



WILLEM JACOB 's GRAVESANDE

een vergeten Bossche beroemdheid



's GRAVESANDE

een ultiem streven naar erkenning

THEO VAN DEN WIJNGAART

Gedrukt bij: *Drukkerij Van der Heijden, 's-Hertogenbosch*

Omslag:

Portret van Willem Jacobs 's Gravesande, Jacob Houbraken/Jan Wandelaar, 1708 – 1780 [Rijksmuseum]

- bewerking: *Rémy van den Wijngaart*, met gebruik van ornamenten van *freepik.com*

W.J. 's Gravesande

(1688 – 1742)

een vergeten Bossche beroemdheid

een ultiem streven naar erkenning

voor de stad

Inhoudsopgave

Voorwoord	p.5
Inleiding	p.7
Deel I: De mens	p.11
De familiegeschiedenis	p.12
De levensloop van Willem Jacob	p.18
Tot slot	p.49
Deel II: Zijn werk	p.51
De bol, de ring en het emmertje	p.52
De vrije val	p.60
Een duivelse <i>val-in-klei</i> -proef	p.65
Nawoord	p.71
Bronnen	p.73
Bijlagen	
BIJLAGE I: De familiestamboom	p.75
BIJLAGE II: Grafzerken en heraldiek	p.77
BIJLAGE III: Newtons zwaartekrachtwet	p.79
BIJLAGE IV: De ‘kwadratenwet’	p.83
BIJLAGE V: De <i>val-in-klei</i> -proef – Boerhaave 29-1-’12	p.85

VOORWOORD

Tijd heeft de typische eigenschap een steeds dikker wordende mist te leggen over de geschiedenis. Op zich heeft dat best een nuttige, filtrerende werking. Maar soms kunnen zelfs personen van internationaal aanzien verrassend gemakkelijk in die mist verdwijnen. In de geschiedenis van 's-Hertogenbosch is dit gebeurd met Willem Jacob 's Gravesande.

Dat Jeroen Bosch de beroemdste Bosschenaar aller tijden is, staat buiten kijf. Maar wie komt er op de tweede plaats? Stel dat u dit boekje nog niet onder ogen had gehad en ik had u gevraagd: 'Wie is volgens u de op één na beroemdste Bosschenaar aller tijden?' Dan had u zich waarschijnlijk even achter de oren moeten krabben. Afhankelijk van de kringen waarin u verkeert, was u misschien na een tijdje spontaan gekomen op bisschop Mgr. Bekkers, wielrenner Gerrit Schulte, kunstschilder Piet Slager, arts-fysioloog Jacob Moleschott, of zelfs op de legendarische Janus Kiep(oog). Maar de kans dat u als antwoord 'Willem Jacob 's Gravesande' had gegeven, schat ik niet ver van nul.

5

In het verleden zijn er diverse pogingen gedaan een ranglijst te maken van de beroemdste Bosschenaren – een bij voorbaat hopeloze missie natuurlijk. Op de laatste(?) lijst, uit 2002, van dertien beroemde echte en pseudo-Bosschenaren kwam 's Gravesande niet eens voor.

Tegenwoordig kun je zo'n soort lijst vinden op Wikipedia: de 'lijst van Bosschenaren'. Daarop zijn meer dan 300 belangrijk geachte, geboren Bosschenaren te vinden. 's Gravesande staat daar vermeld bij de categorie 'Overige'.

Toch, als je bereid bent het lokale niveau, het regionale of zelfs het nationale niveau te overstijgen, dan kom je op internationaal niveau onmiskenbaar uit op 's Gravesande. Dit moet natuurlijk nog wel aangetoond worden, en daar is dus dit boekje voor.

Afbeelding 1 geeft u alvast een beeld van de man.



Afbeelding 1: Olieverfschilderij van Hendrik van Limborch. Het hangt in de aula van de Universiteit van Leiden. De tekst op het schilderij luidt: “Willem Jacob 's Gravesande, uit 's-Hertogenbosch, hoogleraar Wiskunde en Sterrenkunde, en vanaf 1717 ook Wijsbegeerte, **geboren** op 28 sept. 1688, gestorven op 28 febr. 1742”.

[Wikimedia Commons, the free media repository]

dit moet zijn: **gedoopt**! – ThvdW
geboortedatum: 27 sept. 1688
(zie ook bijschrift Afbeelding 26)

Dat zijn naam u zeer waarschijnlijk niet bekend voor komt, roept een aantal vragen op:

Hoe lang kun je beroemd blijven? Trouwens, **wanneer** ben je eigenlijk beroemd? Als je tien keer op TV bent geweest? Of als je online een *influencer* bent met een gigantisch aantal volgers? En aan **welk criterium** moet je iemands *celebrity*-gehalte afmeten? Populariteit? In kunstkringen zal daar allicht anders over worden geoordeeld dan in sport- of kerkelijke kringen. Dat zou dus kunnen pleiten voor het criterium: **beroemd in alle (Bossche) kringen** – of op z'n minst bekend. Maar in dat geval zou misschien wel Janus Kiep er met de titel 'de op één na beroemdste Bosschenaar' vandoor gaan. Of moeten we sterker laten meewegen hoe ver **over de grenzen van Den Bosch** de bekendheid reikt? En hoe zwaar moet je laten meetellen in hoeverre iemand is **verweven met het Bossche wereldje**? Of moet je juist veel meer kijken naar **het nagelaten werk**? En dan vooral naar de houdbaarheid ervan, dus: hoe lang naam en werk de tand des tijds hebben weten te doorstaan?

Wat dat laatste betreft is het de taak van cultuurliefhebbers in het algemeen, en historici in het bijzonder, die tand zo lang mogelijk te trotseren. In die zin valt er aan W.J.'s Gravesande nog heel wat achterstallig onderhoud te doen.

Dus rijst nu de voor de hand liggende vraag: **waarom zou Den Bosch trots moeten zijn op Willem Jacob 's Gravesande**?

In dit boekje zal ik proberen u ervan te overtuigen dat 's Gravesande de titel 'Beroemde Bosschenaar' dik verdient. Dat hij iemand was op wie wij ook in deze tijd nog apetrots zouden moeten zijn. Daarvoor hoeft u dit boekje niet van de eerste tot de laatste letter te lezen. Het kan zijn dat het u af en toe boven de pet gaat, maar dat geeft niet. Om die reden heb ik al een scheiding gemaakt tussen **zijn levensloop** en **zijn werk**. Laat u vooral niet afschrikken door soms een 'geleerd stukje'.

