en van de Encke'sche komeet heeft opgemerkt.

Het is volgens OPOLZER volstrekt niet zeker, dat die afwijkingen door eene onnauwkeurigheid der theorie van NEWTON veroorzaakt worden. Het kan zeer goed zijn, dat eenige lichamen van ons zonnestelsel nog onbekend zijn, zoodat niet alle aantrekkingen in rekening kunnen gebracht worden.

Men weet hoe de storingen in de beweging der planeet Uranus geleid hebben tot de ontdekking van Neptunus. De fransche sterrenkundige LEVERRIER kwam evenzoo op het denkbeeld, dat de storingen, die men bij Mercurius waarnam, misschien de aanwezigheid van een of meer nieuwe planeten konden verraden, binnen de loopbaan van Mercurius. Hij meende dat deze planeten gezien konden worden als zwarte schijfjes bij haar overgang over de zon. Hoewel zulk een waarneming nog niet gedaan is — eenige opgaven, die daaromtrent vermeld zijn, schijnen aan andere oorzaken toegeschreven te moeten worden — blijft de verklaring zeer goed mogelijk.

De komeet van Encke beweegt zich eenigszins anders dan de berekeningen aangeven. Men heeft gepoogd deze afwijking te verklaren door een weerstand, dien de komeet bij hare beweging zou ondervinden, ten gevolge van fijn verdeelde stoffen in ons zonnestelsel. Volgens de berekening van OPOLZER levert zulk eene verklaring goede uitkomsten op. Dit zou eenvoudig bewijzen, dat behalve de algemeene aantrekking nog andere krachten bij de beweging der hemellichamen in het spel zijn, zonder afbreuk te doen aan de theorie van NEWTON. Er is inderdaad volgens OPOLZER geen noodzakelijkheid, om aan die eenvoudige theorie iets te veranderen.

De wet der algemeene aantrekking is in de laatste jaren, behalve door de beweging der hemellichamen, nog op andere wijze bevestigd, en wel door rechtstreeksche metingen.

Uit de theorie moet namelijk in de eerste plaats volgen: dat het gewicht van een voorwerp afneemt, als men het van de oppervlakte der aarde verwijderd. De kracht, die de aarde uitoeft, moet van den afstand tot het middelpunt afhangen. Hoe grooter die afstand, des te geringer het gewicht. De vermindering, die een bepaald gewicht moet ondergaan, door het op een gegeven hoogte te brengen, is uit de wet van NEWTON gemakkelijk te berekenen.

In de tweede plaats volgt uit de theorie, dat lichamen in onze omgeving elkaar moeten aantrekken.

Eindelijk worden voorwerpen op de oppervlakte der aarde niet alleen door deze, maar ook door de zon en de maan aangetrokken, en wel in verschillende richtingen, naarmate van de standen dezer hemellichamen.

Wanneer men in staat is deze verschijnselen waar te nemen, heeft men even zoovele bewijzen voor de juistheid der theorie gevonden.

Met de eenvoudigste werktuigen kunnen dikwijls de belangrijkste natuurkundige vraagstukken worden opgelost, indien men de middelen heeft om zeer nauwkeurig waar te nemen. Een gewone balans en een gewicht, dat aan een langen dunnen draad is opgehangen, zijn de voornaamste werktuigen, door welke men proefondervindelijke bewijzen voor de theorie van NEWTON heeft kunnen geven. Maar hoe eenvoudig deze werktuigen in beginsel mogen wezen, wij zullen duidelijk trachten te maken, welke moeilijkheden eene gewone weging en de bepaling van den stand van een schietlood opleveren, als men deze voor het genoemde doel wil gebruiken. Beginnen wij met het een en ander mee te deelen omtrent de balansproeven van VON JOLLY, door welke deze geleerde de vermindering van een gewicht met de hoogte boven den grond bepaald heeft. Het is gemakkelijk in te zien, dat de vermindering, die het gewicht ondergaat, als men het op eene hoogte van eenige meters brengt, zeer klein moet zijn. Die afstand toch, vergeleken met den straal der aarde, is een zeer kleine grootheid. Als men een kilogram op eene hoogte van 5 meters brengt, vindt men door berekening een afneming in gewicht van 1,57 milligram. Met behulp van een zeer gevoelige balans is men echter in staat, om zulk een gering verschil in gewicht waar te nemen.

