

OVER HET METEN VAN TIJD.

DOOR

Dr. V. A. JULIUS.

Overbodig is het voorzeker in deze vergadering uit te weiden over den grooten vooruitgang, die in de laatste vijftig jaren op elk gebied der natuurwetenschappen heeft plaats gehad. Ik breng slechts in herinnering, dat hij hoofdzakelijk verkregen werd door een juist stelsel van proefneming.

Een proef heeft weinig waarde, indien zij niet gepaard gaat met meting. In elk geval leert zij niet wat zij leeren kan, als de grootheden, welke er bij in het spel komen, niet in getallen worden uitgedrukt.

Metten is het werk van een ieder, die een groep van natuurverschijnselen in den grond wil onderzoeken, en verbazend is de opoffering van tijd en moeite, die menig geleerde zich getroost om tot de juiste waarde van een grootheid te geraken.

Om te meten heeft men een maat noodig. Duidelijk is het, dat de aard van de maat bepaald wordt door den aard van hetgeen gemeten moet worden. Zal men een afstand meten, dan is de maat een bepaalde afstand; zal men een kracht meten, dan is de maat een bepaalde kracht; zal men een elektriciteitshoeveelheid meten, dan is de maat een bepaalde hoeveelheid elektriciteit.

Heden avond wensch ik tot u te spreken *over het meten van tijd*. Bij

! Voorlezing gehouden in het natuurkundig gezelschap te Utrecht, op 2 Februari 1877.

den graad van nauwkeurigheid, waarmede men zich in het dagelijkse leven vergenoegt, is tegenwoordig niets gemakkelijker. Zoo men al niet het voorrecht heeft een horloge in zijn zak te dragen, de openbare klokken stellen ieder in de gelegenheid, tijdsverloopen te bepalen. Maar toch reken ik op uwe belangstelling, indien ik de beginselen tracht te ontwikkelen, waarop het meten van tijd berust en tegelijk u de inrichting duidelijk te maken van sommige instrumenten, die men daartoe gebruikt.

De logische gang van een voordracht zou eischen, dat ik begon met een bepaling te geven van hetgeen "tijd" is. Maar ik zal er mij niet aan wagen. Er zijn begrippen, die niet vatbaar zijn voor nadere omschrijving, en hieronder reken ik ook het begrip "tijd". Reeds de heilige AUGUSTINUS heeft gezegd: "Wanneer iemand mij vraagt wat tijd is, zoo weet ik het; maar wanneer hij het van mij wil weten, dan weet ik het niet." Deze betekenis van onvermogen is niet door alle latere denkers onderschreven. Als voorbeeld noem ik LAPLACE, die beweerd heeft: "Tijd is de indruk, die in ons geheugen achtergelaten wordt door een reeks van gebeurtenissen, waarvan wij zeker weten, dat zij na elkander zijn voorgevallen." ¹ Maar het komt mij voor, dat tijd geen indruk in ons geheugen kan zijn, hoewel het zonder twijfel het geheugen is, dat bij ons het ontstaan van het begrip tijd mogelijk maakt.

Minder schroomvallig ben ik met het geven van een antwoord op de vraag: hoe zich bij ons het begrip "tijd" ontwikkelt. Niet dat in dit opzicht eenstemmigheid heerscht: velen zijn er, volgens wier meening tijd zelfs geen begrip is, maar een vorm waarin wij ons de dingen, van welke wij indrukken ontvangen, voorstellen. Intusschen kan ik mij met deze zienswijze niet vereenigen, en hierbij bevind ik mij in goed gezelschap.

Het vormen van het begrip "tijd" wordt voorafgegaan door het vormen van de voorstelling "tijdsverloop". De voorstelling "tijdsverloop" wordt verkregen door het gelijktijdig waarnemen van twee verschijnselen, en door het waarnemen van twee verschijnselen, die niet tegelijk voorvallen: in dier voege, dat een verschijnsel op ons zijn indruk maakt terwijl de herinnering aan den indruk, door een vroeger verschijnsel achtergelaten, nog niet is uitgewischt.

¹ Le temps est pour nous l'impression que laisse dans la mémoire une suite d'événemens, dont nous sommes certains que l'existence a été successive.

Een tijdsverloop is uit den aard der voorstelling begrensd; denkt men zich de bepaalde grenzen weg, dan komt men tot het algemeene begrip "tijd".

Er is veel geschreven over de oneindigheid van den tijd, en dus over de stelling dat de tijd zonder begin en zonder einde is. Naar mijn inzien is het nutteloos zich hiermede bezig te houden. Tijd is gebonden aan verschijnselen. Beweert men dat hij geen begin heeft gehad en geen einde zal hebben, dan spreekt men hiermee uit, dat elk verschijnsel voorafgegaan is door een ander en gevolgd zal worden door wederom een ander verschijnsel. Alleen in dezen vorm kan de oneindigheid van den tijd een onderwerp worden van een wetenschappelijken strijd.

Als men nu spreekt van het meten van tijd, dan is het duidelijk dat men bedoelt: het meten van tijdsverloopen, en dat men slechts korthedshalve de eerste uitdrukking bezigt.

Voordat men tot meten kan overgaan, moet men vastgesteld hebben wanneer een tijdsverloop tweemaal zoo groot is als een ander. Hiertoe geraakt men gemakkelijk, indien men eenmaal bepaald heeft welke tijdsverloopen aan elkander gelijk zijn.

Hoe nu zal men uitmaken of twee tijdsverloopen even groot zijn?

Om te onderzoeken of de lengte van twee voorwerpen dezelfde is, zal men deze naast elkaar leggen, of, zoo omstandigheden dit verhinderen, een derde voorwerp achtereenvolgens naast elk van de twee brengen.