INLEIDING

's Gravesande was in zijn tijd, van de VOC maar ook van de Verlichting, een toonaangevende fysicus, wiskundige en filosoof. Hij bewoog zich soepeltjes in de kringen van (natuur)wetenschappers en denkers zoals Isaac Newton, Gottfried Leibniz en Voltaire. Die laatste heeft zelfs nog een blauwe maandag in Leiden bij 's Gravesande colleges gelopen! Hij heeft met het in de 17e eeuw nog nauwelijks bekende gedachtegoed van de geniale Britse geleerde Isaac Newton het hele natuurwetenschappelijk denken in Europa op zijn kop gezet. Ik hoop u in de loop van dit verhaal duidelijk te maken hoe hij dat precies heeft gedaan.

In 1717 is hij aan de universiteit van Leiden benoemd tot hoogleraar in de 'wiskunde en astronomie' – dus *niet* in de fysica! - en tien jaar later ook nog tot hoogleraar in de filosofie. Tweemaal heeft 's Gravesande een aanbod voor een leerstoel in het buitenland beleefd afgeslagen: eerst in Sint Petersburg in 1724, op uitnodiging van tsaar Peter de Grote en in 1740 in Berlijn op uitnodiging van Frederik de Grote van Pruisen.

's Gravesande (1688 – 1742) is geboren in 's-Hertogenbosch. Zijn familie was aan beide kanten diep geworteld in het Bossche wereldje. Via vaders kant in bestuurlijk opzicht:

- zijn grootvader was **president-schepen** (een soort burgemeester annex rechter)
- zijn vader en drie van zijn broers waren ook **schepenen** (soort wethouders met gerechtelijke macht)

En via moeders kant in stedenbouwkundig opzicht:

- Frans Blom, de broer van grootvader Nicolaas Blom, was 'de stadstimmerman' en "contrerolleur" en ingenieur van 's lands fortificatiën der stad en forten van den Bosch.

In totaal zeven familieleden zijn (president)schepen van 's-Hertogenbosch geweest. Liefst negen familieleden, minstens, liggen begraven in de Sint-Jan. Dat zegt ook wel iets over zijn verbondenheid met Den Bosch. Zie ook BIJLAGE II.

Het is echt vreemd dat deze destijds wereldberoemde geleerde totaal uit het zicht is geraakt – en niet alleen in Den Bosch. Hoe kan iemand die eigenhandig het wetenschappelijk denken in Europa op z'n kop zet, desondanks uit het zicht raken in zijn geboortestad, en ook daarbuiten?

Het zou te simpel zijn dit alleen te wijten aan zijn bescheiden karakter. Een meer plausibele verklaring is dat 's Gravesande zelf geen spectaculaire ontdekking heeft gedaan. En hij heeft ook niet zelf een compleet nieuwe theorie ontwikkeld.

Wel heeft hij baanbrekend werk verricht met het op schrift stellen van een combinatie van het werk van Isaac Newton en van Christiaan Huygens. Dat zou later uitgroeien tot de canon van het natuurkunde-onderwijs, tot op de dag van vandaag.

Zijn belangrijkste bijdrage aan de natuurwetenschappelijke theorievorming leverde hij met zijn slimme, doorslaggevende experiment waarmee hij de weg naar het natuurkundig begrip 'energie' geplaveid heeft. Maar die term zelf heeft pas in 1807 zijn moderne, zelfstandige betekenis gekregen, naast de begrippen 'impuls' en 'kracht'.

Zo, het wordt nu echt tijd om na te gaan hoe 's Gravesande kon uitgroeien van een slimme jonge Bosschenaar tot een internationaal alomtewees gewaardeerde geleerde.

Daarbij zal ik zo veel mogelijk een scheiding aanhouden tussen zijn levensloop en zijn natuurwetenschappelijk werk.

Elk van beide facetten van zijn leven krijgt een eigen boekdeel toebedeeld:

DEEL I over [De mens](#)

DEEL II over [Zijn werk](#)

DEEL I

De mens

De familiegeschiedenis

In Delft woonden in de 17de eeuw twee regentengeslachten **Storm (van) 's Gravesande** die geen enkele verwantschap met elkaar hadden. Beide families hebben hun naam ontleend aan hun voorouders die afkomstig waren uit 's-Gravenzande ¹⁾.

Afbeelding 2: het familiewapen van 's Gravesande



- * **Wapen:** drie zwarte (storm)vogels, in zilver
- * **Hartschild:** negen [5-4] gouden ruiten, in rood
- * **Wapenvoeder:**
 - **Persoonsnaam:** Dirk Hendriksz. van 's Gravesande
 - **Persoonsnaam:** Laurens 's Gravesande,
Schepen van 's-Hertogenbosch

De stormvogels verwijzen naar de originele familienaam. Het wapen is met enige moeite te herkennen in het reliëf van de grafzerk van de familie in de Sint Jan – zie *BIJLAGE II*.

Omdat voorvader Huyg Cornelisz Storm ($\pm 1460 - 1539$) president-schepen van 's-Gravenzande was geweest, voegde hij aan zijn familienaam 'Van 's Gravesande' toe. Zijn zoon vestigde zich in Delft, maar die noemde zich Hendrick Hugensz Storm van 's Gravesande. Latere leden van deze patriciërsfamilie lieten zich kortweg Storm noemen. Anderen alleen 's Gravesande, of ze voerden de volledige naam: Storm (van) 's Gravesande.

Al vóór de Beeldenstorm (in 1566) was de familie calvinistisch gezind.

1) Om het nog eens lekker extra ingewikkeld te maken: van beide takken van de familie zijn er leden geweest die een flinke vinger in de pap van de Bossche schepenbank (= het gemeentebestuur) te brokkelen hebben gehad. Zo is de 'Pieter' (1697 – 1761) die in de Sint-Jan begraven ligt (onder zerk 314) *niet* de oudere broer van Willem Jacob die ook 'Pieter' heet (1683 – 1725). Die is in dezelfde tijd ook schepen van Den Bosch geweest en is in de familiekelder van hun ouders bijgezet (zerk 361).

Grootvader Laurens

Laurens (Storm van)'s Gravesande, Willem Jacobs grootvader, was de eerste van de familie die in Den Bosch verscheen. Hij was geboren in 1605 in Delft en in Leiden in 1635 getrouwd met de dochter van een Leidse hoogleraar geneeskunde, Otto van Heurn/Hurnius. Uit het huwelijk van Laurens en Johanna van Heurn werden negen kinderen geboren, waarvan **Dirk** (ook wel Dirck of Dierck) de laatste was. Die zou later, in 1688, de vader worden van Willem Jacob.

