

# OVER HET METEN VAN TIJD.

DOOR

Dr. V. A. JULIUS.

(Vervolg van blz. 82.)

---

Ik ga nu over tot de behandeling van eenige toestellen, waarmede men tijdsverloopen bepaalt, en zal in de eerste plaats bespreken de *sterrenklok*.

Waar men kan, maakt men gebruik van den slinger, omdat hij uitkomsten geeft, welke het meest in overeenstemming zijn met die der sterrenbeweging. Intusschen wordt de slinger telkens gecontroleerd door waarnemingen aan den hemel.

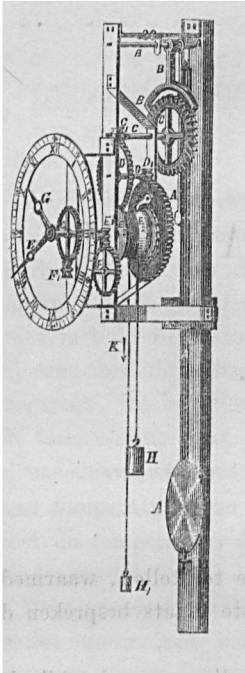
Elk lichaam, dat zich bewegen kan om een horizontale as, is als slinger te bezigen. Gewoonlijk geeft men er een verlengden vorm aan.

Als men een slinger in beweging brengt, zal hij, na eenige keeren heen en weer gegaan te zijn, in rust komen. De weerstand van de lucht en de wrijving der as in de tappannen zijn hiervan de oorzaak. Zal een slinger mij als tijdmetre dienst doen, dan moet ik weten welk onderdeel van een sterrendag zijn slingertijd is en dus bepalen het aantal malen, dat hij gedurende een sterrendag zijn evenwichtsstand voorbijgaat. Daartoe moet hij in beweging blijven, en tegelijk moet ik tellen hoeveel malen hij in een dag heen en weer gaat.

In een klok vindt men nu een inrichting, die den slinger telkens

een stootje geeft, zoodat hij niet in rust komt, en tegelijk een inrichting, die het onnoodig maakt dat men zelf telt.

Fig. 5.



Om den cylinder  $E_2$ , in nevenstaande figuur voorgesteld, is eenige malen een koord geslagen; het eene uiteinde van het koord is aan den cylinder vastgemaakt; aan het andere uiteinde hangt een gewicht H, hetwelk tracht den cylinder in ronddraaiende beweging te brengen. Dit kan intusschen niet gebeuren zonder dat het kleine getande rad  $E_1$ , dat ook ronddraaiend genoemd wordt, en de wijzer E, die aan het uiteinde der as E verbonden is, mededraaien.

Het rondsel  $E_1$  grijpt in een getand rad F;  $E_1$  kan zich niet bewegen zonder het rad F te doen draaien. Op de as, waaraan F bevestigd is, bevindt zich het rondsel  $F_1$ , dat op zijne beurt in het getande rad G grijpt. De as, waarom het getande rad G zich beweegt, is hol en omgeeft de as E; aan het uiteinde der as van G is een tweede wijzer vastgemaakt.

Het rondsel  $E_1$  bevat 8 tanden; het rad F 24 tanden; het rondsel  $E_1$  moet dus tegelijk met den cylinder  $E_2$  drie omwentelingen maken,

om één keer het rad F te doen omgaan.

Het rondsel  $F_1$  heeft 6 tanden, het rad G 24 tanden; het rondsel  $F_1$  moet dus tegelijk met het rad F vier omwentelingen maken, om één keer het rad G te doen omgaan.

Hieruit volgt, dat als de wijzer G een volledige omwenteling heeft volbracht, de wijzer E er twaalf heeft gemaakt.

Maar de cylinder  $E_2$  kan door het gewicht H niet in beweging gebracht worden zonder het groote getande rad E mede te nemen. Het groote rad E kan zich niet bewegen zonder het rondsel  $D_1$  te doen draaien. Op de as van het rondsel  $D_1$  is bevestigd het rad D, dat op zijne beurt het rondsel  $C_1$  medevoert, terwijl eindelijk op de as van  $C_1$  zich nog het getande rad C bevindt.

Het groote rad E heeft 48 tanden; het rondsel  $D_1$  6; zoo dus het rad E één volledige omwenteling maakt, worden er door  $D_1$  en dus

door het rad D acht volbracht. Het rad D heeft 45 tanden; het rondsel  $C_1$  6; zoo het rad D één volledige omwenteling maakt, worden er door  $C_1$  en dus door het rad C  $7\frac{1}{2}$  volbracht. Daar  $8 \times 7\frac{1}{2}$  gelijk 60 is, zal, als het rad E één omwenteling maakt, het rad C er 60 volbrengen.

Wanneer het rad C geheel vrij was en het gewicht een zekere grootte bezat, zou het geheele raderwerk in beweging komen; indien dan C 720 omwentelingen gemaakt had, zou E er 12 en G er 1 hebben volbracht.

Maar het rad C wordt in zijn draaiing belemmerd door een zoogenaamd anker, waaraan zich van weerszijden een tand B bevindt. Het anker is bevestigd aan de as B en kan hierom een schommelende beweging krijgen. Telkens als een tand B van het anker steunt tegen een tand van het rad C, zal het geheele raderwerk in rust zijn. Laat het anker het rad C vrij, dan stelt het raderwerk zich in beweging.

De schommeling van het anker wordt verkregen door den slinger.

De slinger, die hier afgebeeld is, bestaat uit een houten staaf, aan het onderuiteinde waarvan een lensvormig metalen lichaam is vastgemaakt. Aan het bovenuiteinde bevinden zich twee koperen haken, waarmede de staaf gehangen wordt aan een korte stalen veer, welke met de staaf den slinger uitmaakt. De horizontale as is het boveneinde der stalen veer, waar zij tusschen plaatjes is vastgeklemd.

Aan de as B, waarom het anker zich kan bewegen, is een verticale ijzeren stang bevestigd, die in een horizontale pin eindigt. Deze horizontale pin steekt door een opening in de houten staaf van den slinger.

Indien de slinger heen en weer gaat, wordt de ijzeren stang en hiermede het anker heen en weer bewogen. Telkens wordt daarbij het rad C vrij; door het gewicht H komt het geheele raderwerk in beweging.

Wanneer de slinger zijn uitersten stand links heeft, zal de rechter-tand van het anker het raderwerk tegenhouden. Gaat de slinger zijn evenwichtsstand voorbij, dan is het raderwerk een oogenblik vrij; maar bij een kleine afwijking rechts zal de linkertand van het anker de beweging weer verhinderen. De inrichting is zoodanig dat, als de slinger twee malen zijn evenwichtsstand voorbij is gegaan, het rad C om één tand verder is gekomen. Het rad C heeft dertig tanden. Na 60 slingertijden heeft het dus één omwenteling gemaakt.