Indien men beslissen wil of twee vaten gelijken inhoud hebben, zal met het eene bijv. vullen met water en dit water daarna gieten in het andere vat.

Maar dergelijke hulpmiddelen ontbreken bij de vergelijking van twee tijdsverloopen. Men is genoodzaakt een anderen weg in te slaan.

In de natuur vindt men verschijnselen, die telkens op nieuw zich vertoonen. Men stelt nu eenvoudig vast dat het tijdsverloop tusschen het eerste optreden van een verschijnsel en het tweede optreden er van gelijk is aan het tijdsverloop tusschen het tweede en het derde optreden.

Doch welk zich herhalend verschijnsel zal men uitkiezen? Eb en vloed? Aardbeving? Zonsverduisteringen? Het is in het geheel niet onverschillig wat men neemt.

Zelfs in de vroegste tijden, waarvan berichten tot ons gekomen zijn, heeft men zich voor tijdsbepaling gewend tot verschijnselen, die zich bij beschouwing van den sterrenhemel voordoen.

Om niet te uitvoerig te worden, bepaal ik mij tot de bespreking van

het verschijnsel, dat nog heden ten dage de grondslag van onze tijdmeting is.

Als bekend mag ik onderstellen, dat de aarde draait om een as. Ten gevolge hiervan schijnt het ons toe dat het geheele hemelgewelf om de aarde wentelt en dat de sterren op- en ondergaan. Elke vaste ster en elk punt aan het hemelgewelf bereikt in den loop van een aswenteling der aarde haar grootste hoogte boven den horizon van een plaats; men zegt dat dan die ster of dat punt culmineert.

De tijdsverloopen tusschen de opeenvolgende culminaties van een zelfde vaste ster of een zelfde punt aan het hemelgewelf worden nu aan elkander gelijk gesteld.

Dit komt hierop neer, dat men de tijdsverloopen, waarin de aarde telkens een volledige aswenteling volvoert, als aan elkander gelijk aanneemt.

Moet men nu overeenkomen van welke ster of van welk punt aan het hemelgewelf men de beweging zal nagaan, of geven verschillende sterren dezelfde uitkomsten? Deze vraag beantwoord ik straks.

Het tijdsverloop tusschen twee opeenvolgende culminaties van een zelfde vaste ster noemt men een sterrendag.

Dit is de maat waarmede men tijd meet. Maar die maat is wel wat groot; men zou haar gaarne in gelijke deelen verdeelen.

Hierbij stuit men weer op een moeielijkheid. Hoe weet men of twee deelen van een sterrendag aan elkander gelijk zijn, of met andere woorden: hoe vergelijkt men met elkaar tijdsverloopen, die kleiner zijn dan een sterrendag?

Men kiest een ander verschijnsel, dat zich herhaalt, of dat men zich kan doen herhalen, en stelt vast dat het tijdsverloop tusschen het eerste en het tweede optreden er van gelijk is aan dat tusschen het tweede en derde optreden. Maar steeds dient de aangenomen maat, namelijk de sterrendag, als controle voor de aanwijzingen, welke men langs anderen weg verkrijgt.

Reeds de ouden kenden toestellen, waardoor kleinere tijdsverloopen met elkander konden vergeleken worden, en wel den *zandlooper* en de *waterklok* (clepsydra).

De zandlooper, waarvan sommigen (o. a. MOINET) beweren dat hij eerst in de middeleeuwen in gebruik is geraakt, zal voor geen uwer een vreemde deling zijn. Een eeuw geleden ontbrak hij in geen vergaderzaal en nog steeds wordt hij tot enkele doeleinden aangewend. Hij bestaat uit een aan beide zijden gesloten buis, die in het midden een vernauwing heeft,

waarin zich een zekere hoeveelheid zand bevindt. Dit zand verzamelt zich in het laagste gedeelte der buis; keert men haar om, dan zal het zich door de nauwe opening naar het andere gedeelte begeven, en het tijdsverloop, dat het zand noodig heeft om door de vernauwing te vloeien is het onderdeel van den sterrendag, waarmede men andere tijdsverloopen kan vergelijken. Aangenomen wordt dat het zand telkens het zelfde tijdsverloop besteedt om van het eene gedeelte der buis naar het andere te komen.

Wil men bepalen welk onderdeel van den sterrendag dit tijdsverloop is, zoo moet men onderzoeken hoeveel malen in den loop van een sterrendag het zand door de opening glijdt, waarbij men zorg te dragen heeft, dat zoodra het zand zich in zijn geheel in een der deelen van de buis bevindt, de toestel wordt omgekeerd. Daar intuschen dit omkeeren niet in een onmerkbaar klein tijdsdeel kan volbracht worden, heeft men reeds daarin een bron van onnauwkeurigheid.

De inrichting der waterklok wil ik trachten u duidelijk te maken door dezen toestel (fig. 1). Een bak is gevuld met water; eene opening in den zijwand laat het water uitstroomen en in een glas vloeien. De tijdsverloopen waarin dit glas telkens geheel gevuld wordt, worden beschouwd als aan elkander gelijk te zijn. De waterklok, in eenigszins gewijzigden vorm, was nog in zwang in de 17de eeuw; maar toen moest zij het veld ruimen voor betere tijd-meters.

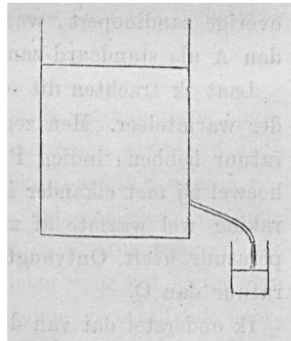
Reeds ARISTOTELES klaagde over de onregelmatige aanwijzing van de waterklok.