VON JOLLY stelde een balans op een hoogte van ruim 5 meters boven den bodem van een lokaal op. Zij was, zooals met gevoelige werktuigen altijd gebeurt, door een glazen kast omgeven, ten einde den invloed van luchtstromingen te vermijden. De bodem der kast was doorboord, om draden door te laten, die aan de schalen bevestigd waren; aan elk dezer draden hing, nagenoeg 5 meters onder de eerste, nog een weegschaal. Ieder der armen van de balans droeg dus twee schalen.

Werden in elke der bovenste schalen stukken van één kilogram geplaatst, dan was er evenwicht. Bracht men echter het eene gewicht in een der onderste schalen over, dan kwam het nader bij de opper-

vlakke der aarde en moest daarom zwaarder worden. Dus moest nu de balans afwijken en werkelijk gebeurde dit. Door kleine gewichten bij het kilogram in de bovenste schaal te voegen, kon men het gewichtsverschil meten en vergelijken met de waarde, die uit de theorie berekend was.

De proef schijnt eenvoudig genoeg, maar wordt ingewikkeld door allerlei omstandigheden, waarmede men rekening moet houden.

Het bleek in de eerste plaats aan VON JOLLY, dat als de kast, die de balans omsloot, een oogenblik geopend en daarna weder gesloten werd, een merkbare afwijking ontstond, die eerst langzamerhand weder verdween. De beide armen der balans werden namelijk niet even sterk verwarmd of afgekoeld door den binnendringenden luchtstroom; de eene werd door de uitzetting iets langer dan de andere, en de afwijking was hiervan het gevolg. Eene fijne balans is, hoe vreemd dit oppervlakkig ook schijnen moge, een hoogst gevoelige thermometer. Als de eene arm slechts $0,01^{\circ}$ Celsius hooger in temperatuur was dan de andere, en in twee even hoog gelegen schalen een kilogram geplaatst was, had dit bij het werktuig van VON JOLLY denzelfden invloed, of bij het eene gewicht 0,186 milligram gevoegd ware.

Om den invloed der temperatuur nader te onderzoeken, werd een brandende kaars in de verlengde richting van een der balansarmen op een afstand van 1,5 meter van de kast geplaatst, die het werktuig omsloot. De warmtestralen moesten dus het glas doordringen, voor dat zij het naastbijgelegen deel der balans konden bereiken. Reeds na 7 minuten nam men een zeer merkbare afwijking waar, ten gevolge van de grootere verwarming van den eenen arm. Een thermometer in de balanskast stond slechts $0,1^{\circ}$ Celsius hooger dan te voren.

Om zooveel mogelijk de storende werking van de warmtestralen te neutraliseeren, werd de balans nog door een tweede kast omgeven. Deze werd van binnen en van buiten met zilverpapier beplakt, eene stof, die de warmte slecht doorlaat. Een klein gedeelte was niet beplakt, om den stand van den wijzer te kunnen waarnemen. De voorzijde der kast was uit twee beweeglijke stukken samengesteld. Werd het eene stuk weggenomen, dan was daardoor de eene arm der balans aan de warmtestralen blootgesteld, die de omliggende voorwerpen uitzonden. Op een afstand van 3,5 meter vóór het werktuig bevond zich een muur in de nabijheid van een venster. Naar mate de hemel meer of minder bewolkt was, werden door den muur meer of minder warmtestralen gereflecteerd, die op den balans-

arm vielen en een grootere of kleinere afwijking veroorzaakten. Indien het andere stuk van de beplakte kast weggenomen was, nam men onmiddellijk eene afwijking in de tegenovergestelde richting waar, een bewijs dat de verwarming door den muur de eenige oorzaak van het verschijnsel was. Als de met zilverpapier overtrokken kast geheel weggenomen werd, bleef het werktuig zelden in rust, maar schommelde ten gevolge der ongelijke verwarming van de armen der balans, onophoudelijk heen en weer. Bij proefnemingen was de tweede kast altijd noodzakelijk, en dan nog werden alleen in de morgenuren goede uitkomsten bij de wegingen verkregen.

De draden, welke de bovenste en onderste schalen verbonden, waren door houten kanalen tegen luchtstroomingen beveiligd. De onderste weegschalen waren door een afzonderlijke kast omsloten.