Door de verbinding van den slinger met het raderwerk zou hij nog eerder in rust komen, dan wanneer hij zich vrij kon bewegen, indien men niet op eigenaardige wijze daartegen gewaakt had.

De tanden van het rad C hebben een bijzonderen gespitsen vorm. Die van het anker zijn schuin afgesneden. Indien nu bij de beweging van den slinger naar rechts de rechtertand van het anker het rad C vrijlaat, ontvangt hij van het in beweging geraakte rad C een stoot naar rechts. Deze stoot, welken het anker krijgt, wordt door middel van de ijzeren stang, die met de as B verbonden is, overgebracht op den slinger. Aldus blijft de slinger in beweging.

Er is aan de klok nog een ringvormige plaat aangebracht, waarlangs de wijzers E en G zich bewegen. Deze ring is in 60 deelen verdeeld en ook in 12 deelen. De verdeeling in 60 deelen is gemaakt voor den wijzer E; die in 12 deelen voor den wijzer G. De vijfde deelstreep van de verdeeling E valt samen met de eerste van de verdeeling G, enz.

Wanneer de slinger 60 slingeringen volbracht heeft, zal het rad C één geheele omwenteling gemaakt hebben; het rad E daarentegen één zestigste omwenteling, zoodat de wijzer E zich om één verdeeling heeft verplaatst en G een zeer kleine draaiing heeft ondergaan. Zoo de slinger 3600 maal zijn evenwichtsstand is voorbijgegaan, heeft het rad C 60 omwentelingen gemaakt, het rad E één geheele omwenteling; de wijzer E heeft de geheele wijzerplaat rondgelopen en de wijzer G is om één verdeeling verplaatst.

De toestel zal slechts zoolang in werking blijven als het gewicht H den cylinder tracht te doen draaien. Heeft H zijn laagsten stand bereikt, dan is de klok, wat men noemt, afgelooopen.

Om dit te voorkomen of, zoo de klok is afgelooopen, haar weder in werking te brengen, bevindt zich om den cylinder  $E_2$  een tweede koord, aan het uiteinde waarvan het gewicht  $H_1$  hangt, dat veel kleiner is dan het gewicht H. Gaat H naar beneden, dan rolt zich het koord, waaraan  $H_1$  hangt, om den cylinder op. De cylinder is niet vast verbonden met de as, waaraan het groote rad E en het rondsel  $E_1$  zijn vastgemaakt. Aan het groote rad E is een pal bevestigd, die door een veer tegen een tand gedrukt wordt van een getand rad, dat met den cylinder één geheel vormt. Het gewicht H kan niet naar beneden gaan zonder dat, door de werking van de pal, het rad E en het rondsel  $E_1$  in draaiing worden gebracht.

Maar trekt men aan het koord, waaraan  $H_1$  hangt, dan beweegt zich de cylinder  $E_2$  zonder het groote rad E mede te voeren. De pal wordt namelijk opgelicht en gedrukt tegen een volgenden tand van het rad dat met den cylinder één geheel uitmaakt. Het koord, waaraan

het gewicht H bevestigd is, wordt op deze wijze weder om den cylinder gewonden.

Voor elke plaats wordt de sterrendag gerekend te beginnen als een zeker punt van den hemelbol, het voorjaarsnachteeningspunt, boven den horizon van de plaats zijn hoogsten stand bereikt. Op dat oogenblik brengt men den wijzer G op de verdeeling 12 en den wijzer E op de verdeeling 60, zoodat de wijzers elkaâr bedekken. Dit kan men doen omdat de wijzers G en E niet vast verbonden zijn aan de assen G en E, maar aangebracht zijn op holle assen, welke de assen G en E omsluiten. Bewegen zich de assen, zoo gaan de wijzers tengevolge van de zich ontwikkelende wrijving mede; maar men kan de wijzers verplaatsen terwijl de assen in rust blijven, omdat de ontwikkelde wrijving niet groot genoeg is om ze mede te voeren.

Men kiest den slinger zoodanig, dat hij in een sterrendag ongeveer  $24 \times 60 \times 60$  of 86400 maal zijn evenwichtsstand voorbijgaat. De slinger is dan wat men noemt een secondenslinger.

Laten wij onderstellen dat de slingertijd juist een seconde is. Als hij 60 slingeringen gemaakt heeft, heeft het groote rad E één zestigste omwenteling volbracht en is de wijzer E om één verdeeling vooruitgekomen. In plaats van te zeggen: er zijn 60 slingeringen door den slinger gemaakt, zegt men: er is een minuut voorbij. Telkens als de wijzer E om één verdeeling zich verplaatst heeft, is één minuut verlopen; van daar dat men E den minuutwijzer noemt.

Zijn er  $60 \times 60$  slingeringen geweest, zoo heeft de wijzer E een gansche omwenteling volbracht en is de wijzer G één verdeeling verder gekomen. Men zegt dat een uur verlopen is, en G heet de uurwijzer.

Wanneer het voorjaarsnachteeningspunt op nieuw zijn hoogsten stand heeft bereikt, zal de wijzer G twee volledige omwentelingen hebben volbracht én gekomen zijn op de verdeeling 12; E heeft er 24 gemaakt en staat op 60.

Dit zal zoo zijn, indien de slingertijd juist één seconde is. In de meeste gevallen zal de slingertijd iets te groot of iets te klein wezen. Is hij te groot, zoo zal bijv. de wijzer E niet op 60 staan maar op 59. Men moet dan den slingertijd een kleine verandering doen ondergaan. Dit bereikt men door middel van een schroef, die zich aan het onderuiteinde van den slinger bevindt en waarop het lensvormige metalen lichaam rust; door middel van die schroef kan men het lensvormige lichaam verplaatsen. Brengt men het hooger, zoo neemt de slin-

gertijd van den slinger af; brengt men het lager, zoo wordt de slingertijd grooter. Men ziet hoe men den slingertijd zoo kan regelen, dat hij niet merkbaar verschilt van één seconde.

Dikwijls is nog een secondenwijzer aanwezig; deze is dan op de as C vastgemaakt.

De klok, welke ik hier beschreven heb, is van de meest eenvoudige inrichting. Het is ook mijn doel niet om u op de hoogte te brengen van alle verbeteringen, die uitgedacht zijn om den regelmatigen gang er van te verzekeren. Dit alleen zou het onderwerp van een voordracht kunnen uitmaken. Alleen wil ik op enkele punten wijzen, waarin gewoonlijk een sterrenklok van deze verschilt.