Maar hoe kan men tot de meening komen, dat de aanwijzingen, bijv. van een zandlooper, geen vertrouwen verdienen, terwijl men van te voren vastgesteld heeft dat de tijdsverloopen, waarin telkens het zand van het eene gedeelte der buis naar het andere vloeit, gelijk zijn?

Dit is alleen mogelijk door onderlinge vergelijking van de uitkomsten, welke verschillende zandlooperen geven, en bovendien door na te gaan, zoo als ik straks zeide, of gedurende verschillende sterrendagen het zand van een bepaalden zandlooper een zelfde aantal malen door de nauwe opening glijdt.

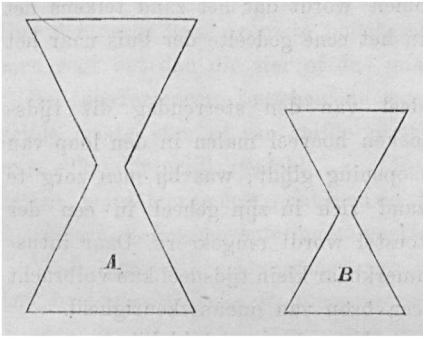
Ik onderstel, dat ik deze beide toestellen (fig. 2, volg. bl.) te gelijk in wer-

Fig. 1.



king breng; zoodra in een van deze beide het zand geheel overgegaan is uit het bovengedeelte der buis in het benedengedeelte, keer ik hem om. Ik onderstel voorts dat, als ik den zandlooper A voor de 2^{de} maal omkeer, ik tegelijk den zandlooper B voor de 4^{de} maal moet onderste boven zetten.

Fig. 2.



Indien nu A dezelfde uitkomsten leveren wil als B, zal de 4^{de} omdraaiing van A samen moeten vallen met de 8^{ste} omdraaiing van B; de 6^{de} van A met de 12^{de} van B enz. De ondervinding leert dat dit niet gebeurt. Nu eens zal B iets eerder leeggelopen zijn, dan eens iets later. Welke van de beide heeft een onregelmatigen gang, A of B? Let men niet op de

hemelverschijnselen, dan kan men met evenveel recht aannemen dat de aanwijzingen van A juist zijn als dat B vertrouwd moet worden. Stelt men vast dat A een regelmatigen gang heeft, dan hebben alle overige zandloopers, waaronder B, een onregelmatigen gang; men kan dan A als standaard-zandlooper beschouwen.

Laat ik trachten dit op te helderen door een uitstapje op het gebied der warmteleer. Men zegt dat twee lichamen P en Q dezelfde temperatuur hebben, indien P geen warmte van Q ontvangt, noch Q van P, hoewel zij met elkander in onmiddellijke aanraking zijn. Geeft P bij aanraking wel warmte af aan Q, zoo zegt men dat P een hoogere temperatuur heeft. Ontvangt P warmte, dan heeft het een lagere temperatuur dan Q.

Ik onderstel dat van deze drie voorwerpen P, Q en R, P een hoogere temperatuur heeft dan Q, en Q een hoogere dan R. Kunnen wij nu ook een verhouding vinden tusschen het temperatuursverschil van P en Q en dat van Q en R?

Men moet zich hier op eene dergelijke wijze helpen als bij het meten van tijd. Behoudens weinig uitzonderingen zal elk lichaam, waaraan warmte toegevoerd wordt en dat daardoor een hoogere temperatuur aanneemt, zich uitzetten en een grooteren omvang verkrijgen.

Nu kiest men een bepaald voorwerp, bijv. een ijzeren staaf, en stelt vast, dat als wij haar verwarmen, zij telkens gelijke temperatuursver-

hoogingen ondergaat, indien ze gelijke omvangsvermeerderingen verkrijgt. Om nu de verhouding te vinden tusschen het temperatuursverschil van P en Q en dat van Q en R, heeft men te bepalen de verhouding van de omvangsvermeerderingen van deze staaf, indien wij haar eerst brengen op de temperatuur van P, dan op die van Q en dan op die van R. De bezwaren, die zich voordoen bij de volvoering van deze aangegeven handelwijze bespreek ik hier niet; zij doen tot het beginsel der zaak niet af, en zijn door de natuurkundigen te boven gekomen.

De ondervinding leert dat, zoo wij zulk een ijzeren staaf als temperatuurmeter of thermometer aanwenden, elk ijzeren voorwerp, bij gelijke temperatuursverhoogingen, gelijke omvangsvermeerderingen verkrijgt, of, zooals men het uitdrukt, dat ijzer zich regelmatig uitzet. Maar de ondervinding leert tevens dat dan elk lichaam van eenige andere stof zich ongelijkmatig uitzet.

De uitkomst is dus deze: Stelt men vast dat ijzer zich gelijkmatig uitzet, dan zetten alle overige stoffen zich ongelijkmatig uit; stelt men vast dat bijv. kwik zich regelmatig uitzet, dan doen alle overige stoffen en ook ijzer dit onregelmatig.

Welke stof heeft men gekozen? In vroegeren tijd kwik; later is men er toe gekomen den kwikthermometer te vervangen door den luchtthermometer. Ik kom zoo straks hierop terug.