De inname van Den Bosch

Stadhouder Maurits had twee pogingen gedaan om Den Bosch, 'De Moerasdraak', te verslaan. Allebei waren die mislukt. Zijn opvolger en halfbroer **Frederik Hendrik** lukte dat in 1629 wel, maar daar kwam een zeer leep en duur stukje watermanagement aan te pas. De hoge kosten waren niet echt een probleem, want Piet Heyn had kort tevoren de Zilvervloot veroverd.

(Vreemd genoeg wordt de inname van Den Bosch vaak aangeduid met de term 'de Reductie'.)

De stad kreeg de status van bezet gebied. Ze werd evenals de andere katholieke gebieden in het Zuiden, de zogenaamde '**Generaliteitslanden**', geregeerd door de Staten-Generaal.

Terzijde: in 1629 heerste ook nog **de pest** in Den Bosch.



Afbeelding 3: Prins Frederik Hendrik en graaf Ernst Casimir bij het beleg van Den Bosch in 1629 [Pauwels van Hillegaert, 1635]

Van Delft naar Den Bosch

Niet lang na de inname van Den Bosch verhuist grootvader Laurens van Delft naar Den Bosch. Frederik Hendrik had voor hem daar een paar leuke bestuurlijke baantjes geregeld²⁾. Diens steun heeft hij hard nodig om zich samen met zijn familie als protestanten staande te kunnen houden in de ‘vijandige’ katholieke omgeving van zijn nieuwe stad. Jaren later zal Willem Jacob zich daar als kind zeker bewust van zijn geweest.

In 1632 verwerft Laurens het poorterschap³⁾ van Den Bosch. Maar omdat er nog geen schepenen aanwezig zijn, wordt het afleggen van de bijbehorende eed uitgesteld tot begin 1638.

Laurens’ dochter [Anna](#) wordt in 1645 geboren in Den Bosch. Zij is als allereerste protestant(se) in de Sint-Geertruikerkerk gedoopt. Deze kerk was eigenlijk een kloosterkapel. Die behoorde bij het destijds internationaal gerenommeerde klooster van de zusters Augustinessen, toegewijd aan Sint-Gertrudis – vandaar de naam. Die was aan de Nederduits-gereformeerde gemeenschap toegewezen ter vervanging van de Sint-Pieterskerk. Die kerk was gesloopt vanwege de aanleg van het [fort Willem-Maria](#) (dat nu De Citadel⁶¹⁾ heet). Zie *Afbeelding 4 & 5*. Het kloostercomplex lag van 1449 tot 1629 net buiten de eerste stadsmuur, vlakbij de [Brusselse Poort](#) aan het einde van de Orthenstraat. Op een actuele plattegrond is de locatie ervan te vinden in de hoek tussen de Kloostersgang en het Sint Geertrui-kerkhof – dus waar nu de Barbaraplaats is.

2) In 1640 werd hij voor het eerst in de Bossche schepenbank benoemd, tot 1681 zou hij hier in totaal veertien jaren zitting nemen. Hij werd aangesteld als ‘raad en regeerend schepen controleur van ‘s lands convoyen en licenten’ (= een soort in- en uitvoerrechten - ThvdW) en ‘opziener-generaal over het laden der uitheemsche lakens’ in ‘s-Hertogenbosch, de hoofdstad van het generaliteitsland Staats-Brabant’.

3) Een poorter is een historische benaming voor een burger die het recht kreeg binnen de poorten van een plaats met stadsrechten te wonen. Die genoot daarmee bijzondere politieke en economische rechten. Er was een verschil tussen de gewone inwoners van de stad (ingezetenen) en de poorters, die een hoger aanzien hadden vanwege hun afkomst, opleiding, inkomsten, vakmanschap enzovoorts.



Afbeelding 4: *Boven*: luchtfoto van De Citadel. *Onder*: impressie van het virtuele 5e bastion (zie ) gezien vanaf  (= hoek Van Tuldenstraat – Zuid-Willemsvaart).

[aquarel Hai Verstappen]

Laurens' negende kind en derde zoon, Dirck, mag vanaf 1670 ook in de Bossche schepenbank plaatsnemen. In 1702 volgt hij hem na als president-schepen, met wat extra werkuitbreiding⁴⁾. (Zijn oudere twee zonen hadden hun vader niet overleefd.)



stadsplattegrond

Afbeelding 5:
's-Hertogenbosch
eind 17^e eeuw

- 1. de Orthenpoort, afgebroken ca.1635 i.v.m. bouw v/d Citadel (5)
- 2. de Brusselse poort
- 3a. Sint Geertruikerkerk
- 3b. Sint Geertruiklooster-complex
- 4. **geboortehuis W.J. 's Gravesande**: Orthenstraat 25

4) Hij wordt aangesteld als 'ontvanger-generaal der beurzen en geestelijke goederen gesticht voor studiën, controleur der licenten in den Bosch en ontvanger der domeinen en geestelijke goederen van Z.H. den Prins van Oranje in diens baronie van Cranendonck, de stad Eindhoven en andere heerlijkheden gelegen in de Meijerij'. Ja, het is een mondvol. En blijkbaar verdiende het lekker genoeg om een groot gezin te stichten.

In 1681 treedt Dirck in het huwelijk met [Anna Josina Blom](#), een Bossche van geboorte, die in de Nieuwstraat ⁶¹⁾ woont. Zij is de dochter van [Cornelia de Bastynck/Bastings](#) en [Nicolaas Blom](#), de broer van François/Frans. Frans wordt in het poorterboek aangeduid als ‘[timmerman van de parochiekerken deser stadt](#)’ en zal dus wel betrokken zijn geweest bij het herstel van de schade die door de belegering van 1629 aan de kerken was toegebracht⁵⁾. Zijn bouwkundige kennis zal er ongetwijfeld voor gezorgd hebben dat hij de officiële functie ‘[controleur van de stedelijke fortificatiën](#)’ kreeg. Ook in latere bronnen wordt hij regelmatig aangeduid als stadstimmerman, dan wel als timmerman in dienst van het land. Onder zijn leiding kwam tussen 1637 en 1642 de bouw van het al eerder genoemde [fort Willem-Maria](#) (de Citadel) tot stand. Officieel bedoeld om naar eventuele Spaanse indringers te kunnen loeren. Maar voor de Bossche bevolking voelde het meer als een z.g. dwangburcht: zo konden de soldaten van de stadhouder namelijk de in hun ogen onbetrouwbare, Spaansgezinde katholieke bevolking bespieden. In de volksmond werd de Citadel de ‘Papenbril’⁶⁾.