De balans zelve was natuurlijk met buitengewone voorzorgen afgewerkt, die hier niet kunnen worden meegedeeld.

De gewichten bestonden bij de eerste proeven uit koper, dat zorgvuldig gepolijst en daarna galvanoplastisch met nikkel overtrokken was. Het bleek, dat zij dan langen tijd onveranderd bleven onder den invloed der atmosfeer. Bij latere proeven werden als gewichten glaskolven gebruikt, die met kwikzilver gevuld waren.

Zonder ons nu verder te verdiepen in de moeilijkheden, welke bij de wegingen overwonnen moesten worden, zullen wij de uitkomsten vermelden, welke VON JOLLY verkregen heeft. Hij bevond dat een kilogram, hetwelk van de bovenste schaal in de onderste overgebracht werd, met 1,51 milligram in gewicht toenam. Uit de theorie van NEWTON was eene vermeerdering van 1,66 milligram berekend.

Hoewel dit onderscheid tusschen het berekende en het waargenomen gewichtsverschil zeer gering is, had VON JOLLY toch met te veel voorzorgen gewerkt, om het aan waarnemingsfouten te kunnen wijten. De vermoedelijke oorzaak was, dat het lokaal, waarin hij zijne proeven nam, in een laag gedeelte der stad München gelegen was en omringd was door hooge gebouwen. Deze oefenden eene aantrekking naar boven uit, welke natuurlijk bij de berekening verwaarloosd was.

VON JOLLY heeft later zijne proeven herhaald in een afzonderlijk staanden toren en poogde op die wijze eene nog grootere overeenstemming tusschen waarneming en berekening te vinden. De afstand tusschen de bovenste en onderste schalen der balans bedroeg nu ruim 21 meters; een kilogram van de bovenste schaal in de onderste overgebracht,

onderging nu een gewichtsvermeerdering van 31,7 milligram. De theorie gaf echter een verschil aan van 33 m.g., en hierbij was zelfs in rekening gebracht, dat München op eene hoogvlakte van 500 meters boven de oppervlakte der zee gelegen is. De afwijking had, zooals men ziet, in denzelfden zin plaats als bij de vorige proefnemingen. Er valt bijna niet aan te twijfelen, dat de oorzaak gezocht moet worden in de aantrekking, welke hooge gebouwen in de nabijheid uitoefenden. Deze aantrekking moest eene schijnbare vermindering in gewicht veroorzaken van een lichaam, dat in een der onderste weegschalen geplaatst was.

Het moge vreemd schijnen, dat zulke geringe aantrekkingen merkbaar zouden wezen bij eene eenvoudige weging; maar als men eene andere proef, door VON JOLLY genomen, in aanmerking neemt, zal men de nauwkeurigheid der metingen nog beter inzien.

Onder de balans werd een looden kogel aangebracht met een middellijn van omstreeks een meter. Deze kogel trok een gewicht, dat in een der onderste schalen geplaatst was, aan. Dit moest ook wel het geval zijn, als het gewicht in de bovenste schaal was overgebracht, maar daar dan de afstand tot het middelpunt van den looden bol zoo veel grooter was, werd die aantrekking onmerkbaar.

Wij deelden mede, dat een kilogram, hetwelk in een schaal werd overgebracht, die 21 meters lager lag, daarbij met 31,7 m.g. in gewicht toenam. In geval de looden kogel zich onder de balans bevond, bedroeg die vermeerdering 32,3 milligram.

De kogel woog 5775 kilogram en oefende volgens deze proef op een bolvormig lichaam van één kilogram een aantrekking uit van 0,6 milligram, als de afstand der middelpunten ruim een halven meter bedroeg.

Deze aantrekking is dus zoo gering, dat zij slechts met de fijnste werktuigen kan worden waargenomen.