Wij keeren weer naar onze zandloopers A en B. Ik heb reeds opgemerkt dat men bijv. den zandlooper A kan aannemen als standaardzandlooper, en dan moeten alle overige dergelijke toestellen naar A beoordeeld worden. Maar bovendien moet men onderzoeken of de aanwijzingen van A in overeenstemming zijn met de uitkomsten van het hemelverschijnsel, dat men eenmaal als grondslag voor het meten van tijd heeft gekozen. Men moet nagaan of gedurende verschillende sterrendagen het zand een zelfde aantal malen door de vernauwing vloeit.

Het blijkt dat dit niet zoo is, en daardoor komt men tot het besluit dat geen enkele zandlooper een regelmatig gang heeft, als men namelijk vasthoudt dat twee willekeurige sterrendagen even lang zijn.

Wat ik van de zandloopers gezegd heb, geldt evenzeer en in sterkere mate van de waterklokken.

Ik heb wat lang stil gestaan bij de beschouwing van den zandlooper, om u zoo mogelijk een goed inzicht te geven in het karakter van tijd-

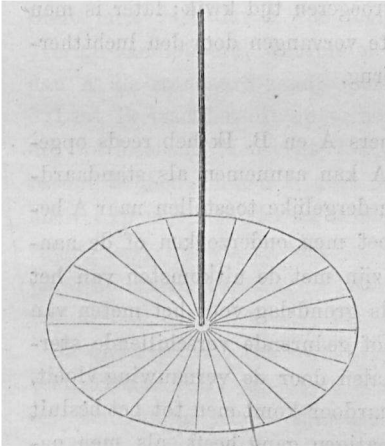
meting. Ik wil nu nog een andere wijze van tijdsbepaling vermelden, die wellicht oudere brieven heeft dan de waterklok, en zelfs tegenwoordig niet geheel buiten gebruik is gesteld. De toestel is algemeen bekend onder den naam van *zonnewijzer*.

Ten gevolge van de draaiing der aarde om haar as schijnt ook de zon in den loop van een dag een cirkelboog te beschrijven. Maar de cirkelbogen, die de zon in opeenvolgende dagen aflegt, zijn niet dezelfde. Zoo weten wij dat in Juni de zon langer achter elkander boven onzen horizon blijft dan in December. Eigenlijk beschrijft de zon geen cirkelboog maar een spiraalboog, die intusschen in den loop van een dag weinig van een cirkelboog verschilt. Die bogen zijn alle in onderling evenwijdige vlakken gelegen, welke loodrecht staan op de as der aarde.

Elk voorwerp dat door de zon beschenen wordt, werpt een schaduwbeeld op zijn omgeving; dit beeld zal zich verplaatsen ten gevolge van de beweging der zon.

Zie hier een vlakke papieren schijf (fig. 3); in het midden, loodrecht

Fig. 3.



er op, is een stok aangebracht. Een brandende kaars verlicht de schijf, behalve in het gedeelte waar de stok een schaduw werpt. Verplaatst men de kaars, dan verplaatst zich het schaduwbeeld.

Brengt men nu den stok evenwijdig aan de as der aarde op een plek waar hij het zonnelicht kan opvangen, dan heeft men een zonnewijzer in den eenvoudigsten vorm. De zon beweegt zich in den loop van een dag bijna evenwijdig aan het vlak van de papieren schijf. Stelt men nu vast dat de tijdsverloopen, waarin de zon gelijke bogen aflegt, gelijk zijn, dan zal ook de

schaduw van den stok in gelijke tijden gelijke hoeken doorloopen.

De aanwijzingen van verschillende zonnewijzers zijn met elkander in volkomen overeenstemming. In zooverre zijn zij zeer bruikbaar tot het meten van tijdsverloopen. Maar behalve dat zij van geen dienst zijn gedurende den nacht of wanneer wolken de zon bedekken, bezitten zij het alles afdoende gebrek, dat de uitkomsten er van niet in overeen-

stemming zijn met die van het hemelverschijnsel, dat men eenmaal als grondslag voor de tijdmeting heeft aangenomen. Met andere woorden: indien wij vasthouden dat verschillende sterrendagen aan elkander gelijk zijn, is de beweging van de zon onregelmatig. Dit is het gevolg hiervan, dat de zon zich in den loop van een jaar verplaatst ten opzichte van de vaste sterren.

Wellicht is zelfs reeds in vroege tijden het denkbeeld opgekomen, den sterrendag in onderdeelen te verdeelen op de volgende wijze. Elke ster, zooals ik reeds heb opgemerkt, schijnt tengevolge van de asdraaiing der aarde in den loop van een sterrendag een cirkel te beschrijven, en wel een volkomen cirkel, niet, zooals de zon, een spiraalboog. Men behoeft nu slechts vast te stellen, dat de tijdsverloopen, waarin een ster gelijke boogjes van dien cirkel aflegt, gelijk zijn, om een verdeling van den sterrendag te krijgen, die gebleken is overwegende voordeelen te bezitten. Het ligt dan voor de hand, het tijdsverloop A, waarin een ster een tweemaal grooter boogje beschrijft dan in het tijdsverloop B, zelf tweemaal grooter dan B te noemen. In dit geval zal het ook volkomen onverschillig zijn, welke ster of welk punt aan den hemelbol wij volgen, mits de ster een vaste ster is, dat wil zeggen behoort tot diegene, welke haar plaats ten opzichte van elkander niet veranderen.

