

Louis Mathot / Ruud Brouwer

Antieke techniek & Oude natuurkunde

40 inspirerende teksten over toen en nu

2014 – 2016

© Louis Mathot en Ruud Brouwer

Alle rechten voorbehouden.

Voor niet-commercieel gebruik in de klas mag de inhoud van dit boekje zonder toestemming te vragen gebruikt worden.

www.stevin.info
stevin@stevin.info

Inhoud

AT

OuNa

1	De duikboot van Drebbel
2	De telefoon van Reis
3	De glasdraad van Einthoven
4	De waterdief van Ktesibios
5	De wagens van Stratingh
6	De vingerhoed van Wollaston
7	De demo's van 's Gravesande
8	De aansteker van Döbereiner
9	De fles van Van Musschenbroek
10	De vindingen van Zhang Heng
11	De onrust van Huygens
12	Het water en vuur van Heron
13	De clootkrans van Stevin
14	De dromen van Tesla
15	De kou van Kamerlingh Onnes
16	De apparaten van Mälzel
17	De diertgens van Leeuwenhoek
18	De eend van Vaucanson
19	De vonken van Van Marum
20	De veelzijdigheid van Da Vinci

1	De holle goot van Galilei
2	De cowboyknoop
3	Unsilvered Mirrors
4	Ballonnen
5	Druppels van prins Rupert
6	Schaalwetten
7	Smartphone
8	Dobbelstenen
9	Kettingen - 1
10	Kettingen - 2
11	De meiboom
12	Tyndall over Geluid
13	Inslagen
14	Modulus
15	De ouderdom van de aarde
16	SRT
17	Spelen met een pen
18	Elektricks
19	Kaarsenwip en andere trillingen
20	Brekingsindex

Antieke techniek

3 De glasdraad van Einthoven

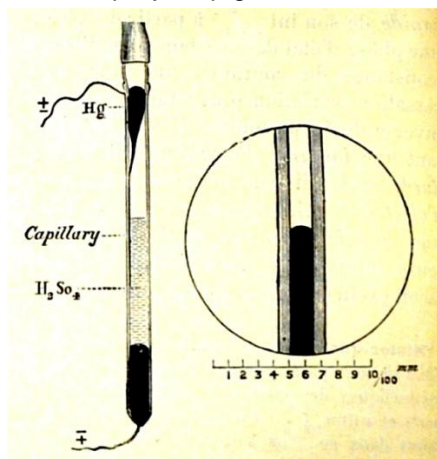
Willem Einthoven was de eerste die de hartactiviteit in een duidelijk diagram wist vast te leggen. Hoewel bekend staand als onhandig, bereikte hij een ongelooflijke nauwkeurigheid met zijn snaargalvanometer. Met een reactietijd van 0,01 s op een stroomstootje van 10^{-11} A leverde dat een uitwijking op van een cm.

■ Louis Mathot

Geboren in Semarang op Java in 1860, kwam hij na de dood van zijn vader – een arts, via Groningen naar Utrecht. Na de HBS en een extra tentamen studeerde hij daar aan de universiteit. Zijn proefschrift schreef hij over *stereoscopie door kleurverschil* op suggestie van Donders. Dat velen rood dichterbij zien dan blauw, is niet alleen een kwestie van accommodatie. Bijgevoegde stelling: *Men geve aan de kinderen op de scholen een hellend werkvlak, en leere hun de lei of het papier, waarop zij schrijven, schuins vóór zich te houden.* In 1886 werd hij op voorspraak van Donders benoemd in Leiden: leerstoel fysiologie en histologie, nog vóór zijn artsexamen.

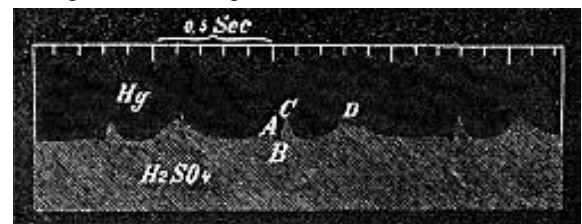
Eerdere pogingen

Met Galvani begon in 1790 het onderzoek naar *De Viribus Electricitatis in Motu Musculari* (Over het effect van elektriciteit op spierbeweging). Waller maakte in 1887 het eerste fotogram met de capillaire elektrometer van Lippmann: de kwikspiegel in een verticaal capillair met daarboven zwavelzuur werd van opzij belicht. Door de vloeistoffen met een wisselspanning te verbinden, kwam de meniscus in trilling. De figuur werd daarna op zijn kop gezet.