5) Frans Blom is vooral de Bossche geschiedenis ingegaan als de man die samen met [Johan \(Jean\) Gans](#), een rijke vastgoedmakelaar-*avant-la-lettre*, de hand wist te leggen op een opmerkelijk groot deel van de kloostercomplexen en andere kerkelijke goederen. Die waren na de inname van Den Bosch in 1629 door de Haagse overheid geconfisqueerd. Daarnaast wisten zij tal van huizen aan de Peperstraat, de Triniteitstraat, de Choorstraat, de Gasthuisstraat, de Sint Annaplaats, de Waterstraat, de Mortel, de Vughterstraat, de Orthenstraat, de (Brede) Haven en de Oude Dieze in bezit te krijgen. Ook hadden de heren wilde plannen om een nieuwe stadswijk aan te leggen in de driehoek tussen wat nu heet Sint Josefstraat, Nieuwstraat en Hinthamerpromenade — als ‘Cieraet deser Stadt’ (maar eigenlijk ter meerdere eer en glorie van zichzelf...). Maar daar kwam allemaal niets van terecht. Net zo min als van de naïef geplande aanleg van een nieuwe haven.

6) ‘Paap’ is een scheldnaam voor de katholieken en ‘bril’ slaat op het goed kunnen kijken. De officiële naam, Willem-Maria, verwijst naar de twee kinderen van Frederik Hendrik. De benaming ‘Citadel’ stamt overigens pas uit de Franse tijd. Decennia later, in 1880, heeft men het lumineuze idee gekregen om een bastion van de Citadel af te breken voor een betere doorvaart in de Zuid-Willemsvaart. Dit kanaal was in 1825 vlak langs de Citadel aangelegd. Nu het Maxima-kanaal de functie van de Zuid-Willemsvaart heeft overgenomen mogen we van harte hopen dat ooit het bastion zal worden herbouwd.

De levensloop van Willem Jacob

Uit het huwelijk tussen Dirck en Anna Josina worden tien kinderen geboren. Een groot aantal daarvan overlijdt al zeer vroeg. De vijfde in de rij kinderen is Willem Jacob.

Hij wordt geboren op 27 september 1688, in de Orthenstraat⁶¹⁾ op nummer 25. Een dag later wordt Willem Jacob gedoopt in de Sint Jan (de 'Grote Kerk' staat in het doopregister).

In *'De voorname huizen en gebouwen van 's-Hertogenbosch, alsmede hunne eigenaars of bewoners in vroegere eeuwen - Aanteekeningen uit de Bossche schepenprotocolen loopende van 1500-1810' - Ite Deel* (tja, dat is nu eenmaal de titel van dat boek uit 1913 — *ThvdW*) beschrijft Jhr. Mr. A.F.O. van Sasse van Ysselt enigszins cryptisch de aankoop van extra woonruimte in 1706:

Tot het St. Geertruiklooster behoorden ook nog na te melden huis en tuin, waarvan de ligging thans moeilijk meer valt aan te wijzen. Johan van Leeftael, heer van Deurne, in zijne hoedanigheid van rentmeester der episcopale en andere geestelijke goederen in de stad en meierij van den Bosch, verkocht ze 12 Juli 1706 aan Dirck van 's Gravesande, president-schepen van den Bosch, die in 1681 en waarschijnlijk ook nog in laatstgezegd jaar woonde in de Orthenstraat aldaar in een huis 1), dat stond tusschen het huis *het Koppel paarden*, Orthenwaarts, een gang of inrijpoort, de *Koksche poort* genaamd, tusschen beiden liggende, *ex uno* en het huis *de Gapert* Marktwoarts *ex alio*. Hij was in 1681 gehuwd met Anna Josina Blom, die toen in den Bosch in de Nieuwstraat woonde en hem behalve Pieter, den vader van Laurens, gouverneur-generaal van West-Indie, deze zonen schonk : mr. Ewout Hendrik van 's Gravesande, schepen van den Bosch ; mr. Willem Jacob van 's Gravesande, den beroemden professor in de philosophie, mathesis en astronomie aan de Universiteit te Leiden, (geboren te den Bosch 27 September 1688 en overleden te Leiden 28 Februari 1742) en mr. Jeremias van 's Gravesande, president-schepen van den Bosch ;

1) Thans is het genummerd Orthenstraat 25.

Orthenstraat 25 is dus het geboortehuis van W.J.'s Gravesande.



Afbeelding 6: impressie van (virtuele) geboortehuis van 's Gravesande, Orthenstraat 25.

[aquarel Hai Verstappen]

De schoolcarrière

Hoe Willem Jacob als kind is opgevoed, en hoe hij zijn schoolperiode heeft doorlopen, daarvan is nauwelijks iets bekend. Wel dat hij zijn eerste jaren thuis onderwijs heeft gekregen. En aangezien hij via het DNA van zijn beide ouders ruim voorzien was van ‘technische/wiskundige genen’ ⁷⁾ is het niet vreemd dat al gauw bleek dat zijn interesses vooral in die richting lagen.

Regulier onderwijs kreeg hij later aan de [Latijnse School](#) en daarna aan de [Illustre School](#). Een korte toelichting op beide schoolsoorten is hier wel even op zijn plaats.

Al vanaf 1274 bestond er een Bossche parochieschool. Die was verbonden aan ‘de eerste’, i.c. Romaanse, Sint-Jan: de [Scolae de Buscho](#). Deze ‘Bossche School’ was opgericht om Latijn te onderwijzen, aan jongens (...). Niet alleen lezen, maar ook (onderling!) spreken in het Latijn was het doel. De school was aanvankelijk gevestigd in een pand tussen de Clarastraat en het Sint Jans-kerkhof, en bleef daar bijna twee eeuwen lang. Van 1485 tot 1487 was de filosoof en humanist [Desiderius Erasmus](#) er leerling. In zijn tijd was de school verplaatst naar de Kerkstraat.

Maar veruit de beroemdste oud-leerling van de school zal vermoedelijk [Jeroen Bosch](#) (ca.1450 – 1516) zijn geweest.