Waarlijk, men kan wel beweren, dat, als de aantrekkingskracht, die alle lichamen op elkander uitoefenen, niet afgeleid ware uit de beweging der hemellichamen, zij door directe waarneming wellicht nooit ontdekt ware. Uit de laatstvermelde waarneming van VON JOLLY kan nog eene merkwaardige uitkomst worden berekend. Als namelijk de kracht gemeten is, waarmede een looden bol van bekende grootte een kilogram aantrekt, kan daaruit volgens de theorie van NEWTON de aantrekking berekend worden van een looden bol zoo groot als onze aarde op dat kilogram. Door vergelijking van deze waarde met de werkelijke aantrekking van de aarde, vindt men de verhouding tusschen de dicht-

heid van onze aarde en van lood. Laatstgenoemde grootheid is bekend, de eerste kan dus berekend worden. Hierbij is ondersteld, dat de aarde overal dezelfde dichtheid heeft. Daar dit geenszins het geval is, wordt op deze wijze slechts eene gemiddelde waarde voor de dichtheid bepaald, eene grootheid, wier kennis echter van groot belang is. Vox JOLLY leidde uit eene reeks van waarnemingen voor die dichtheid het getal 5,69 af.

Reeds veel vroeger heeft men op allerlei wijzen getracht, om de dichtheid der aarde te leeren kennen. De oudst bekende bepaling is gedaan door MASKELIJNE.

De methode bestond in de waarneming der richting van een schietlood, aan weerszijden van een bergketen in Portshire in Schotland. Deze keten staat geheel op zich zelf en heeft een zeer eenvoudigen vorm. Zijn inhoud en de ligging van zijn zwaartepunt konden daarom bepaald worden en ook zijn gewicht, want de samenstelling der gesteenten, waaruit hij bestaat, was bekend. Deze gegevens waren voldoende. Een draad, waaraan een gewicht was opgehangen, nam aan weërskanten van den berg eene andere richting aan, want de berg trok het gewicht een weinig naar zich toe. Uit het verschil in richting kon de aantrekking tusschen twee bekende lichamen (het gewicht en de bergketen) op een bepaalden afstand (dien der zwaartepunten) afgeleid worden. Dit is, zooals reeds werd opgemerkt, voor de bepaling der dichtheid genoeg. MASKELIJNE vond het getal 4,7.

In het jaar 1774 heeft men dus al een gewicht, dat aan een draad was opgehangen, gebezigd, om aantrekkingen te bepalen, die niet naar het zwaartepunt der aarde gericht zijn. Wij zullen spoedig zien, welk eene belangrijke uitbreiding deze methode in later tijd ondergaan heeft.

Een ander middel, om de dichtheid van onze aarde te bepalen, werd in de jaren 1797 en 1798 door CAVENDISH toegepast. Ook deze waarnemingen, waarbij aantrekkingskrachten volgens een ander beginsel gemeten werden, willen wij kortelijk vermelden.

Het werktuig, waarvan CAVENDISH zich bediende, was een zoogenaamde wringingsbalans. De inrichting daarvan is, wat het hoofdbeginsel betreft, hoogst eenvoudig. Een staaf is aan een metaaldraad opgehangen, zoodat zij horizontaal gericht is. Aan beide uiteinden van de staaf zijn bolvormige lichamen bevestigd. Het werktuig bevindt zich in rust. Als de staaf uit dien stand gewenteld wordt, ontstaat in den draad eene wringingskracht. Daardoor wordt de staaf,

nadat hij weder losgelaten is, na eenige slingeringen in den oorspronkelijken stand terug gevoerd. Hoe grooter de kracht, die de staaf doet wentelen, des te grooter is ook de afwijking. Als dus de staaf door eene onbekende kracht uit den evenwichtsstand gevoerd wordt, kan die kracht bepaald worden door den hoek van afwijking te meten.

Het is duidelijk, dat voor eene nauwkeurige bepaling allerlei voorzorgen noodig zijn, dat b.v. de geheele toestel in een afgesloten ruimte moet gebracht worden, om den storenden invloed van luchtstromingen te vermijden; maar wij willen nu alleen het beginsel beschrijven, waarop proeven, zooals CAVENDISH ze nam, berusten.

CAVENDISH dan bracht looden bollen in de nabijheid van de bolvormige lichamen, die aan de uiteinden der wringingsbalans zich bevonden. Er had aantrekking plaats, waardoor de balans afweek. De afwijking werd nauwkeurig gemeten en daaruit de grootte der aantrekkingskracht afgeleid. Hetzelfde resultaat, als bij de proeven van MASKELIJNE en later van VON JOLLY, was dus verkregen; de kracht namelijk, die tusschen lichamen van bekend gewicht op een bepaalden afstand wordt uitgeoefend. De gemiddelde dichtheid der aarde kon daarom ook door middel dezer proeven berekend worden en de uitkomst was het getal 5,48. Dezelfde methode is later door andere geleerden met verbeterde werktuigen en scherpere hulpmiddelen tot waarneming, herhaaldelijk toegepast. Zoo vonden de fransche natuurkundigen CORNU en BAILLE op deze wijze voor de dichtheid der aarde het getal 5,56, hetwelk meer nadert tot de uitkomst van VON JOLLY, dan eene der andere bepalingen.