In de eerste plaats volbrengt de uurwijzer in een sterrendag niet twee volledige omwentelingen, maar slechts één. De wijzerplaat is in 24 deelen verdeeld, en telkens verloopt er een uur voordat de wijzer een verdeling verder komt. Men kan dit bereiken door het aantal tanden van het rad G te verdubbelen. De sterrenkundigen tellen ook tot 24 uur; moeten er nog twee uren verlopen voordat het voorjaarsnachteveningspunt zijn hoogsten stand bereikt, dan zeggen zij dat het 22 uur is.

Bij het opwinden der klok doet zich het bezwaar voor dat zij een oogenblik tot stilstand gebracht wordt, daar het gewicht H zijne gewone werking niet kan uitoefenen. Dit moet voorkomen worden. Men kan bijv. een veer aanbrengen, die gedurende het opwinden het groote rad E voortdrijft.

Vervolgens ondervindt de slinger den invloed van de verandering in temperatuur en in den weerstand, dien de lucht biedt.

Een sterrenklok wordt dikwijls geplaatst in een ruimte waarin de dichtheid en daarmede de weerstand der lucht dezelfde blijft. Op deze wijze kan die bron van onregelmatigheden weggenomen worden; ook langs anderen weg kan men er toe geraken.

Men heeft wel op enkele plaatsen gepoogd de sterrenklok in een afgesloten ruimte te brengen waarin ook de temperatuur standvastig is, bijv. door haar in een diepen daartoe vervaardigden kelder te stellen. Meestal tracht men echter op andere wijze den nadeeligen invloed van temperatuursveranderingen te ontgaan. De slinger heeft dan een eigenaardige samenstelling. Deze slinger bijv. bestaat uit een stalen staaf eindigende in een stalen hollen cylinder. In den cylinder bevindt zich kwik. Bij verwarming zet zich de stalen staaf uit en wordt langer; tenge-

volge hiervan neemt de slingertijd toe. Maar het kwik in den cylinder zet zich ook uit, wat een verkorting van den slingertijd met zich brengt. Daar nu bij een zelfde verhooging van temperatuur een kwikmassa zich meer uitzet dan een stalen lichaam van gelijken omvang, kan men de hoeveelheid kwik in den cylinder zoodanig regelen, dat bij verwarming of afkoeling de slingertijd geen merkbare verandering ondergaat.

In de hier afgebeelde klok is de slinger voortdurend in verbinding met het raderwerk door middel van de ijzeren stang, die aan de as van het anker bevestigd is. Daardoor wordt de slinger in zijn vrije beweging eenigszins gehinderd. In een sterrenklok zorgt men dat de slinger slechts in bepaalde standen in verbinding met het raderwerk komt; de belemmering, die de slinger ondervindt, is dan veel geringer.

De sterrenklok wijst aan wat men noemt den sterrentijd. Wordt deze ook gegeven door de klokken, welke men in het dagelijksch leven gebruikt? Neen; de slingertijd in gewone klokken is grooter dan die in een sterrenklok.

Tengevolge van de beweging der aarde om de zon schijnt de laatste zich te midden van de vaste sterren te verplaatsen. Dit veroorzaakt dat, als heden de zon en de ster S tegelijk haar hoogsten stand boven den horizon bereiken, morgen de ster S eerder culmineert dan de zon.

Zooals ik reeds opgemerkt heb, hangt het geheele burgerlijke leven samen met de zon; naar haar regelen wij onzen arbeid en onze rust. Als de zon haar hoogsten stand bereikt, is het voor ons het midden van den dag. Hielden wij ons aan de aanwijzingen van de sterrenklok, dan zou heden bijv. het midden van onzen dag te acht uur vallen; een paar weken later te negen uur; na een maand te tien uur enz. Hoe geschikt de sterrentijd voor de sterrenkundigen moge zijn, voor het dagelijksch leven is hij onbruikbaar.

Voor hetgeen men noemt de burgerlijke tijdrekening heeft men den zonnedag ingevoerd, dat is het tijdsverloop tusschen twee opeenvolgende culminaties der zon. Maar een moeilijkheid doet zich voor. Een zonnedag is nu eens vier en een halve minuut langer dan een sterrendag, dan eens drie minuten 40 seconden. Men is niet in staat een uurwerk te maken, dat de onregelmatigheden van de beweging der zon in vergelijking met die der sterren, weergeeft.

Indien men geen groote nauwkeurigheid verlangt, kan men gebruik maken van den zonnewijzer. Men plaatst den stok evenwijdig aan de as

der aarde, waardoor de schijf evenwijdig komt aan het vlak, waarin de zon in den loop van een dag zich beweegt. Telkens als de zon haar hoogsten stand bereikt, valt de schaduw van den stok langs dezelfde lijn; men zegt dat het dan middag is of twaalf uur. Heeft de schaduw een verplaatsing ondergaan gelijk aan  $\frac{1}{4}$  van een geheele omwenteling, dan zegt men dat er een uur verlopen is, enz.

De zonnwijzer voldoet echter niet aan de behoeften van den tegenwoordigen tijd. Door fijne waarnemingen op de zon zou men genoegzame nauwkeurigheid kunnen verkrijgen, maar slechts enkelen kunnen deze uitvoeren. En alles houdt op, zoodra de zon onder den horizon is of door wolken bedekt wordt.

Men heeft daarom een tijdrekening ingevoerd, die het gebruik van klokken mogelijk maakt, en toch niet onoverkomelijke bezwaren ontmoet in de eischen van het dagelijksch leven.

De zon schijnt in den loop van een jaar te midden der sterren een cirkel te beschrijven. Intusschen legt zij elken dag niet hetzelfde boogje langs dien cirkel af; bovendien staat het vlak van den cirkel niet loodrecht op de as der aarde. Hierin ligt de oorzaak van den afwisselenden duur van een zonnedag.

Om den ganschen cirkel te doorloopen, heeft de zon noodig 366,242203 sterrendagen. Men stelt zich nu voor, dat als de zon in het zoogenaamde voorjaarsnachteeningspunt staat, een denkbeeldige zon die plaats verlaat en zich in een vlak loodrecht op de as der aarde gaat bewegen, en wel regelmatig in vergelijking met de dagelijksche beweging der sterren, terwijl ze tegelijk met de ware zon na 366,242203 sterrendagen weer het voorjaarsnachteeningspunt bereikt.