Deze verdeling van den sterrendag werd eerst in werkelijkheid uitvoerbaar, nadat de astronomische metingen een zekeren graad van nauwkeurigheid hadden bereikt; of liever, de nauwkeurigheid dier waarnemingen bepaalt de grenzen der verdeling, welke men langs dien weg kan verkrijgen. Het 24ste gedeelte van een sterrendag heet een uur; het 60ste gedeelte van een uur een minuut; het 60ste gedeelte van een minuut een seconde. Zou men nu ten tijde van KEPLER reeds in staat geweest zijn, door beschouwing der hemelverschijnselen, den sterrendag in seconden te verdeelen? Zeer zeker niet. Maar sedert KEPLER zijn de meetwerktuigen der sterrenkundigen veel verbeterd; tegenwoordig zou men gemakkelijk rechtstreeks uit de plaats eener ster kunnen opmaken hoeveel seconden er verlopen zijn sedert zij een andere plaats van den cirkel innam, dien zij in den loop van een dag schijnt te beschrijven.

Intusschen gaat men niet aldus te werk; die weg is te omslachtig en binnen het bereik van slechts weinigen. Bovendien kunnen wolken den geheelen sterrenhemel aan ons oog onttrekken. Als men niets be-

ters kende, men zou nog steeds van zandloopers en waterklokken gebruik moeten maken, en deze alleen nauwkeuriger dan vroeger door waarnemingen kunnen controleren.

Gelukkig is onze landgenoot CHRISTIAAN HUYGENS in 1657 op het denkbeeld gekomen, den zandlooper en de waterklok te vervangen door een anderen toestel, den slinger.

Wanneer men eenig voorwerp loslaat, zal het vallen tengevolge van de aantrekkende werking der aarde; het zal een rechte lijn beschrijven. Maar indien het aan een koord vastgemaakt is, en men het koord in de hand houdt, is het lichaam niet meer vrij; het zal geen rechtlijnige beweging krijgen, maar gedwongen zijn steeds op een bepaalden afstand van het andere uiteinde van het koord te blijven. Is het punt, waaraan men dit uiteinde verbindt, een vast punt, en laat men het lichaam aan zich zelve over, zoo zal het spoedig in rust komen. De invloed der aarde wordt opgeheven door de spanning van het koord. Het koord wordt gestrekt en geeft de richting aan van de kracht waarmede de aarde op het lichaam werkt. Brengt men het voorwerp in beweging, dan zal elk punt er van een cirkelboog beschrijven. De aarde zal het steeds naar zich toe trekken; van daar dat het spoedig zijn hoogsten stand bereikt en terugkeert. Tengevolge van de beweging die het heeft, gaat het de plaats, waar het in rust was, voorbij en verwijdert zich weer van het middenpunt der aarde. Daarna komt het tot stilstand en gaat weer terug. Zoo krijgt het een heen en weer gaande beweging.

Als het koord geen merkbaar gewicht had, en het zware lichaam geen merkbare afmetingen, zouden wij hebben wat men noemt een enkelvoudigen slinger. Men kan wel trachten zooveel mogelijk tot een enkelvoudigen slinger te naderen, maar altijd zal uit den aard der zaak een werkelijk bestaande slinger een samengestelde zijn.

In het algemeen vormt elk lichaam, dat zich onder de inwerking der aarde om een horizontale as kan bewegen, een samengestelden slinger.

Den stand, dien een slinger inneemt als hij in rust is, noemt men zijn evenwichtsstand.

Onderstelt men nu dat een slinger, die in beweging is, telkens na gelijke tijdsverloopen zijn evenwichtsstand voorbijgaat, dan blijkt het, bij onderzoek, dat de aanwijzingen van den slinger voldoende in overeenstemming zijn met die, welke men uit de waarneming van een ster verkrijgt, om hem met groot voordeel den zandlooper te doen vervangen.

Maar wij moeten beginnen met na te gaan, of de aanwijzingen van verschillende slingers dezelfde uitkomsten opleveren. Zie hier twee slingers, die weinig onderscheiden zijn van enkelvoudige slingers. Het koord van B is ongeveer 4 maal langer dan dat van A. Als men beide in beweging brengt, zoodanig dat zij te gelijk door hun evenwichtsstand gaan, dan ziet men dat A tweemaal zijn evenwichtsstand bereikt in het tijdsverloop waarin B dit éénmaal doet. En wanneer men enkele storende invloeden verwijdert, dan blijkt het dat dit voortdurend op weinig na het geval is, hetzij men ze heden of morgen in werking brengt. Alleen heeft men te zorgen, dat de uitslagen der slingers aan weerszijden van den evenwichtsstand klein zijn. Alle slingers van gelijke lengte geven dus nagenoeg dezelfde uitkomsten.

Om te onderzoeken of een slinger in den loop van verschillende sterrendagen een zelfde aantal malen zijn evenwichtsstand voorbijgaat, moet men hem gedurende langen tijd in beweging houden. De wrijving van de as in hare tappannen en de weerstand van de lucht veroorzaken dat hij betrekkelijk spoedig in rust komt, zoo dit niet op de eene of andere wijze belet wordt. Hoe men dit doet, bespreek ik later.

De ondervinding leert nu dat een slinger niet alleen gedurende verschillende sterrendagen nagenoeg een zelfde aantal malen zijn evenwichtsstand voorbij gaat, maar ook gedurende gelijke deelen van een dag, d. w. z. gedurende de tijdsverloopen, waarin een ster gelijke bogen aflegt van den cirkel, dien zij in den loop van een sterrendag schijnt te beschrijven.

Nagenoeg, zeg ik; niet volkomen. Maar hoe meer men enkele storende invloeden wegneemt, hoe geringer het verschil wordt.

De voornaamste storende invloeden zijn: de verandering in den weerstand, dien de lucht biedt, en de verandering van temperatuur.