Al deze proefnemingen bewijzen, dat de zwaartekracht een gevolg is van de algemeene aantrekkingskracht; dat deze, volgens de wet van NEWTON omgekeerd met het vierkant van den afstand evenredig is; en dat de lichamen op de oppervlakte der aarde elkaâr op dezelfde wijze aantrekken als de hemellichamen.

Maar ook de zon en de maan moeten voorwerpen op de oppervlakte der aarde op merkbare wijze aantrekken, de eerste omdat hare massa zoo verbazend groot is, de laatste omdat haar afstand betrekkelijk gering is. Het verschijnsel van ebbe en vloed is een onmiddellijk gevolg dier werkingen.

Wij willen een overzicht geven van de pogingen, die gedaan zijn, om ook deze aantrekkingskrachten onmiddellijk te meten. Het werktuig, waarmede men deze pogingen in het werk gesteld heeft, bestond meestal eenvoudig uit een gewicht, dat aan een langen dunnen draad was opgehangen.

Iedereen weet, dat zulk een draad door de zwaartekracht een verticalen stand inneemt, maar niet iedereen denkt er aan, dat de richting van den draad ook afhankelijk is van de aantrekking, die de zon en de maan op het gewicht uitoefenen. Naarmate van de standen, welke die hemellichamen ten opzichte van de aarde hebben, moeten zij een verschillenden invloed op de richting van den draad hebben.

Het is eene vraag, die door berekening kan beantwoord worden, hoe groot deze invloed is, en het zou eene schoone bevestiging der theorie van NEWTON zijn, als de berekende afwijking werkelijk werd waargenomen. Door zulke metingen zouden bovendien belangrijke vraagstukken omtrent de massa's en de afstanden van de zon en van de maan kunnen worden opgelost.

Groot is de invloed niet. De bekende sterrenkundige PETERS heeft berekend, dat de afwijking, die de maan in den gunstigsten stand aan een schietlood kan geven, 0,017 seconde bedraagt, terwijl de zon hoogstens eene afwijking van 0,008 seconde teweegbrengt. Dergelijke kleine hoeken te meten, is geene gemakkelijke taak. Men bedenke slechts, dat de afwijking, welk een slinger van 10 meter lengte, door de aantrekking van de maan kan ondergaan, ongeveer het 0,0008 deel van een millimeter bedraagt.

Men heeft echter al vroeg pogingen gedaan om het genoemde doel te bereiken. Reeds in het jaar 1817 heeft GRUITHUISEN, professor te München, eene verhandeling geschreven, waarin vele onpraktische beschouwingen, maar ook hoogst merkwaardige denkbeelden voorkwamen. Hij stelde daarin onder anderen niet meer of minder voor, dan openingen in de aarde te graven van eenige duizenden voeten diep. Ook wilde hij horizontale kanalen van 15 mijlen lengte onder de Alpen laten boren, om daarin een zoogenaamd catachtonisch observatorium te stichten. Het is onbegrijpelijk, schreef GRUITHUISEN, welke voortreffelijke diensten zulk een onderaardsche sterrenwacht aan de wetenschap zou kunnen bewijzen.

Men heeft b.v. altijd veel moeite, om aan de meetwerktuigen op de oppervlakte der aarde een behoorlijk vasten stand te geven. Als een voorbeeld welke bezwaren dit kan opleveren, moge de opmerking van ZÖLLNER dienen in zijne verhandeling over den horizontalen slinger, (waarover straks nader), dat hij bij zijne waarnemingen stoornis ondervond door de schudding, die een trein veroorzaakte, welke op een afstand van 1,5 kilometer voorbijreed.