Men noemt het tijdsverloop tusschen twee opeenvolgende culminaties van deze denkbeeldige zon een middelbaren zonnedag. De middelbare zonnedag is altijd even groot en wel ongeveer vier minuten langer dan de sterrendag. Het 24<sup>ste</sup> gedeelte van een middelbaren zonnedag noemt men een uur middelbaren zonnetijd; het 60<sup>ste</sup> gedeelte van dit uur een minuut middelbaren zonnetijd; het 60<sup>ste</sup> gedeelte van zulk een minuut een seconde middelbaren zonnetijd. Deze laatste is natuurlijk iets grooter dan de seconde sterrentijd. Men zorgt nu dat de slinger van de klok, die den middelbaren zonnetijd zal aanwijzen, juist één seconde middelbaren zonnetijd tot slingertijd heeft. Dit is het geval bij onze gewone klokken.

Als de denkbeeldige zon culmineert heeft men het midden van den



middelbaren zonnedag; men zegt dat het 12 uur middelbaren tijd is. De ware zon zal, met uitzondering van vier dagen in het jaar, altijd iets vroeger of iets later zijn hoogsten stand bereiken dan de denkbeeldige zon. Dit verschil is evenwel niet groot en in het dagelijksch leven weinig hinderlijk. De grootste waarde er van is ongeveer 16 minuten. In het midden van Februari culmineert de ware zon 14 minuten later; in het begin van November 16 minuten eerder dan de denkbeeldige zon. Al is het niet hinderlijk, het is toch zeer goed op te merken. In Januari en Februari is de zon vóór den middag, zooals hij door onze klokken wordt aangewezen, merkbaar korter boven den horizon dan na den middag. In November doet zich het omgekeerde voor.

Hoe worden onze klokken geregeld? Slechts weinigen zijn in staat het oogenblik te bepalen, waarop de denkbeeldige zon culmineert. Die weinigen zijn het dan ook, welke het publiek moeten helpen.

Men kent voor elken dag van het jaar het verschil tusschen den middelbaren zonnetijd en den waren zonnetijd; ook dat tusschen den middelbaren zonnetijd en den sterrentijd. Op de sterrenkundige observatorien wordt dagelijks de aanwijzing van de sterrenklok door waarnemingen aan den hemel gecontroleerd; men kan ook rechtstreeks den waren zonnetijd bepalen. Op beide wijzen is nu de juiste middelbare zonnetijd te vinden.

In ons land houdt men zich hiermede in het bijzonder bezig op de sterrenwacht te Leiden. Per telegraaf wordt naar Amsterdam geseind, welk uur op een gegeven oogenblik door een juiste klok voor middelbaren zonnetijd in Amsterdam moet aangewezen worden. De hoofdstad zendt op hare beurt aan alle mogelijke telegraafkantoren van ons land de tijdsaanwijzing van haar klok over.

Achten de regeeringen van onze steden een goede tijdsregeling van belang, zoo zullen zij zich met de telegraafkantoren in verbinding stellen om de openbare klokken te regelen.

Eindelijk volgt het publiek de aanwijzing van de openbare klokken. In ons geheele land behooren deze den middelbaren zonnetijd van Amsterdam aan te geven.

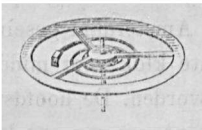
De inrichting der klokken, die men het meest in onze huizen ziet, en die gewoonlijk pendules genoemd worden, komt overeen met die der door mij beschreven klok. Alleen wordt het raderwerk niet gedreven

door een gewicht, maar door een spiraalsgewijze opgewonden stalen veer. Deze veer is vast verbonden met een as, de as, die men rond-draait als men de pendule opwindt. Zij bevindt zich in een trommel, en is met haar andere uiteinde hieraan bevestigd. De opgewonden veer tracht zich te ontspannen; de as kan zij niet in beweging brengen want een pal verhindert de as in een andere richting te draaien dan in die waarbij de veer wordt opgerold. Wil de veer zich ontspannen, zoo moet zij den trommel in beweging brengen, hetgeen zij alleen doen kan indien het anker het rad C vrijlaat.

De meest verbreide uurwerken zijn wel de horloges. Zij doen in regelmatigheid van gang onder voor de slingeruurwerken, maar hebben het voordeel dat zij, zonder groote stoornis te ondervinden, kunnen verplaatst worden en schokken kunnen verduren. Het is ook HUYGENS geweest, die het eerst de inrichting van een bruikbaar zakuurwerk heeft aangegeven. Reeds vóór hem, sommigen meenen in het midden der 15de eeuw, waren draagbare uurwerken bekend, maar zij gaven, evenals de vaste uurwerken van dien tijd, zulke slechte uitkomsten, dat bijv. TYCHO BRAHÉ bij zijn sterrenkundige waarnemingen de voorkeur gaf aan een waterklok.

In de horloges is het hoofdbestanddeel een zeer fijne spiraalsgewijze opgewonden stalen veer, verbonden met hetgeen men de balans noemt. De balans, zooals uit nevensstaande afbeelding te zien is, is een metalen rad; eigenlijk een massieve ring, die met drie spaken verbonden is aan de as, waarmede de balans zich heen en weer kan bewegen. Aan die as is ook

Fig. 6.



bevestigd het eene uiteinde der fijne spiraalveer; het andere uiteinde hiervan is vastgemaakt aan een der wanden van het horloge. De veer is zoodanig bewerkt flat, als zij geheel vrij gelaten werd, zij zich niet tot een rechten band zou ontrollen, maar den spiraalvorm zou behouden. Geeft men aan de balans een stootje, zoodat de spiraalveer verder opgewonden wordt, dan tracht deze zich te ontspannen en deelt aan de balans een teruggaande beweging mede. Door de vaart, die de balans verkrijgt, slingeren balans en veer voorbij den stand waarin zij in rust zijn. Vandaar dat de veer zich weer gedeeltelijk tracht op te rollen, maar ook hierbij gaan balans en veer den evenwichtsstand voorbij. De weerstand der lucht en de wrijving, die de as in hare tap-

pannen ondervindt, veroorzaken dat na eenige slingeringen veer en balans in rust komen.

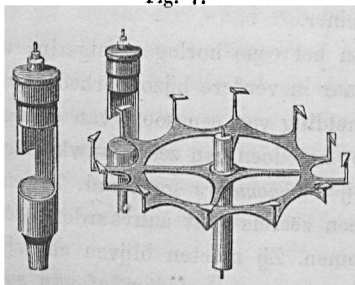
Als men de dekplaat van een horloge openslaat, kan men de spiraalveer en de balans zien liggen; gezamenlijk worden zij de *onrust* genoemd.