7) Niet alleen waren er de ‘bouwkundige genen’ van de familie Blom. Ook zijn eigen vader had, naast zijn bestuurlijke besognes, een zekere interesse in wetenschap en techniek. Zijn vader had bijvoorbeeld het patent op een horizontale windmolen. En samen met [Oom Jeremias Blom](#) is hij eens in Den Haag op bezoek geweest bij [Christiaan Huygens](#) (1629-1695). Dat was in 1686 – dus nog vóór Willem Jacob was geboren was. Huygens had toen interesse getoond in een aantal stukken geslepen glas die de heren bij zich hadden, eventueel bruikbaar als lens voor een telescoop. Maar Huygens bleek niet echt onder de indruk van de kwaliteit ervan, getuige de brief die hij daarover gestuurd heeft naar zijn broer Constantijn (zie ‘*Oeuvres complètes*’ deel IX- no.2441). Het glas zal hoogstwaarschijnlijk afkomstig zijn geweest van de (desondanks...) vermaarde Bossche glasblazerij De Bree, die schuin tegenover het huis van de ’s Gravesandes aan de Orthenstraat was gevestigd, op de plaats waar later de fabriek van De Gruyter zou verrijzen.

Al gauw na de inname van de stad in 1629 werd door het nieuwe stadsbestuur een nieuwe Latijnse School opgericht, maar nu uiteraard voorzien van reformatorische signatuur. Die werd gevestigd in het voormalige [Arme Fraters-huis](#) in de Schilderstraat. Dat gebouw diende destijds ook als 'Bank van Leening'. Het wordt tegenwoordig gebruikt door De Muzerije.

Vervolgens werd in 1636 de Illustre School opgericht. Die kun je met een beetje fantasie zien als de officiële, verre voorloper van het huidige Stedelijk Gymnasium.

De Illustre School was een vooropleiding voor de universiteit en had in principe vijf faculteiten: godgeleerdheid, wijsbegeerte, rechtsgeleerdheid, geneeskunde en letteren. Maar door het geringe aantal studenten – nog maar rond de honderd in 's Gravesandes tijd – konden niet altijd alle faculteiten worden bemand met professoren.

Vanwege haar zo principieel reformatorisch karakter heeft de Illustre School nooit echt vat weten te krijgen op de katholieke bevolking van Den Bosch en De Meierij. Het was en bleef een ongewenst product van de bezetters.

Willem Jacob studeert eerst aan de Latijnse School in de Schilderstraat, en daarna aan de Illustre School. Op die laatste werd afwisselend over twee locaties onderwijs gegeven. De ene locatie was de [Waalse kerk](#), die toen in de vroegere [Sint Anna-kapel](#) was gevestigd. Die lag aan de huidige Sint Annaplaats, nu nog steeds bereikbaar via de Mariapoort vanuit de Hinthamerpromenade, recht tegenover de Korte Waterstraat.)
Zie Afbeelding 7.



Afbeelding 7: De Mariapoort, toegang tot de Sint Annaplaats

De tweede locatie was de **Mariakapel** van de Sint-Jan. Die heet tegenwoordig Sacramentskapel. Zie *Afbeelding 8*. Dat lijkt nu nogal bizar, maar na 1629 was het uiteraard afgelopen met de katholieke eredienst in de Sint Jan, en dus werd de originele functie van de kapel door de nieuwe machthebbers verruild voor gebruik als klaslokaal van de Illustre school (en als opslagplaats voor een brandspuit!).



Afbeelding 8: De Sacramentskapel van de Sint-Jan (zie **rode** cirkeltje op de inzet).

De jonge Willem Jacob was een slimmerik, afgaande op wat een van zijn leermeesters, **Isaac Tourton**, moest doormaken:

”Onder de leermeesters was zekere Tourton, wiens hoofdliefhebberij de Wiskunde welhaast tot zynen kweekeling Willem Jacob overging, en zo zeer de overhand nam, dat hy als leermeester zich verplicht vond om nacht en dag te werken, ten einde de spoedige vorderingen zyns Leerlings hem niet voorby streefden.”

(uit: ‘Vaderlandsche Letteroefeningen’ – jaargang 1785, A. van der Kroe en J. Yntema, Zie Afbeelding 9.)



Afbeelding 9

Voor Willem Jacob zelf zal het misschien ook niet altijd even gemakkelijk zijn geweest, als slimste, nog te vormen Hervormde tiener in een katholieke omgeving. Ervan uitgaande dat hij niet dagelijks door de chauffeur van zijn vaderde-burgemeester naar school is gebracht en gehaald – het stukje tussen de Orthenstraat en de Sint-Jan of Sint Annaplaats moet voor hem te lopen zijn geweest – zal hij heus wel eens een of andere paapse pestkop op zijn pad zijn tegengekomen.

Dat zou hem trouwens zomaar geholpen kunnen hebben bij de ontwikkeling van zijn sociale en diplomatieke vaardigheden die hij later zo goed kon gebruiken bij zijn wetenschappelijk werk. Maar dit laatste is natuurlijk pure speculatie.

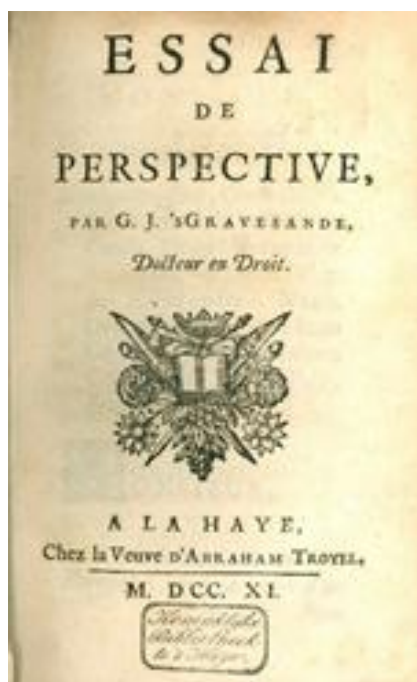
Naar Leiden

Al in 1704 wordt Willem Jacob door zijn vader naar Leiden gestuurd om ‘Regtsgeleerdheid’ te gaan studeren. Niet dat Rechten zijn passie was – zijn hart lag bij de wiskunde en natuurwetenschap – maar op zich was het nog niet zo’n vreemd idee: het werd destijds algemeen gezien als een goede opstap naar een succesvolle maatschappelijke carrière. Wat **wel** bijzonder was: hij was toen nog net geen zestien!

Maar allez, vergezeld van zijn twee broers **Ewout Hendrik** (19j) en **Cornelius Christiaan** (14j!) reist hij af naar Leiden. Zijn oudere broer **Laurens** was al overleden in 1702 — waaraan is niet bekend. Alom wordt beweerd dat het drietal zich gezamenlijk aan de universiteit heeft laten inschrijven. Maar nergens staat geschreven hoe ze dan de minimumleeftijd voor inschrijving hebben weten te omzeilen. Het gebeurde toen wel vaker dat daar een (financiële?) mouw aan werd gepast...