In de diepe mijnen, welke GRUITHUISEN zich voorstelde, zouden zulke hindernissen niet voorkomen. Bovendien zou men daarin geen invloed ondervinden van temperatuursveranderingen. Zelfs zouden uurwerken niet eens van compensatie-slingers voorzien behoeven te zijn. De openingen der kanalen wilde hij met nauwkeurig verdeelde ringen voorzien, om met behulp van deze ook over dag plaatsbepalingen van sterren te kunnen verrichten.

Tot de voornaamste werktuigen in deze onderaardsche observatoria zouden gewichten behooren, opgehangen aan fijne draden, van 1500 voet lengte, om te onderzoeken, welken invloed de aantrekking van de zon en de maan op hunne richtingen hadden. Voorloopig deed hij onderzoekingen met slingers, die 10 voet lang waren.

“Reeds bij mijne eerste onderzoekingen,” schreef GRUITHUISEN, “bemerkte ik, dat dit instrument, hetwelk ik *elkysmometer* wil noemen, bewegingen verried, die niet aan toevallige oorzaken konden worden toegeschreven, maar afhingen van de werking der zwaartekracht, van de beweging der aarde en van den invloed van andere groote hemellichamen. Het meest in het oogvallend was de oostelijke afwijking van den draad tusschen 8 en 9 uur 's ochtends. Ook de aantrekking, welke de maan op den elkysmometer uitoefende, was in den gunstigsten stand, duidelijk waar te nemen.”

Ofschoon deze proeven met veel te weinig voorzorgen genomen waren, om eenig vertrouwen in de geloofwaardigheid harer uitkomsten te kunnen stellen, was het denkbeeld, dat er aan ten grondslag lag, volkomen juist. Dit denkbeeld is dan ook in de laatste jaren weer opgevat en op veel volmaakter wijze ten uitvoer gebracht.

De duitsche natuurkundige ZÖLLNER, die in het vorige jaar overleden is, heeft gepoogd het vraagstuk — het meten namelijk der aantrekking van andere hemellichamen — op te lossen met behulp van een werktuig, dat hij horizontalen slinger genoemd heeft.

Stel u een staaf voor, die aan een draad is opgehangen. Daar de draad in de nabijheid van een uiteinde is vastgemaakt, zal de staaf natuurlijk niet horizontaal gericht zijn. Zij kan echter in dien stand gebracht worden door een tweeden draad, waarvan het aanhechtingspunt zich nabij dat van den eersten bevindt en die verder aan een vast punt onder de staaf bevestigd is. Beide draden zijn even lang. De vaste punten, waarmede hunne uiteinden verbonden zijn, liggen in dezelfde verticaal. Dit is de horizontale slinger. Het is duidelijk, dat

deze slinger zich zeer gemakkelijk in een horizontaal vlak verplaatsen kan, want zijn zwaartepunt zal daarbij rijzen noch dalen en er is niets wat de beweging belemmert, dan de wringing der draden. Dien weerstand kan men zoo klein maken als men wil. De slinger is dus in elken horizontalen stand in evenwicht, als er alleen een verticale kracht op werkt. Indien echter eene kracht op het werktuig invloed heeft, wier richting van de verticaal afwijkt, zal de slinger slechts in een bepaalden stand tot rust komen. Bij elke verandering in richting der zwaartekracht zal de horizontale slinger een anderen stand aannemen. Als b.v. de zon en de maan voortdurend in verschillende richtingen de staaf aantrekken, moet deze daarbij kleine verplaatsingen ondergaan. Bij eene zorgvuldige bewerking is deze slinger een hoogst gevoelig instrument. ZÖLLNER vervaardigde zulk een werktuig, waarmede hij in staat was eene verandering in de richting der zwaartekracht te meten, die slechts 0,001 seconde bedroeg. Volgens de boven meegedeelde berekening van PETERS was deze gevoeligheid groot genoeg om de beweging te bepalen, die door de aantrekkingen van de zon en van de maan werd voortgebracht. De moeilijkheid was, om het werktuig zoo vast op te stellen, dat de waarnemingen niet door schuddingen en andere toevallige oorzaken gestoord werden. ZÖLLNER plaatste zijn slinger eerst in een kelder van het akademiegebouw te Leipzig. De temperatuur was daarin zeer standvastig. De gevoeligheid van het werktuig bleek echter zoo groot te zijn, dat, als een gehoorzaal, die twee verdiepingen hooger lag, met toehoorders bezet werd, de slinger afweek. De afwijking hield regelmatig op, zoodra de zaal ontruimd was. Zij werd veroorzaakt door de drukking welke zich door de dikke muren van het gebouw heen op dien afstand had voortgeplant.