Wat de slinger is voor de gewone klok, is de onrust voor het horloge. De tijdsverloopen tusschen de oogenblikken waarop de onrust voorbij haar evenwichtsstand gaat, kunnen als gelijk beschouwd worden, hetgeen uitkomsten geeft welke genoegzaam overeenstemmen met die van den slinger. Men spreekt ook van den slingertijd der onrust. In de meeste horloges is de slingertijd niet één seconde middelbaren zontijd, maar bijv.  $\frac{2}{3}$  of  $\frac{5}{4}$  seconde.

Twee dingen moeten nu door de verdere inrichting bereikt worden. De beweging van de onrust moet onderhouden worden, en het moet onnoedig zijn dat men zelf telt hoeveel malen de onrust haar evenwichtsstand voorbijgaat.

Er daartoe is een raderwerk aangebracht, dat ik niet uitvoerig behoef te beschrijven, omdat het bijna niet verschilt van datgene, hetwelk wij in de klok hebben gevonden. Een veer, zooals men er in pendules heeft, brengt het raderwerk in beweging, zoodra het rad, dat overeenkomt met het rad C van de klok, vrij wordt gelaten.

Fig. 7.

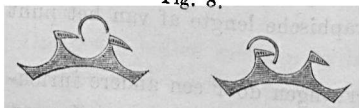


Dit rad is geplaatst in een vlak loodrecht op de as van de onrust. De tanden er van verheffen zich boven het rad, zooals in nevensstaande afbeelding te zien is. De as van de onrust heeft een bijzonderen vorm. Zij is gedeeltelijk een halve holle cylinder, waarvan nog een stuk is weggesneden. Het gedeelte van den halven cylinder boven deze opening bevindt zich op

dezelfde hoogte als de tanden van het rad C.

Bij de heen- en weergaande beweging van de onrust, waaraan ook deze halve holle cylinder deelneemt, wordt telkens een tand van het rad C tegengehouden; nu eens door de binnenvlakte, dan weer door de buitenvlakte van den cylinder (fig. 8). Op het oogenblik dat de cylinder

Fig. 8.



Op het oogenblik dat de cylinder

den tand vrij laat, ontvangt hij van den tand een stootje, en zoo wordt verhinderd dat de onrust tot stilstand komt.

Horloges, waarin deze inrichting aangebracht is, noemt men cylinder-horloges.

Telkens als de onrust tweemaal haar evenwichtsstand voorbijgegaan is, is het rad C om één tand verder gekomen. Door middel van het raderwerk verplaatst zich de minuutwijzer na 150 of na 288 slinger-tijden om één verdeeling; er is een minuut verlopen; na  $60 \times 150$  of  $60 \times 288$  slingertijden is de uurwijzer één verdeeling verder gekomen en een uur is voorbijgegaan.

Indien de slingertijd van de onrust niet juist  $\frac{2}{5}$  of  $\frac{3}{4}$  seconde is, maar bijv. iets grooter, dan zal het uurwerk achterloopen. Men moet dan den slingertijd een kleine verandering doen ondergaan. Daartoe wordt de fijne spiraalveer bij het uiteinde, hetwelk vast verbonden is met den horlogewand, omgeven met een metaalstukje, waarin de spiraal vastgeklemd is. Het gedeelte der spiraal tusschen dit stukje en den horlogewand neemt geen deel aan de heen- en weergaande beweging. Het metaalstukje is bevestigd aan een stalen naald, welke om een as, die de as der balans omgeeft, draaibaar is. Verplaatst men deze naald in den eenen zin, dan maakt men het gedeelte der spiraalveer, dat heen en weer slingert, grooter; de slingertijd neemt daardoor toe. Draait men de naald in den anderen zin, dan verkort men het werkzame deel der spiraal en de slingertijd wordt kleiner.

Het is duidelijk dat de inrichting van het eene horloge eenigszins af zal wijken van die van het andere; maar in verdere bijzonderheden wil ik niet treden. Alleen maak ik nog melding van een soort van draagbare uurwerken, die geschikt zijn voor het doen van zeer nauwkeurige tijdsbepalingen. Gewoonlijk worden zij *chronometers* genoemd. Tegenwoordig wordt door elk schip, dat een zeereis gaat aanvaarden, één of meer van die uurwerken medegenomen. Zij moeten blijven aanwijken den middelbaren zonnetijd van de plaats van afvaart of van een andere om bijzondere redenen daarvoor uitgekozen plaats. Uit het verschil tusschen de aanwijzing der chronometers en den uit waarnemingen op de zon bepaalden middelbaren zonnetijd voor de plaats waar het schip zich bevindt, leidt men de geographische lengte af van het punt waar men is.

In de chronometers is de cylinder vervangen door een andere inrichting, waardoor de onrust niet voortdurend met het raderwerk in ver-

binding staat. Ook heeft men rekening gehouden met den invloed, dien temperatuurswisselingen op den slingertijd van de onrust kunnen uitoefenen, en, evenals bij den slinger in goede klokken, gezorgd dat bij elke temperatuur, binnen zekere grenzen, de slingertijd dezelfde is. Zoo krijgt men toestellen, die maanden lang met de gewenschte nauwkeurigheid den tijd van de plaats van afvaart aangeven. Ik behoef niet te zeggen dat, hoever men het ook in het vervaardigen van chronometers gebracht heeft, een vast slingeruurwerk de voorkeur verdient, zoodra men op vasten bodem blijft.

Met de toestellen, die ik achtereenvolgens besproken heb, kan men de grootte van tijdsverloopen leeren kennen en ook tijdstippen bepalen, waarop een of ander verschijnsel zich vertoont. Een tijdstip is bepaald door het tijdsverloop tusschen dat tijdstip en een ander bekend tijdstip. Door middel van een klok vind ik bijv. dat een spoortrein veertig minuten noodig heeft om van Utrecht naar Amsterdam te komen. Zeg ik, dat ik te twee uren Amsterdam bereik, dan bedoel ik hiermede, dat tusschen het oogenblik waarop de denkbeeldige zon, van welke ik straks sprak, haar hoogsten stand in Amsterdam voorbijgaat tot het oogenblik van aankomst, twee uren verloopen.