24

Blijkbaar vond Willem Jacob tijdens de colleges nog genoeg tijd om met zijn ware passie bezig te zijn:



Afbeelding 10: Eerste officiële publicatie van 's Gravesande, over het perspectief in 1711.

“In den Jaare MDCCIV begaf zig onze 's gravesande met twee zyner Broederen na de Hoogeschool te Leyden. Schoon hy daar zich op de Regtsgeleerdheid, als zyne Hoofdstudie, bevylytigde, liet hy egter zyne geliefde Wiskunde niet vaaren, en stelde daarop eene Proeve, over de Doorzigtkunde, deels vervaardigd op een Collegie, 't welk hy, om aan den wil van zynen Vader te voldoen, bywoonde; doch hem niet smaakte: schoon het blyken droeg van de jeugdigheid des Schryvers, kon het de goedkeuring van den bezwaarlyk voldoenbaaren Jean Bernoulli⁸⁾ wegdraagen”.

(v.d.Kroe/Yntema 1785)

⁸⁾ Jean/Johann Bernoulli was een Zwitserse wiskundige die vanaf 1695 hoogleraar in Groningen is geweest.

Ondanks deze nevenactiviteiten slaagt Willem Jacob er al binnen drie jaar in, namelijk op 25 oktober 1707, om zich tot ‘doctor in de Rechten’ te laten bevorderen, zoals officieel geregistreerd staat bij de universiteit. Zijn proefschrift was getiteld: *‘De autocheiria’* en betrof het onderwerp zelfmoord. Overigens beschouwde hij zo’n daad, geheel in de lijn van zijn protestantse geloof, als verwerpelijk.

Over zijn twee broers wordt meermaals geschreven dat die tegelijk met hem gepromoveerd zijn, maar daarvan is gek genoeg niets terug te vinden in het ‘Eedboek der Advocaten’ bij het Hof van Holland...

Advocaat in Den Haag

Hoe dan ook, op 19 juni 1708 legt Willem Jacob zijn eed als Advocaat bij het Hof af, waarna ze gedrieën (...) een advocatenkantoor in Den Haag opzetten. Dat is overal te lezen zonder dat er ook maar ergens een bewijs van is te vinden. Verrassenderwijs duikt Ewout Hendrik al in 1710 op in de Schepenbank van... Den Bosch, waar hij tot twee jaar voor zijn overlijden in 1750 zal blijven werken en wonen.

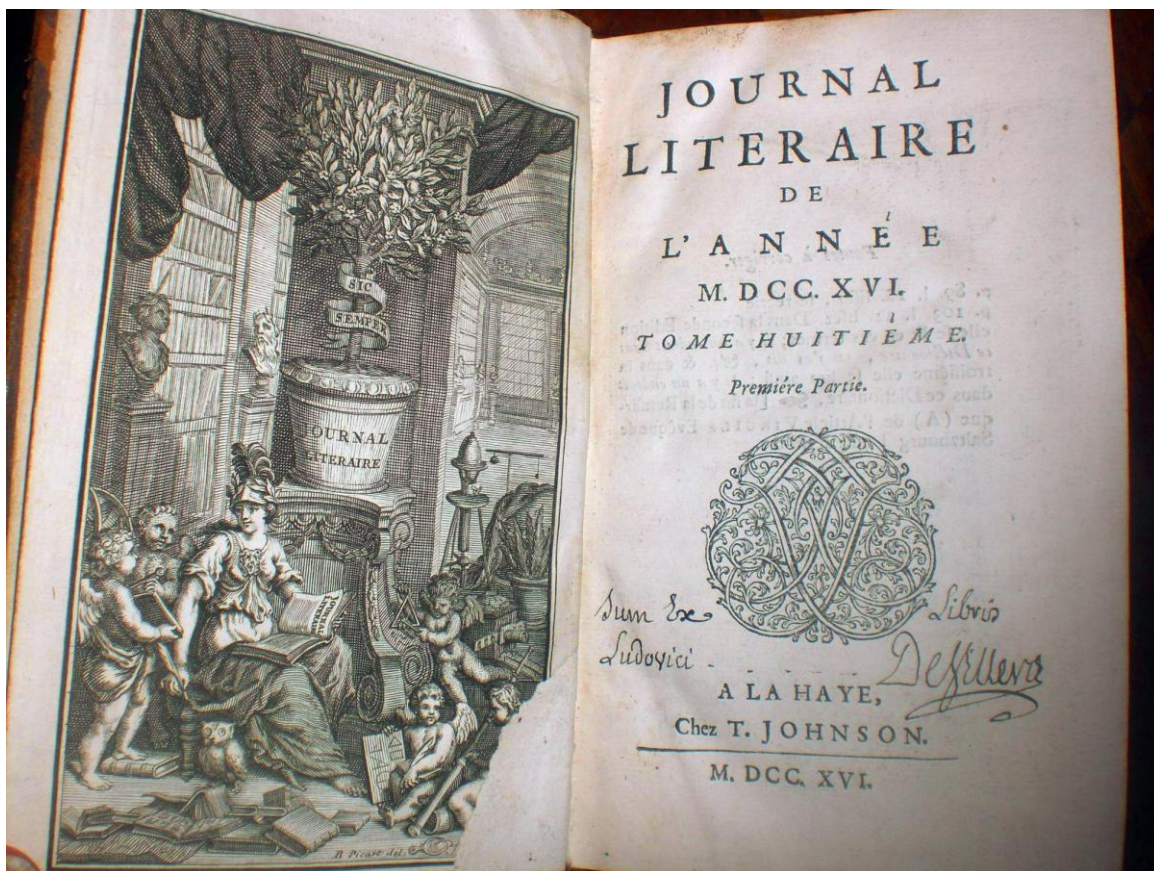
Niet veel later, in 1711, publiceert Willem Jacob het al eerder genoemde *‘Essai de Perspective’* (zie *Afbeelding 10*). Dat stuk maakt niet alleen behoorlijk veel indruk op Bernoulli⁹⁾, maar ook op de gerenommeerde wiskundige (en president-schepen van Purmerend) **Bernard Nieuwentijt (1654 – 1718)**⁹⁾.

Van een heel andere orde was de aandacht die het ‘Essai’ trok van de flamboyante en zeer invloedrijke politicus **Arent IX van Wassenaer**, een goede vriend van **koning Willem III**. Arent zag de daarin beschreven zonnewijzer al in zijn achtertuin staan...