W. Einthoven

Waller mat de hartactiviteit van Jimmy, zijn bulldog en die van hemzelf. Hij gebruikt de letters A, B, C en D. Door de traagheid van de kwikmeniscus was een hele berekening nodig om de uitwijking te vertalen naar een (spanning,tijd) - grafiek. Dit is een getekend fotogram van Einthoven.

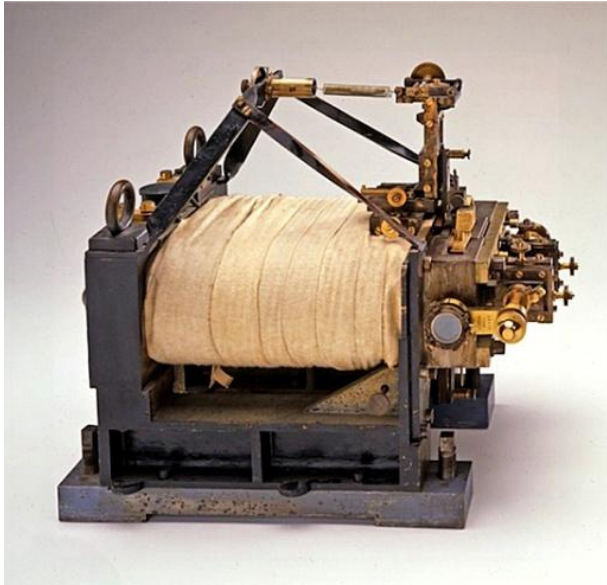


Waller geloofde er zelf niet erg in: *I do not imagine that electrocardiography is likely to find any very extensive use in the hospital ...*

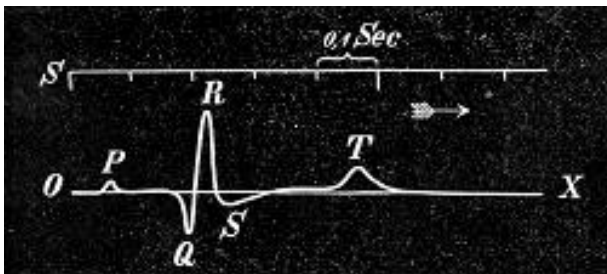
Met pijl en boog tot 0,2 μm

Een stroomvoerend spoeltje in een magnetisch veld ondervindt lorentzkrachten, dwars op de stroom- en veldrichting. Einthoven redeneerde: de kleinste spoel is een halve winding, een draad. De gevoeligheid is evenredig met de sterkte van het magnetisch veld, met de vergroting van de microscoop en omgekeerd evenredig met de wortel uit de massa van de draad dus met de dikte ervan. Om de gevoeligheid te vergroten, moet de snaar dus zo dun mogelijk zijn. Dat loste hij op door een druppel half gesmolten kwartsglas weg te schieten met pijl en boog.

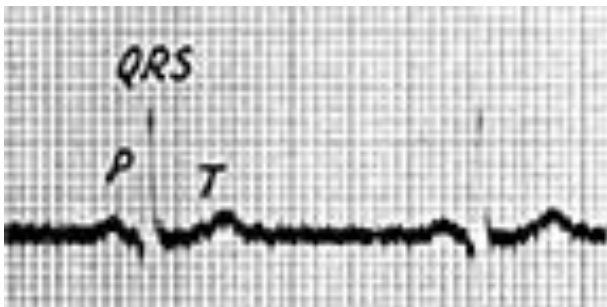
Aanvankelijk waren de meeste draden daarna niet meer terug te vinden en waar ze gebleven waren, bleek pas toen ze tijdens een onweer oplichtten, zwevend in het donkere lab! Na verzilvering om de draad geleidend te maken, spande Einthoven die tussen de doorboorde poolschoenen. De een was doorboord voor de belichting; de ander was voorzien van een lensje van 4 mm brandpuntsafstand, waardoor na projectie op een draaiende rol met fotografisch papier een vergroting van 2000 keer gehaald kon worden. De spanning in de draad was regelbaar.



De spoelen en de doorboorde poolschoenen



Berekende vorm van eerder genoemd fotogram



Direct gemeten met de snaargalvanometer

Later bleek Einthoven dat zo'n opstelling werd gebruikt om Trans-Atlantische morsesignalen te ontvangen en voegde hij de literatuurverwijzing alsnog toe.