Later bracht ZÖLLNER den horizontalen slinger naar den tuin van het observatorium over. Hij werd daar bevestigd aan een massieve zuil van zandsteen, die omgeven was door een bekleeding van slechte warmtegeleiders. Daar om heen was nog een houten gebouwtje gezet, dat de zonnestralen moest tegenhouden. In deze omhullingen bevonden zich openingen, ten einde door middel van een kijker den stand van den slinger te kunnen waarnemen, die daartoe nog van een spiegel voorzien was.

In weerwil van deze voorzorgen, is ZÖLLNER er niet in geslaagd, om aan zijn horizontalen slinger zulk een vasten stand te geven, dat hij met zekerheid de aantrekking van de maan kon waarnemen. Wel blijkt uit observaties, die hij openbaar heeft gemaakt, dat het werk-

tuig regelmatige bewegingen aannam, die aan overeenkomstige veranderingen in de richting der zwaartekracht toegeschreven moeten worden.

Men merkte al spoedig op, dat het denkbeeld van ZÖLLNER reeds vroeger uitgevoerd was. Eenige jaren te voren had de fransche natuurkundige PERROT hetzelfde werktuig vervaardigd en er eenige voorloopige proeven mede genomen.

Maar zelfs 40 jaren vóór de ontdekking van ZÖLLNER bleek hetzelfde denkbeeld reeds uitgevoerd te zijn. In het bekende *Journal* van DINGLER was toen reeds eene verhandeling verschenen, getiteld: "*Astronomische Pendelwage, nebst einer neuen Nivellirwage, erfunden und dargestellt von LORENZ HENGLER, academischen Bürger an der Hochschule zu München.*"

In deze verhandeling werd bijna volmaakt dezelfde horizontale slinger beschreven, die later, zonder er iets van te weten, door ZÖLLNER opnieuw werd uitgevonden. Maar dat niet alleen: HENGLER heeft reeds zeer uitvoerige onderzoekingen met dit werktuig in het licht gegeven. "Mijne eerste proeven," zoo schreef hij, "waren gericht op de aantrekkingen van de zon en de maan. Tot dit doel sloot ik den slinger die 10 voet lang was, hermetisch af, zoodat slechts het eene uiteinde van den hefboom door middel van een microscoop kon worden waargenomen.

Ik stelde nu in het midden van Maart, toen het nieuwe maan was, den slinger zoo op, dat hij 's middags om 12 uur in den meridiaan stond en nu maakte hij de volgende slingeringen: van 12 uur af bewoog hij zich voortdurend naar het westen tot omstreeks 3 uur, keerde daarna langzamerhand terug, zoodat hij tegen 6 uur weer in den meridiaan stond; daarna week hij af in oostelijke richting tot 9 uur en kwam tegen 12 $\frac{1}{2}$ uur in den meridiaan terug. Deze schommelingen herhaalden zich steeds in denzelfden tijd, waarvan ik mij twee maanden lang dagelijks overtuigde. Als ik de grenzen der slingeringen op verschillende dagen vergeleek, vond ik, dat ze het grootst waren bij nieuwe en volle maan. De dagelijksche verandering der slingerwijdte heb ik wegens de ongeschiktheid van het lokaal niet kunnen bepalen. Ik kan dus alleen als ontwijfelbaar feit vaststellen, dat de bewegingen werkelijk door de maan veroorzaakt werden; ik ben echter overtuigd, dat men de aantrekking der maan en dus hare massa door dit instrument nauwkeurig bepalen kan, zoodra men een geschikte standplaats gevonden heeft."

Als men bedenkt, dat HENGLER hier uitkomsten mededeelt, die ZÖLLNER later, met veel volmaakter hulpmiddelen toegerust, niet heeft kunnen

vinden, heeft men wel geen reden, om aan de geloofwaardigheid van HENGLER te twijfelen, maar men moet aan die uitkomsten toch niet al te veel gewicht toekennen.

Van HENGLER kon men aanvankelijk niets anders te weten komen dan dat hij een leerling van GRÜTHUISEN geweest is en dat hij in 1830 en 1831 als kandidaat in de philosophie en de theologie in München gestudeerd heeft. Daarna was hij spoorloos verdwenen.