Indien de lucht grootere dichtheid verkrijgt, hetgeen wij vernemen uit het stijgen van het kwik in den barometer, zal de weerstand toenemen; wordt de lucht ijler, hetgeen samengaat met een daling van het kwik in den barometer, zoo zal de weerstand kleiner worden. Noemen wij, hetgeen gebruikelijk is, het tijdsverloop tusschen twee opeenvolgende doorgangen van een slinger door zijn evenwichtsstand, zijn slingertijd, dan zal, bij het stijgen van het kwik in den barometer, de slingertijd van een slinger grooter worden; bij het dalen van het kwik zal hij afnemen.

Als de temperatuur hooger wordt, zet de slinger zich uit en wordt langer. Wij zagen straks dat slingers, die voornamelijk in lengte

van elkander onderscheiden zijn, gedurende een zelfde tijdsverloop een verschillend aantal malen hun evenwichtsstand voorbijgaan.

Hieruit blijkt dat bij verhooging van temperatuur de slingertijd van een slinger toeneemt. Straks zullen wij zien hoe men er in geslaagd is, die storende invloeden voor een groot deel te doen verdwijnen.

Indien de uitslagen van twee slingers zeer verschillend zijn, en dus van den eenen groot, van den anderen klein, dan leveren zij geen genoegzaam overeenstemmende uitkomsten zoodra de uitslagen veranderen. HUYGENS heeft getracht den gewonen slinger door eenen anderen te vervangen, waarbij de grootte der uitslagen zonder invloed is. Daartoe moet het zware lichaam geen cirkelboog beschrijven, maar een andere kromme lijn, die cycloïde genoemd wordt. Om dit te verwezenlijken hangt men het lichaam aan een buigzamen metalen band, die zich om een horizontale as kan bewegen. Aan weerszijden van den rand is een cilindrisch oppervlak van bepaalden vorm aangebracht. De band rolt zich bij zijn heen- en weergaande beweging op die cilindrische vlakken op en dwingt aldus het zware lichaam een cycloïde te volgen.

HUYGENS stelde zich veel van dezen cycloïdalen slinger voor als tijd-meter. Maar in de praktijk is deze gebleken te omslachtig te zijn. Men vergenoegt zich met den gewonen slinger en zorgt dat zijn uitslagen klein blijven.

Bovendien moet men toch voortdurend de aanwijzingen van een slinger controleeren door waarnemingen op de sterren. Zelfs indien alle bekende storende invloeden zooveel mogelijk verwijderd zijn, zal evenwel de slinger in den loop van eenige dagen een uitkomst leveren, die eenigszins verschilt van hetgeen de waarnemingen aan den hemel geven. Dit verschil is wel is waar gering en bedraagt bij goede toestellen, in den loop van een aswenteling der aarde, minder dan een millioenste deel van een sterrendag.

Laat ik, alvorens verder te gaan, even een en ander kortelijk herhalen. De maat, waarmede wij tegenwoordig tijd meten, wordt ontleend aan den sterrendag, dat is: het tijdsverloop tusschen twee opeenvolgende culminaties van een zelfde vaste ster; men heeft vastgesteld dat twee willekeurige sterrendagen aan elkander gelijk zijn; men heeft verder vastgesteld dat de onderdeelen van een sterrendag, waarin door een zelfde ster gelijke bogen worden afgelegd, even groot zijn. Vervolgens is het gebleken dat een slinger een toestel is, welke ons in staat

stelt de gelijkheid van twee tijdsverloopen op dezen eenmaal aangenomen grondslag te onderzoeken.

Hee is men er echter toe gekomen juist dezen grondslag te kiezen? Als van zelf, zou men kunnen antwoorden, dat wil zeggen: de verschijnselen, die men waarnam, drongen er toe, en men liet er zich door meevoeren zonder er zich altijd rekenschap van te geven.

Zoo iemand optrad om voor te slaan dat men in het vervolg de tijdsverloopen tusschen de opeenvolgende aardbevingen aan elkander gelijk zou stellen, zou hij zeker weinig volgers vinden, maar men zou het recht niet hebben hem op dezelfde lijn te plaatsen met iemand, die bijv. zou willen bepalen dat de afstand van Utrecht tot Amsterdam even groot is als die van Utrecht over Amsterdam tot Parijs. Met andere woorden: het voorstel zou in zich zelf niets onzinnigs inhouden; alleen zou de uitvoering er van voor het dagelijksche leven onoverkomelijke moeilijkheden opleveren.

De geheele inrichting van ons leven hangt samen met den loop der zon, en nog sterker dan bij ons was dit het geval bij onze onbeschaafde voorouders. Van daar dat zonder twijfel aan de beweging der zon het eerst een tijdmaat ontleend is.

Het tijdsverloop tusschen twee opeenvolgende culminaties der zon heet "zonedag". Zonder twijfel is er een periode geweest, waarin men den zonedag als grondslag van tijdmeting heeft aangenomen. Maar bij een nauwkeurige beschouwing van de hemelverschijnselen moet het spoedig gebleken zijn, dat, zoo men aan de zon een regelmatigen loop toeschreef, alle vaste sterren een onregelmatigen loop hadden. Het aantal vaste sterren dat men met het bloote oog op een zelfde plaats kan waarnemen, bedraagt drie à vier duizend. Het is niet te verwonderen dat men er onwillekeurig toe geraakte, de beweging van al deze sterren, welke haar onderlingen stand niet wijzigden, als regelmatig te beschouwen en alleen aan de zon een onregelmatigen loop toe te kennen.

Ik keer even terug op het gebied der warmteleer. Gedurende tal van jaren bleef het vastgesteld dat kwik zich bij verwarming regelmatig uitzet. En toch kwam men later overeen, dit niet meer te doen en nam men aan dat lucht, waarvan de spanning dezelfde blijft, zich regelmatig uitzet. Waarom? Over bijzaken spreek ik niet, maar de hoofreden bestond hierin, dat dan ook alle gassen zich regelmatig uitzetten.