In 1889 ontmoette hij Waller op een congres en rekende hij voor het eerst een ABCD-fotogram om tot een cardiogram. Dat bleek perfect te kloppen met wat hij in 1902 direct met zijn snaargalvanometer mat. In 1905 lukte het hem over de telefoon een ECG op te nemen van een man die zojuist de 1,5 km naar het ziekenhuis had gefietst; de R-pieken waren fors. Kwam dat door het fietsen?

Nobelprijs

In 1924 werd hem de Nobelprijs van \$ 40 000 toegekend. Hij deelde die ruimhartig met de twee zusters van zijn vroegere assistent Van de Woerd die inmiddels bleek te zijn overleden. Zijn standaard van 1 mV per cm en 25 mm/s geldt nog steeds.

Bron

Onder andere: *Nederlandse helden der wetenschap* door T.P. Sevensma

OuNa

17 Spelen met een pen

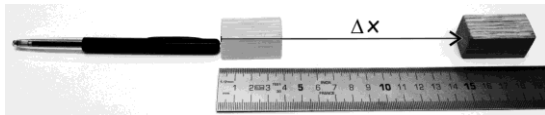
Met slechts een pen, een weegschaal en een rolmaat kun je proeven doen over energiebehoud. Sinds ik de prachtige app *Videostopwatch* voor de iPhone heb ontdekt, kan ik heel simpel korte tijden meten en lukt het om ook de tweede wet van Newton met een pen te testen. Aan het eind van deze OuNa een model van de Space Shot in Walibi: een verticaal schot langs een statiefstang.



■ Ruud Brouwer

Wegschieten blokje

Leg je pen op een horizontaal vlak en zorg ervoor dat de pen stil blijft liggen. Duw met het blokje tegen de pen, zodat de veer in de pen maximaal ingedrukt is.



Laat het blokje los: het blokje schiet weg. Zorg voor minimaal drie geslaagde pogingen. De bekende bic-pen met het knopje aan de zijkant om de veer te ontspannen, is bij deze proef handig.

Met een stopwatch de remtijd Δt meten is ondoenlijk vanwege de invloed van je reactietijd. Maar met de app *Videostopwatch* voor de iPhone lukt dat prima!



De app werkt intuïtief: leerlingen en ik werken er moeiteloos mee. Een film kun je in de app maken of ophalen bij je video's. Tik op de groene stopwatch als je in de film $t = 0$ s wilt instellen (het moment dat het blokje gaat bewegen) en op de rode als je de eindtijd wilt weten. Als je geen $x(t)$ -grafiek nodig hebt, is videometen met een snelle camera met coach niet meer nodig.

Berekeningen met de gemiddelde snelheid kun je met deze proef goed oefenen. We nemen aan dat de weerstandskracht F_w constant is:

- Meet drie keer de remweg Δx en de remtijd Δt van het blokje. Middel je waarden.
- Bereken v_{gem} en daarmee v_{begin} (want $v_{\text{begin}} = 2 \cdot v_{\text{gem}}$).
- Bereken de vertraging a met $a = (0 - v_{\text{begin}})/\Delta t$ en daarna F_w .
- Controleer de waarde van F_w met een gevoelige krachtmeter door met constante snelheid aan het blokje te trekken. Beschik je niet over een dergelijke krachtmeter, laat dan via een katrol een paar paperclips aan het blokje trekken: als het blokje met constante snelheid beweegt geldt $F_{z, \text{clips}} = F_w$.

Vrije val

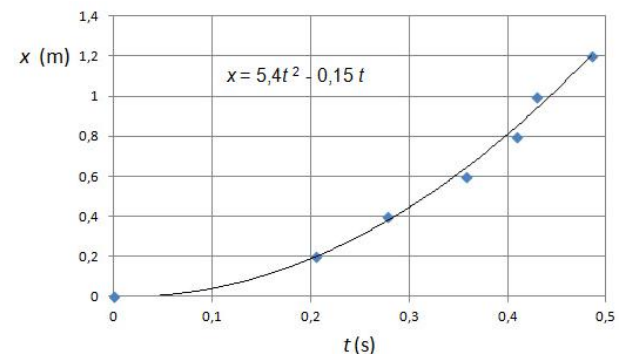
De valtijd van een vrije val is vanwege de reactietijd niet met een gewone stopwatch te meten. Daarom gebruikte ik als demonstratie jaar in jaar uit de elektronische start/stop installatie in combinatie met een snelle klok. Echter, met de videostopwatch is sinds dit schooljaar deze basale proef gepromoveerd tot een klassikaal practicum. Met de valhoogte en de valtijd bereken je