Bij nader onderzoek kwam aan het licht, dat hij slechts korten tijd te München vertoefde, om zich aan de wiskunde en de sterrenkunde te wijden; terwijl hij de studie der theologie, die hij vroeger beoefende, wilde laten varen. Hij kon echter de noodige gelden niet bijeenkrijgen, die een langer verblijf aan de universiteit vereischte, hoewel hij privaat-onderwijs gaf, luchtballons vervaardigde en uitvindingen op het gebied der optica deed. Hij heeft later zijn leven als geestelijke op een klein plaatsje doorgebracht, maar de liefde voor de natuurkunde bleef hem bij en hij heeft o.a. nog een uitstekenden verrekijker vervaardigd.

Het vraagstuk der directe meting van de aantrekking der maan is in de laatste jaren weer opgenomen door eenige engelsche natuurkundigen. Een comité van de *British Association* belastte zich met dit onderzoek. De uitkomsten der voorloopige proefnemingen werden in 1881 op eene vergadering te York door G. H. DARWIN en HORACE DARWIN meegedeeld.

Het beginsel, waarop de waarnemingen berustten, werd door den beroemden natuurkundige WILLIAM THOMSON aan de hand gedaan.

Een zwaar koperen gewicht werd aan een dunnen draad opgehangen. Een kleine spiegel hing aan twee even lange cocondraden, waarvan de eene was vastgemaakt aan het gewicht, de andere aan een vast voorwerp. De minste beweging van den slinger verried zich door een draaiing van den spiegel. Deze kon zeer nauwkeurig bepaald worden door middel van een kijker. Onder den kijker was een verdeelde schaal aangebracht, waarvan men het spiegelbeeld door dien kijker kon waarnemen. Uit de verplaatsing van het beeld kon de wenteling van den spiegel en daardoor de verandering in stand van den slinger worden bepaald.

Deze methode is zeer gevoelig. Zij werd ook door ZÖLLNER bij de waarneming van den horizontalen slinger en door VON JOLLY bij zijne balansproeven gevolgd.

Om den invloed van toevallige storingen te verminderen, werd de slinger in een mengsel van alcohol en water geplaatst.

Bijzondere voorzorgen werden genomen om de temperatuur van het werktuig standvastig te houden.

Het bleek, dat eene verandering in richting van den slinger, die 0,005 seconden bedroeg, kon waargenomen worden. De gevoeligheid was zoo groot, dat het werktuig een anderen stand aanwees, naarmate een waarnemer 'op een afstand van 16 of 17 voet zich bevond. Een dikke muur, waaraan de slinger bevestigd was, bleek zeer sterk onderhevig aan den invloed van vochtigheid en kleine stooten. Eene verandering in helling was duidelijk aan den slinger merkbaar, als bij vochtig weer een geringe hoeveelheid water op den muur neersloeg. Later werd daarom de slinger bevestigd aan een koperen buis, die rondom door water omgeven was.

De afwijkingen van den draad werden in de richting van den meridiaan gemeten. Men nam eene dagelijksche periode van slingeringen in den meridiaan waar. Om 6 uur 's morgens stond de slinger het meest naar het Zuiden, om 6 uur 's avonds het meest naar het Noorden. De gemiddelde dagelijksche stand bewoog zich gedurende verscheidene weken, waarin waarnemingen gedaan werden, voortdurend naar dezelfde richting. Soms bleef de slinger gedurende eenige dagen vrij rustig, dan weer was hij veel beweeglijker.

Er werd in het verslag voorgesteld, om de inrichting van het instrument nog een weinig te veranderen en dan de waarnemingen voortzetten. De mogelijkheid is aangetoond, om de aantrekking der maan te meten, maar de engelsche geleerden betwijfelen het, of men op de oppervlakte der aarde aan den slinger een behoorlijk vast steunpunt kan geven.

Zoo staat het tegenwoordig met dit vraagstuk. Men ziet hoe de wet der algemeene aantrekkingskracht op de meest verschillende wijzen onderzocht en altijd bevestigd is geworden. Slechts enkele zaken uit de geschiedenis dezer theorie hebben wij aangevoerd; genoeg echter om te doen zien, dat ook op dit gebied nog vele belangrijke uitkomsten van het natuuronderzoek te verwachten zijn.