⁹⁾ 's Gravesande heeft later nog een bepaalde berekeningswijze ontwikkeld op basis van de z.g. *binominale verdeling*, waarvan Nieuwentijt dankbaar gebruik heeft gemaakt. Die zou zelf later naam maken met zijn *‘Het regt gebruik der werelt beschouwingen, ter overtuiging van ongodisten en ongelovigen aangetoont’* (1715), een anti-Spinozapamflet waarin hij de doelmatigheid van de natuur opvoert als bewijs voor het bestaan van God.

Het 'Journal littéraire'

In Den Haag komt Willem Jacob, waarschijnlijk via zijn werk als advocaat, in contact met het literaire wereldje. Daarin waren vooral **de hugenoten**¹⁰⁾ actief. Samen met vijf anderen, de twee Fransen **A.H.de Sallengre** en **Th.de St.Hyacinthe**, **P.Marchand**, **H.Alexandre** en **Justus van Effen**¹¹⁾ richt hij in 1713 het Franstalige tijdschrift 'Journal littéraire de la Haye' op, met als uitgever de Schot **Thomas Johnson**. Zie *Afbeelding 11*.



Afbeelding 11: Het 'Journal littéraire' uit 1716 (hfdst.8 van Deel 1), titelpagina en gravure van de godin Athene, met engeltjes en boeken. [Bernard Picart (1673 – 1733)]

- ¹⁰⁾ De hugenoten waren protestantse vluchtelingen uit Frankrijk die in de 16e en 17e eeuw naar Nederland kwamen, op de vlucht voor religieuze vervolging in Frankrijk. Rond 1700 bestond de bevolking van Amsterdam voor ongeveer 6% uit hugenoten, zo'n 12.000. Tussen 1680 en 1730 waren daar 80 van de 230(!) uitgeverijen in handen van hugenoten.
- ¹¹⁾ Die werd in 1709 door de machtige edelman Arent IX van Wassenaer (1669 – 1721) aangenomen als gouvernant voor diens oudste zoon Jacob. Hij zou ruim twintig jaar later bekend worden als oprichter van het destijds populaire 'Hollandsche Spectator', dat hij zelf vol schreef met soms politieke, maar vaak ook satirisch-moraliserende verhaaltjes. In 1732 kreeg Van Effen in Den Bosch de functie 'Commies van 's Lands Magazijnen van Oorlog'. Hij schijnt aan de Vughterstraat gewoond te hebben, waar hij ook is gestorven.

Dit kleurrijke clubje bestond uit mensen met behoorlijk uiteenlopende opvattingen, dus zal de jonge 's Gravesande tijdens de redactievergaderingen zijn diplomatieke vaardigheden aardig hebben kunnen aanslijpen. Elk artikel werd uitgebreid bediscussieerd voordat het in het blad werd gepubliceerd. In het 'Journal' verschijnen literaire, en ook wetenschappelijke artikelen en boekbesprekingen. Met name die laatste kwamen van de hand van 's Gravesande. Overigens kwam er onder geen van de artikelen – zelfs niet de recensies – de naam van een redactielid te staan. Een echt collectief dus.

In 1714 schrijft 's Gravesande een artikel over 'zijn' luchtpomp. Die had hij met zijn vriend en instrumentenmaker [Jan van Musschenbroek](#)¹²⁾ (1687 – 1748) ontworpen – zie *Afbeelding 12*.

In diezelfde kringen van Haagse hugenoten leert Willem Jacob ook de arts [Jacob Sacrelaire](#) kennen. Met diens dochter [Anna](#) zou hij later, op 15 oktober 1720, in Den Haag trouwen.



Afbeelding 12: Luchtpomp van 's Gravesande en Jan van Musschenbroek [collectie Boerhaave Museum]

Een diplomatieke reis naar Engeland

Maar voor het zover is komt er nog een verrassende carrière-switch. In 1715 wordt de al eerder genoemde Arent IX van Wassenaer (die van die zonnewijzer in zijn achtertuin) benoemd tot leider van een diplomatieke missie naar Engeland. Hij zoekt een extra tutor voor zijn zoon, met name voor wiskundige steun.

¹²⁾ Jan was de broer van [Pieter/Petrus van Musschenbroek](#) (1692-1761), de mede-uitvinder van 'de Leidse fles'. Pieter zou in 1740 's Gravesande opvolgen als hoogleraar wiskunde en filosofie. 's Gravesande kwam met de eerste *wiskundige* theorie m.b.t. de luchtpomp.

De vaste ‘gouverneur’ van die zoon was: Justus van Effen (van het ‘Journal’, ja — *small world*). Via hem wordt ’s Gravesande meegevraagd, officieel in de functie van eerste secretaris.

Ze vertrekken op 23 februari 1715 vanaf Brielle (= Den Briel) en komen op 26 februari in Londen aan.

Eenmaal in Engeland wordt er net zo makkelijk nog een derde tutor ingehuurd, en wel niemand minder dan **J.Th.Desaguliers**. Dat was een ‘fellow’ van de **Royal Society** (zie *Afbeelding 13*), die een goede vriend van ’s Gravesande zou worden. Later zou die zijn ‘*Elementa*’ (zie *Afbeelding 20*) naar het Engels vertalen.



Afbeelding 13: Gravure van de ‘fellows’ van de Royal Society in Crane Court in London.

Voorzitter Newton zit links aan tafel met vóór zich de behoorlijk uit de kluiten gewassen voorzittershamer.

[historische reconstructie uit 1878 van John Arthur Quartley (1839 – 1886)]

Het buitengewone gezantschap, bestaande uit totaal 34(!) personen, wordt op pad gestuurd om de Staten Generaal te vertegenwoordigen bij de kroning van **koning George I**. En ook om te onderhandelen over de inzet van een rij Zuid-Vlaamse steden als barrière tegen de dreiging van de Fransen.

Sir Isaac Newton

Dit is voor 's Gravesande een uitgelezen kans om persoonlijk in contact te komen met zijn grote inspirator [Isaac Newton](#).

Door zijn oude studievriend uit Leiden, [William Burnet](#) (zoon van de bisschop van Salisbury, maar geboren in Den Haag), wordt hij geïntroduceerd bij de '[Royal Society of London for the Improving of Natural Knowledge](#)'. Dat was de invloedrijke (natuur)filosofenclub met Newton als voorzitter — sinds 1703. (Het geleerdengEZelschap bestaat nu nog steeds.)