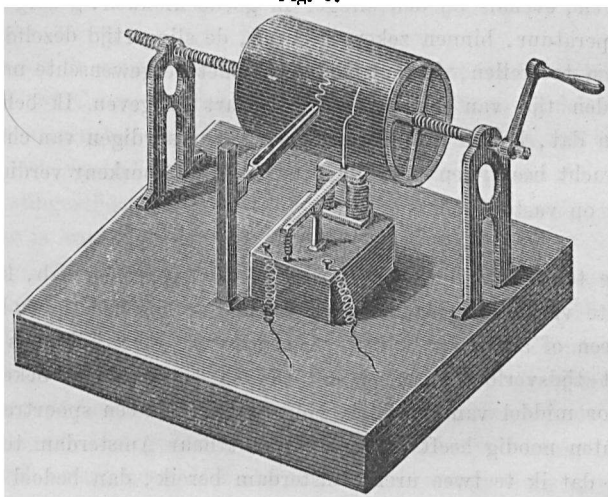
De meeste uurwerken tikken hoorbaar: dit geluid wordt veroorzaakt doordien telkens een tand van het rad C tegen een tand van het anker of tegen den wand van den cylinder stoot. Daardoor is men in staat zelfs bij uurwerken waar een secondenwijzer ontbreekt, tijdsverloopen te bepalen die tot op een halven slingertijd nauwkeurig zijn.

In vele gevallen is men hiermede niet tevreden. Geoefende waarnemers kunnen nu wel tot één tiende van een seconde schatten, maar verder kan men het met klokken niet brengen. Verlangt men grootere nauwkeurigheid, of wil men tijdsverloopen bepalen die kleiner zijn dan één tiende seconde, zoo moet men van andere toestellen gebruik maken. Alle toestellen van dien aard te beschrijven, zou veel meer tijd vereischen dan waarover ik nog beschikken mag. Ik kies er één uit en wel datgene, hetwelk door den hoogleeraar DONDEERS is ingericht en dat ik door zijne welwillendheid in staat ben u te toonen.

Om dezen hollen metalen cylinder (fig. 9) is een papier gelegd, dat met roetzwart bedekt is geworden door het boven de vlam van een petroleumlamp te houden. De as van den cylinder bestaat uit een hori-

zontaal gestelde spil; hierin is een schroeflijn gesneden; zij rust in twee schroefmoeren. Aan het eene uiteinde der spil bevindt zich een kruk

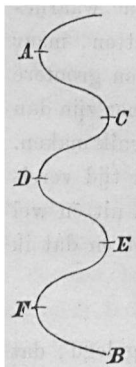
Fig. 9.



met een handvat; hiermede kan men de spil in draaiende beweging brengen, welke ook aan den cylinder wordt meegedeeld; maar tegelijk ondergaan spil en cylinder een zijdelingsche verplaatsing.

Houd ik een stift tegen den cylinder en draai ik het handvat rond, zoo zal op het met roetzwart bedekte papier een streep zichtbaar worden. Deze streep is niet een deel van een cirkel, maar een deel van een schroef-

Fig. 10.



lijn, zoodat als de cylinder een volledige omwenteling heeft volbracht, de stift niet weer op dezelfde plaats van het papier drukt, maar meer links of meer rechts.

Zoo de stift niet in rust blijft, maar zich in een horizontaal vlak heen en weer beweegt, zal de beschreven lijn een ander voorkomen krijgen en ongeveer dezen vorm vertoohen (fig. 10). Beschouw ik een stuk AB van deze lijn, zoo kan ik gemakkelijk vinden hoeveel malen de stift heen en weer is gegaan in den tijd waarin zij dat deel beschreven heeft. Toen zij in A op het papier een indruk maakte, bevond zij zich in haar uitersten stand links; in C was zij in haar uitersten stand rechts; enz. Om de lijn AB te teekenen, heeft zij vijf malen van haar eenen uitersten stand in den anderen moeten komen.

Het zal u bekend zijn dat, als een zoogenaamde stemvork een toon geeft, de beenen er van een heen- en weergaande beweging hebben. Beurtelings naderen zij elkander en verwijderen zij zich van elkaar.

De hoogte van den toon, door de stemvork voortgebracht, hangt af van het aantal malen, dat in een zeker tijdsverloop elk der beenen heen- en weer gaat. Uit de hoogte van den toon kan men zelfs bepalen hoeveel keeren dit in de seconde gebeurt.

Zie hier een stemvork, die, in trilling gebracht, geen toon voortbrengt. Het blijkt namelijk dat, zoo de beenen minder dan ongeveer 32 malen in de seconde zich heen en weer bewegen, de veroorzaakte luchtverstoring geen indruk op ons gehoororgaan maakt. Langs een anderen weg heeft men gevonden dat deze stemvork, zooals men het uitdrukt, 15 trillingen in de seconde volbrengt.

Aan een der beenen is een stift aangebracht, welke aan de beweging deelneemt. Stel ik de stift zoodanig dat zij zich daarbij in een horizontaal vlak verplaatst, en doe ik haar drukken tegen het met roetzwart bedekte papier, zoo zal bij de draaiing van het handvat een kromme lijn beschreven worden van den vorm dien ik-zoo even liet zien (Fig. 10). Neemt men nu aan, hetgeen zeker binnen enge grenzen juist is, dat elk der beenen een heen- en weergaande beweging telkens in hetzelfde tijdsverloop volbrengt, zoo besteedt de stift, om van haar uitersten stand links naar haar uitersten stand rechts te komen,  $\frac{1}{10}$  van een seconde. Men weet dus dat de stift om van A naar E te komen  $\frac{3}{10}$  of  $\frac{1}{10}$  seconde noodig heeft.

In plaats van deze stemvork kan ik een andere aanbrengen die 50 of 100 of 500 trillingen in de seconde maakt. Zie hier er een van 260 trillingen. Laat ik haar op de aangegeven wijze een kromme lijn teekenen, zoo gebruikt zij, om van A naar C te komen,  $\frac{1}{5}$  seconde.

Dit is de toestel; ik moet nu nog door een paar voorbeelden het gebruik toelichten, dat men er van maakt.

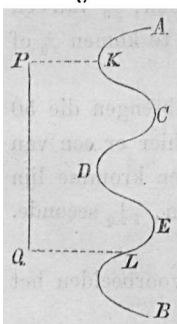
Hier staat een elektriciteitsbron. Zoodra men de zoogenaamde polen door een metalen draad verbindt, zal de electriciteit van de eene pool naar de andere vloeien. Den draad leid ik om een magneet, die met dezen wijzer verbonden is en om een horizontale as kan draaien; verder om een week ijzeren staafe. Vloeit de electriciteit door den draad, zoo zal de magneet in beweging geraken, hetwelk zich openbaart in de verplaatsing van den wijzer; tegelijk zal het week ijzeren staafe

magnetisch worden, waardoor het in staat is een ander stuk week ijzer aan te trekken. Dit stuk ijzer bevindt zich aan het eene uiteinde van een hefboom, waar ook een stift is aangebracht; het andere uiteinde wordt door een veer naar beneden getrokken. De stift stel ik zoodanig dat zij, zoodra de hefboom door het magnetisch worden van het staafje in beweging geraakt, tegen het met roetzwart bedekte papier aandrukt en wel in een punt, dat gelegen is in hetzelfde horizontale vlak waarin de stift van de stemvork heen- en weergaat (Zie fig. 9).