$$v_{\text{gem}} = h/t_{\text{val}}$$

Daaruit volgt op de bekende manier dat

$$v_{\text{eind}} = 2 \cdot v_{\text{gem}} \text{ en tot slot dat } g = v_{\text{eind}}/t_{\text{val}}$$

Twee dames uit 4 havo vonden in hun film bij $x = 1,20$ m een valtijd van 0,485 s en dat geeft $g = 10,2 \text{ m/s}^2$. Deze meting en nog vijf andere hebben ze in Excel gezet:



De coëfficiënt in de formule van de trendlijn voor de t^2 wijkt 10% af van de gewenste waarde $\frac{1}{2}g = 4,9 \text{ m/s}^2$. Voor schoolnatuurkunde in 4 Havo vind ik dat *nét* goed genoeg. Is de discrepantie meer dan 10% dan beschouw ik de meting als niet geslaagd. Ongetwijfeld is de meetonnauwkeurigheid ontstaan bij het aangeven van het startpunt in de film bij het juiste filmbeeldje met een tik in de app op de groene stopwatch en bij het stoppunt met de rode stopwatch, en is dat de reden waarom de dames niet dichterbij $4,9 \text{ m/s}^2$ zijn uitgekomen. De $-0,15t$ zou moeten betekenen dat er een negatieve beginsnelheid was, maar dat lijkt mij onwaarschijnlijk.

Ik vermoed eerder dat hier opnieuw het aangeven van het juiste start- en stoppunt in iedere film niet helemaal nauwkeurig genoeg is gelukt.

Omhoogschieten

Ontmantel de pen en bepaal de massa van de huls. Duw op een weegschaal de veer van de pen zo ver mogelijk in en bepaal de maximale veerenergie. Voorspel tot welke hoogte h de huls van de pen zal komen als je hem laat schieten. Controleer je voorspelling met een videometing waarbij ook een bordliniaal of rolmaat in beeld is. Is alle veerenergie omgezet in zwaarte-energie? Druk daarna de veer voordat je de huls laat schieten voor de helft in. Als het goed is, haalt de huls nu een kwart van de maximale hoogte, want $E_v \sim v^2 \sim h$.

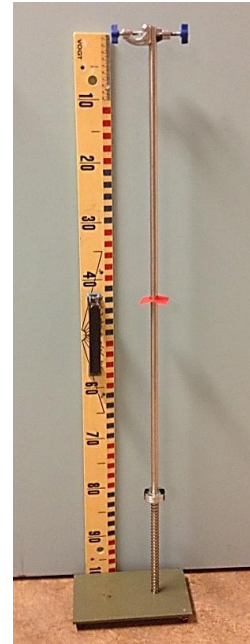


Doe een proef zoals deze altijd een keer voor. Dan ziet de hele klas wat de bedoeling is en dat scheelt veel tekst en uitleg op papier.

Space Shot model

De opstelling doet denken aan de *Space Shot* in Walibi. Een veer om de statiefstang schiet een gewichtje weg. Het gewichtje bestaat uit een stapeltje ringen die met tape aan elkaar vastzitten.

Met de videostopwatch is de tijd voor de reis omhoog goed te meten. Noem Δt de tijd vanaf het loskomen van de veer tot het hoogste punt. Omdat er een papiertje om de stang met het gewichtje mee omhoog beweegt en in het hoogste punt achterblijft, is ook h goed te meten.



Net als bij het blokje dat werd afgeschoten met de pen kun je via $v_{\text{gem}} = h/\Delta t$ en $v_{\text{begin}} = 2 \cdot v_{\text{gem}}$ naar de vertraging vragen: $a = (0 - v_{\text{begin}})/\Delta t$. Als er weinig wrijving is, zal de absolute waarde van de uitkomst in de buurt van $9,8 \text{ m/s}^2$ liggen. Komt er een hogere waarde uit, dan is de F_w langs de stang bepalen:

$$F_z + F_w = m \cdot a \Rightarrow F_w = m \cdot (a - g).$$