Heeft nu de wetenschap reeds haar laatste woord gesproken bij de keuze van de verschijnselen die als grondslag dienen, namelijk zoowel voor het meten van tijdsverloopen als voor het meten van temperatuursverschillen? Zeer zeker niet. THOMSON heeft reeds een methode tot bepaling van temperatuursverschillen voorgeslagen, welke onafhankelijk is van de uitzetting van een bepaalde stof bij verwarming, en die gegrond is op andere verschijnselen, welke met het toevoeren of het onttrekken van warmte gepaard gaan.

En zoo is het ook waarschijnlijk dat, als het menschengeslacht nog eenige milioenen jaren op aarde te leven heeft, men zich voor het meten van tijd los zal moeten maken van de draaiing der aarde om hare as.¹

Ten eerste is het mogelijk dat de verfijning van de astronomische meetwerktuigen hiertoe dringt. Want wat wij genoemd hebben vaste sterren, d. w. z. sterren, die haar plaats ten opzichte van elkander niet veranderen, zijn eigenlijk geen vaste sterren. Zij ondergaan verplaatsingen; deze zijn wel is waar zoo klein, dat men ze met moeite, in het verloop van een of meer jaren, van enkele hemellichamen kan aantoonen, terwijl men van de overige ze slechts kan vermoeden. Maar de mogelijkheid bestaat toch, dat de meetwerktuigen der toekomst ze veel gemakkelijker ontdekken. Nu is het duidelijk dat, als de zoogenaamde vaste sterren een dagelijks waarneembare verschuiving ten opzichte van elkander ondergaan, men voor de bepaling van den sterrendag verschillende uitkomsten zal krijgen, naarmate men verschillende sterren in het oog houdt. Men zou dan tusschen al die sterren een keuze moeten doen en één als standaard-ster beschouwen. Dan zou intusschen de sterkste drangreden ophouden te bestaan, die er toe geleid heeft de tijdmaat te ontleenen aan de beweging der sterren; dan geven de drieduizend sterren niet meer éénzelfde uitkomst, maar een even groot aantal verschillende uitkomsten als er hemellichamen zijn.

Er zijn redenen waarom men wellicht veel eerder naar een ander verschijnsel dan de draaiing der aarde om haar as als grondslag van tijdmeting zal omzien.

Het tijdsverloop tusschen twee gebeurtenissen wordt natuurlijk uitgedrukt in sterrendagen. Er zijn tal van hemelverschijnselen die zich

¹ Zie ook THOMSON en TAIT, *Handbuch der theoretischen Physik*; deutsche Uebersetzung 1ster Band, 1ster Theil, S. 365.

na eenzelfde aantal dagen herhalen, of, wanneer dit niet gebeurt, weet men de oorzaak aan te geven, tengevolge waarvan de tijdsverloopen ongelijk zijn. Het is bekend dat de aarde zich om de zon beweegt in den loop van een jaar. De aarde volbrengt dien loop in 366,242203 sterrendagen. Die duur kan iets grooter worden en iets kleiner. Men kent daarvan oorzaken en weet hem te berekenen voor voorbijgegane en voor volgende eeuwen. Het vlak waarin zich de aarde om de zon beweegt, verplaatst zich. Men kan den stand er van bepalen voor elk willekeurig vervlogen of toekomstig tijdstip.

Eenzoo is men goed vertrouwd met de beweging der maan om de aarde. Vele invloeden doen zich hierbij gevoelen, maar men heeft deze alle in rekening gebracht.

Ten gevolge van den betrekkelijken stand van zon, aarde en maan worden door ons zonsverduisteringen waargenomen. Het is algemeen bekend dat de sterrenkundigen die gebeurtenissen met een voor oningewijden verbazingwekkende nauwkeurigheid voorspellen. Evenzoo zijn zij in staat te bepalen op welke tijdstippen van vervlogen eeuwen de zon verduisterd is geworden, en op welk gedeelte der aarde dit verschijnsel waargenomen moet zijn.

In de geschiedboeken der oude volken wordt dikwijls gewag gemaakt van een zonsverduistering, en zelfs vindt men vrij goede beschrijvingen van de omstandigheden waaronder een dergelijke gebeurtenis plaats had. Kunnen de geschiedvorschers uitmaken wanneer en waar een zekere zonsverduistering is gezien, en onderzoeken de sterrenkundigen wanneer en waar deze naar hunne berekeningen heeft moeten plaats hebben, dan kan men de uitkomsten vergelijken. Natuurlijk is het, dat er eenig verschil gevonden wordt; de vraag is maar of het zoo groot is, dat men het niet uit het gebrekkige, waaraan beschrijvingen van vroegen oorsprong mank gaan, kan verklaren.

Volgens de meening van sommige sterrenkundigen is hiervoor de afwijking te groot. De theorie van de beweging der zon en van die der maan is dus onvolledig. Maar men weet geen invloed meer in rekening te brengen, die dit kan verklaren. Van daar dat sommige sterrenkundigen geneigd zijn vast te stellen, dat de theorie van de beweging der aarde en van die der maan werkelijk volledig genoeg is, om deze tot grondslag van tijdmeting te maken. Als men dit doet, zijn willekeurige sterrendagen niet meer aan elkander gelijk, en is de sterrendag tegenwoordig ongeveer ३६६¹/_{३३३} langer dan 700 jaar vóór Christus.