Op het oogenblik is de metalen geleiding tusschen de polen der elektriciteitsbron verbroken; maar ik behoef dezen draad maar in dit kwikbakje te steken om aan de elektriciteit gelegenheid te geven door den draad te stroomen en hare werking op den magneet en het stukje week ijzer uit te oefenen.

Er moet nu onderzocht worden hoe de grootte van den uitslag, dien de magneet en daarmee de wijzer verkrijgt, afhangt van den tijd gedurende welken de elektriciteit door den draad vloeit, in de onderstelling dat die tijd zeer kort is. Daartoe sluit ik de geleiding en verbreek haar terstond weer; ik lees af hoe groot de afwijking der naald wordt.

Zoolang als de geleiding gesloten is geweest, heeft de stift, die aan den hefboom bevestigd is, gedrukt tegen het met roetzwart bedekt papier, en daarbij een boogje PQ van een schroeflijn



beschreven. Om het tijdsverloop te kennen gedurende hetwelk de electriciteit haar werking heeft doen gevoelen, behoeft men maar te bepalen welken tijd deze stift besteed heeft om dat boogje PQ te teekenen. Deze wordt gevonden uit de kromme lijn AB, door de stift van de stemvork achtergelaten (fig. 11). Men trekke door P een horizontale lijn, die de kromme lijn AB in K ontmoet, en evenzoo een lijn door Q, die AB in L treft. De lijnen PQ en KL zijn in gelijke tijdsverloopen beschreven. De stift der stemvork is

daarin drie keeren van zijn eenen uitersten stand in den anderen gekomen, en heeft nog den weg van rechts naar links voor een gedeelte gemaakt, dat hij bijv. in  $\frac{1}{4}$  van den halven trillingstijd aflegt. De gezochte tijdsduur is dus  $3 \times \frac{1}{2} \tau + \frac{1}{4} \times \frac{1}{2} \tau = \frac{7}{8} \tau$  seconde.

Laat men nu gedurende  $\frac{7}{8} \tau$  seconde de elektriciteit op den magneet werken, dan ondergaat hij de afgelezen uitwijking, bijv. 9 graden of  $\frac{1}{40}$ ste van een geheele omwenteling. Men doet een tweede proef; de



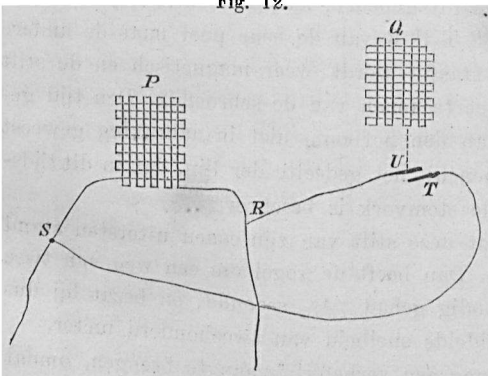
duur van de elektriciteitswerking wordt weer bepaald; men ziet weder de afwijking van de naald, enz. Zoo is men tot de uitkomst geraakt dat, als de geleiding gedurende een tweemaal grooteren tijd gesloten wordt, de naald ook een tweemaal grootere verplaatsing ondergaat, altijd in de onderstelling dat de tijdsverloopen zeer klein zijn.

Als tweede voorbeeld kies ik de bepaling van de snelheid van een kanonskogel in een willekeurig punt van zijn baan. Indien de weerstand van de lucht geen waarneembaren invloed had op de beweging van een kogel, zou men zijn snelheid gemakkelijk kunnen berekenen uit de plaats waar hij terecht komt en den hoek, dien het kanon met den horizon maakt. De lucht wijzigt intusschen de beweging zeer merkbaar, en bij den tegenwoordigen stand van onze kennis is men genoodzaakt zijn toevlucht te nemen tot proeven.

Reeds lang is een middel bekend geweest, om de snelheid te bepalen van den kogel, korten tijd nadat hij het kanon verlaten heeft. Daar toe schiet men hem tegen een zwaar lichaam, dat zich om een horizontale as kan bewegen; uit de verplaatsing die dit zware lichaam ondergaat, maakt men de snelheid op.

Maar een rechtstreeksche methode verdient de voorkeur; bovendien wil men weten wat er van de snelheid geworden is, als de kogel reeds een deel van zijn baan heeft afgelegd, want zij verandert van oogenblik tot oogenblik. Verschillende handelwijzen zijn aangegeven, maar alle komen hierop neer, dat men het tijdsverloop bepaalt, hetwelk de kogel besteedt om een klein stuk van zijn baan te doorloopen. Ook de beschre-

Fig. 12.



ven toestel zou hiervoor gebruikt kunnen worden.

Laten wij onderstellen dat de kogel bij zijn beweging door de achter elkander gelegen plaatsen P en Q zal gaan, die bijv. twee decimeter van elkander verwijderd zijn. Aan een der polen van een elektriciteitsbron is een metalen draad bevestigd, die tot P

gevoerd wordt, in den omtrek daarvan eenige malen heen en weer wordt geleid, zoodat hij als het ware een dradennet (*cible disjonctrice*) vormt

(fig. 12) en verder om het week ijzeren staafje loopt, waarmede wij zoo-even kennis maakten (zie fig. 9), om daarna naar de andere pool der elektriciteitsbron terug te keeren. Dewijl de elektriciteit nu van de eene pool door de metalen geleiding naar de andere kan vloeien, zal het ijzeren staafje magnetisch zijn, het stukje week ijzer, dat zich aan den hefboom bevindt, aangetrokken worden en dus de stift van den hefboom tegen het met roetzwart bedekt papier drukken.

In het punt R van de metalen geleiding is een metalen draad vastgesoldeerd, die eindigt in een veer U; evenzoo gaat van S een draad uit, die in T een plaatje vormt. Laat men de veer U aan zich zelf over, dan drukt zij tegen T. Maar een zijden koordje houdt U van T verwijderd. Dit koordje is vastgemaakt aan een tweede dradennet (*cible conjonctrice*), dat zich in de onmiddellijke nabijheid van Q bevindt.