Het zoo even gezegde bracht CLERK MAXWELL, een Engelsch natuurkundige van naam, er toe om uit te spreken, dat tijd vatbaar is voor meting, onafhankelijk van eenig bepaald verschijnsel.¹ Dit is onjuist. Houdt men zich niet meer aan de draaiing der aarde om hare as, zoo moet men zich wenden tot de beweging der aarde om de zon, of tot die der maan om de aarde, of tot eenig ander verschijnsel.

Intusschen doet men goed met voorloopig vastgesteld te laten, dat twee willekeurige sterrendagen aan elkander gelijk zijn.

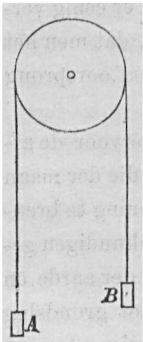
Ik moet nog spreken over de beteekenis van de grondslagen der tijdmeting voor de geheele natuurwetenschap. Ik begin met melding te maken van de poging, die gedaan is en wellicht door sommigen nog niet geheel gestaakt wordt, om langs anderen weg te komen tot een verhouding tusschen twee tijdsverloopen.

Men meent uit de ervaring te mogen besluiten, dat een lichaam, hetwelk zich beweegt en waarop geen invloeden van buiten werken, een rechtlijnige beweging krijgt. Sommigen willen nu de tijdsverloopen, waarin zulk een lichaam gelijke afstanden doorloopt, als aan elkander gelijk beschouwen, en op deze wijze een tijdmaat verkrijgen.

Maar wij kennen geen lichaam waarop geen invloeden van buiten werken. Zoo wordt bijv. elk voorwerp aan de oppervlakte der aarde door de aarde zelve aangetrokken.

Men heeft getracht zich te helpen door de beweging na te gaan van een lichaam, dat onderworpen is aan verschillende invloeden, die elkanders werking opheffen.

Fig. 4.



Zie hier een rad, dat om een spil kan draaien (fig. 4). Om het rad is een koord geslagen. Aan elk der uiteinden van het koord hangt een zwaar voorwerp; beide hebben hetzelfde gewicht.

Het voorwerp A wordt door de aarde aangetrokken en verkeert op het oogenblik toch in rust, omdat het koord het voorwerp met een even groote kracht naar boven trekt. A bevindt zich onder invloeden, die elkanders werking opheffen. Evenzoo B.

Ik kan aan A zoowel als aan B een beweging mededeelen. Oppervlakkig zou men kunnen denken dat nu het lichaam A zich beweegt, terwijl het slechts aan in-

¹ *Theory of Heat*, 2d. Edition, p. 81.

vloeden onderworpen is, die elkanders werking vernietigen. Wat waarborgt ons intusschen dat de aarde op het zich verplaatsende voorwerp denzelfden invloed uitoefent als op het lichaam in rust? Bovendien, als men dit bezwaar niet medetelt, kan A zich niet bewegen zonder dat ook het rad in draaiing geraakt, en door de oneffenheden van de spil, op de plaats waar deze in tappannen rust, wordt de draaiing tegengewerkt. Men zegt dan, dat er wrijving ontwikkeld wordt. Tengevolge hiervan is de kracht, waarmede het koord A naar boven trekt, grooter dan de kracht waarmede de aarde A naar beneden trekt.

Men kan op A een overwicht leggen en trachten dit zoo groot te maken dat de werking van de aarde weer gelijk wordt aan die van het koord. Maar hoe groot moet daartoe het overwicht zijn? Dit is niet uit te maken.

Nu ligt het wel voor de hand het volgende vast te stellen. Indien ik het overwicht zoodanig kies dat, in tijdsverloopen waarin een zelfde vaste ster gelijke boogjes aflegt, het voorwerp A gelijke afstanden doorloopt, dan is door het overwicht de invloed der wrijving opgeheven. Maar daarmee wordt het duidelijk dat de beweging van een lichaam, hetwelk aan invloeden onderworpen is, die elkanders werking opheffen, geen grondslag kan zijn voor het meten van tijd. Immers om te beoordeelen of werkelijk de invloeden elkander vernietigen, moeten wij gebruik maken van een tijdmetr, langs anderen weg verkregen.

Hoewel de uitkomsten van verschillende proefnemingen en waarnemingen er toe dringen, stelt men dan toch ten slotte bij definitie vast, dat een lichaam, hetwelk een rechte beweging heeft en in tijdsverloopen, die als gelijk aangenomen zijn, gelijke afstanden doorloopt, zich bevindt onder invloeden die elkanders werking vernietigen.

Niemand, die bekend is met de toepassingen der abstracte werktuigkunde op de verklaring der natuurverschijnselen, zal het gewicht hiervan ontkennen. In verband daarmee leert bijv. de waarneming, dat de aarde op een lichaam, hetwelk zich beweegt, met dezelfde kracht werkt als op dat lichaam indien het in rust is. Als men zich bij de waterklok had gehouden, zooals ik haar zoo straks beschreven heb, zou dit niet het geval zijn.

De betrekkelijke grootte van krachten beoordeelt men naar de bewegingen, die zij aan een bepaald lichaam geven. De bewegingen beoordeelt men naar de afstanden in zekere tijdsverloopen afgelegd. Zoo zien wij

dat het meten van krachten samenhangt met het meten van tijdsverloopen.

De uitkomsten, die men verkregen heeft bij de pogingen om natuurverschijnselen te verklaren, doen zien dat men een zeer gelukkigen greep gedaan heeft door zich voor het meten van tijd tot de beweging der sterren te wenden. Maar de mogelijkheid is niet uitgesloten dat, vooral bij het fijner worden van onze meetwerktuigen, een andere grondslag van tijdmeting ons nog veel verder zal brengen.

(Slot volgt.)