De met roetzwart bedekte cylinder wordt nu rondgedraaid; de stemvork, die bijv. 500 trillingen in de seconde voibrengt, in beweging gebracht. De stift van de stemvork beschrijft een bochtige lijn (zie fig. 10) en de stift van den hefboom een schroeflijn. Het schot gaat af; de kogel verscheurt het dradennet P. De elektriciteit kan niet meer van de eene pool naar de andere vloeien. Het week ijzeren staafje houdt op magnetisch te zijn, trekt het stukje week ijzer niet langer aan, en de stift, aan den hefboom verbonden, drukt niet langer tegen het papier. De schroeflijn wordt afgebroken. Maar een oogenblik later wordt ook het dradennet Q vernield, de veer U wordt vrij en komt in aanraking met T. Zoodra dit gebeurt, kan de elektriciteit wederom door de metalen geleiding S T U R van de eene pool naar de andere komen; het week ijzeren staafje wordt weer magnetisch en de stift van den hefboom hervat het teekenen van de schroeflijn. Den tijd gedurende welken de stift van den hefboom niet in aanraking geweest is met het papier, vindt men uit het gedeelte der lijn, dat in dit tijdsverloop door de stift van de stemvork is beschreven.

Laten wij onderstellen dat deze stift van zijn eenen uitersten stand in den anderen is gekomen. Dan heeft de kogel om een weg van twee decimeter af te leggen noodig gehad  $\frac{1}{100}$  seconde, en bezat hij dus tusschen P en Q een gemiddelde snelheid van tweehonderd meter.

Intusschen behoort men nog een verbetering aan te brengen, omdat het week ijzeren staafje niet oogenblikkelijk zijn magnetisme verliest of terugkrijgt bij het openen of sluiten der metalen geleiding; boven-

dien heeft de veer U tijd noodig om den afstand tot T te doorloopen. Maar in verdere bijzonderheden wil ik niet treden.

Door den hoogleeraar DONDERS zijn met den toestel van fig. 9 een reeks van keurige proeven gedaan; de aard er van gaf hem aanleiding den toestel te noemen: gedachtensnelheidsmeter. Ik wil trachten er u een denkbeeld van te geven.

Een indruk, door een onzer zintuigen ontvangen, kan gevolgd worden door een handeling van onze zijde. Bijv. het zien binnenkomen van een persoon kan mij er toe brengen op te staan en een stoel te krijgen. Men kan ook met anderen van te voren overeenkomen, welke handeling men zal doen volgen op het waarnemen van een zeker verschijnsel.

Ik kan bepalen, dat zoodra ik de vonk zie, welke bij het openen van deze electriche geleiding ontstaat, ik met den vinger de stift zal neerdrukken, die aan den hefboom verbonden is. Er wordt gevraagd: welke tijd verloopt er tusschen het oogenblik waarop mijn gezichtsorgaan den indruk van de vonk krijgt, en het oogenblik waarop ik de handeling verricht van het neerdrukken van den hefboom?

De indruk, dien mijn gezichtsorgaan ontvangt, moet geleid worden naar het centraalorgaan waar hij waargenomen wordt, of met andere woorden waar hij tot mijn bewustzijn komt. Dit vordert tijd. Het waarnemen moet gevolgd worden door een wilsbevel; ook dit kost tijd. Eindelijk moet het wilsbevel overgebracht worden naar den vinger, en dit geschiedt evenmin oogenblikkelijk. De som van deze tijdsverloopen kan men vinden. Zoolang de geleiding gesloten blijft, zal de stift, die aan den hefboom verbonden is, haar spoor op het met roetzwart bedekte papier achterlaten. Op het oogenblik dat iemand de geleiding verbreekt, verwijdert de stift zich van het papier; maar zoodra als ik de vonk heb waargenomen, druk ik met den vinger op den hefboom, waardoor de stift weder met het papier in aanraking komt. Het tijdsverloop gedurende hetwelk de stift niet in aanraking is geweest met het papier, vindt men weer uit de kromme lijn, die de stift der stemvork beschreven heeft. Merkwaardig is het dat de gevonden tijdsduur voor geoefende personen kleiner is dan voor niet geoefende.

Ziehier een kegelvormige buis; aan de eene zijde is zij open en zijn de afmetingen zoodanig dat twee personen, zonder elkander te hinderen, den mond er voor kunnen brengen. Het andere uiteinde is gesloten door een vlies, in het midden waarvan aan de buitenzijde een

stift aangebracht is. Deze stift wordt gesteld tegen het met roetzwart bedekte papier in het horizontale vlak, waarin de stift der stemvork zich heen en weer beweegt.

Er wordt nu overeengekomen dat de persoon A bijv. den klinker *e* zal uitspreken en dat de persoon B dezen terstond zal herhalen. Op het oogenblik waarop A begint te spreken, geraakt het vlies en daarmede de stift in beweging. De stift zal dan niet meer een boog van een schroeflijn beschrijven, maar een lijn van denzelfden vorm als die der kromme door de stift van de stemvork achtergelaten. Vóórdat B den klank heeft kunnen herhalen, is het vlies in rust geweest, hetgeen blijkt uit den vorm der lijn. Zoodra B geluid geeft, komen vlies en stift weer in beweging. Uit de achtergelaten lijn kan men nu bepalen welke tijd er verloopen is van het oogenblik dat A gesproken heeft tot het oogenblik waarop B heeft geantwoord.

Men kan deze proef eenigszins wijzigen door niet van te voren overeen te komen welken klinker door A genoemd zal worden. B moet dan, voordat hij antwoordt, uitmaken welken klinker A heeft gekozen. Merkwaardig is het, dat de tijd dan iets langer blijkt te zijn. Het is niet waarschijnlijk dat in deze beide gevallen de zenuwen verschillende tijden noodig gehad hebben om den indruk of het wilsbevel over te brengen. Uit het verschil dat toch gevonden wordt, kan men zich een voorstelling maken over de grootte van het tijdsverloop, waarin eenvoudige denkprocessen volbracht worden.

Voor tal van nog andere proeven is deze stemvork en dit met roetzwart bedekte papier te gebruiken. Maar ik geloof dat het meegedeelde voldoende is geweest om u een denkbeeld te geven van de wijze waarop men zeer kleine tijdsverloopen kan meten.

En hiermee wensch ik mijn voordracht te eindigen. Mocht het mij gelukt zijn, niet alleen u meer vertrouwd gemaakt te hebben met onze tijdmeters, maar ook vooral u een inzicht verschaft te hebben in het eigenaardige van tijdmeting. Het moet toch ons streven zijn van hetgeen wij dagelijks als het ware onbewust verrichten, ons volledige rekenschap te kunnen geven.