Achteraf gezien is die ontmoeting allesbepalend geweest voor de carrière-switch die Willem Jacob daarna zou gaan maken.

Blijkbaar klikte het onmiddellijk tussen beide heren. Dat is althans wat [C.A. van Sypesteijn](#) in 1869 schreef:

"Die merkwaardige geleerde vatte terstond zeer groote vriendschap op voor den jongen vreemdeling¹³⁾, die spoedig dweepte met Newtons geheel nieuwe, geniale denkbeelden"

29

Toch lag deze vriendschap niet bepaald voor de hand:

Newton was een wereldvreemde kluizenaar, de personificatie van het clichébeeld van de verstrooide professor in zijn ivoren toren. Zijn hooghartigheid maakte hem onsympathiek in de sociale omgang – die hij dan ook zoveel mogelijk vermeed.

's Gravesande daarentegen was een sociaalvoelend mens, een gemakkelijk benaderbare 'polderaar' die zich altijd open opstelde voor andermans kritiek, en een bedreven didacticus. Ondanks deze karakterverschillen was hun vriendschap hecht.

¹³⁾ Misschien wordt hier de indruk gewekt dat dit het eerste contact was tussen die twee, maar al in 1713 had 's Gravesande schriftelijk zijn diensten aan Newton aangeboden om als een soort ambassadeur voor Nederland op te treden. Ook was 's Gravesande niet de eerste Nederlander die op bezoek kwam bij Newton. Al in 1674 was de Leidse professor [Burchard de Volder](#) (1643-1709), een goede vriend van Christiaan Huygens hem vóór geweest. Dat bezoek had De Volder geïnspireerd om zijn eigen colleges in Leiden te verfraaien met allerlei natuurkundige experimenten. Daarvoor had hij van de Leidse universiteit een apart '*theatrum physicum*' mogen laten bouwen.

“Dwepen” was overigens niet het juiste woord voor de houding van 's Gravesande. Lang niet alle denkbeelden van Newton werden door hem klakkeloos overgenomen.

's Gravesande zou zelfs nòg iets strenger in de leer worden dan Newton zelf: hij stond zichzelf echt geen enkele hypothese toe, terwijl Newton nog wel eens de hand lichtte met zijn eigen adagium: “*Hypotheses non fingo*”. Hij bedoelde daarmee dat er in de natuurkunde geen plaats mocht zijn voor *verzinsels*, maar dat *het experiment* het enige leidende behoorde te zijn. Dit in tegenstelling tot wat *Descartes* in zijn werk¹⁷⁾ bepleitte. Zoals nog zal blijken ging Newton meermaals de mist in met die richtlijn: bij zijn theorie van ‘de vrije val’, zijn hypothetische lichtdeeltjes en bij de ‘*val-in-klei-proef*’ – zie DEEL II.



Afbeelding 14: ‘Brittania tussen Newton en 's Gravesande’
[schilderij van G.M.de Boni, 1787, collectie van Galleria Doria Pamphilj]

Vele jaren later (pas in 1787), is het historische bezoek van 's Gravesande aan Newton vereeuwigd door G.M.de Boni, een vrij obscure Italiaanse schilder. Zie Afbeelding 14. Newton [rechts] was toen, in 1715 dus, 73 jaar oud. 's Gravesande was een jongeman van 27 jaar. (Brittania lijkt behoorlijk gecharmeerd van onze Willem Jacob.)

Het belangrijkste werk van Newton is: *'Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica'* (*'De wiskundige beginselen van de natuurfilosofie'*), kortweg *'de Principia'*, uit 1687.

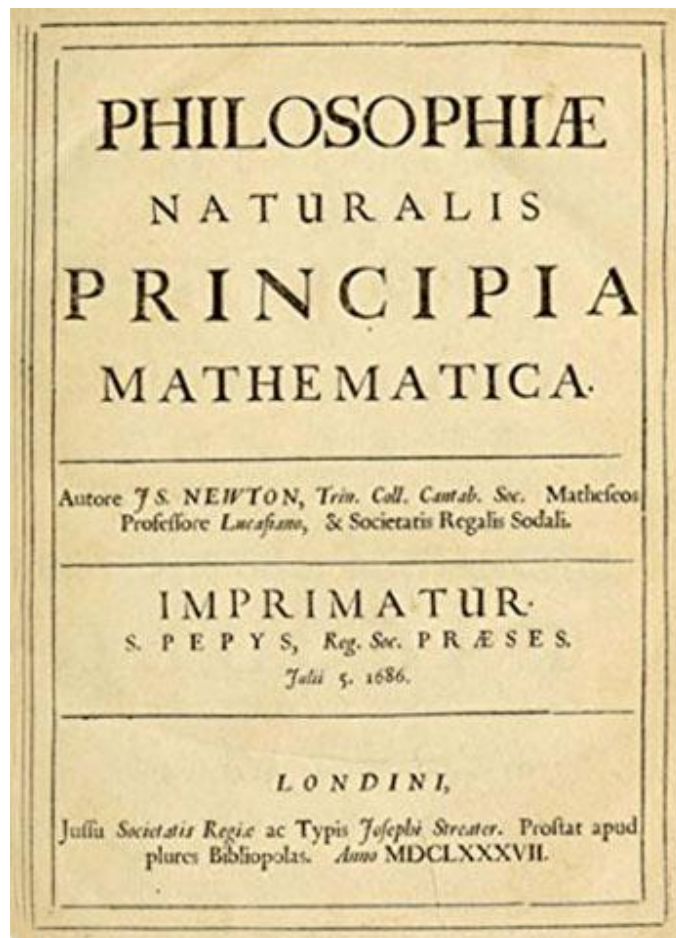
Zie Afbeelding 15.

Met zijn *Principia* legde Newton de basis voor de moderne mechanica.¹⁴⁾

Het werk is een van de invloedrijkste publicaties ooit verschenen in de exacte wetenschappen.

Maar het was zeker niet zo dat Newtons meesterwerk meteen als een bom in sloeg¹⁵⁾. Dat kwam vooral door zijn fundamenteel wiskundige aanpak die de inhoud erg moeilijk te doorgronden maakte.

Weinig mensen konden die volgen¹⁶⁾. Degenen die dat wel konden werden in de Nederlandse Republiek al gauw als verdacht bestempeld, want aan *'wiskundig'* kleefde het etiket *'goddeloos'*.



Afbeelding 15: Newtons beroemdste werk

¹⁴⁾ namelijk: de *'drie wetten van Newton'* en de wetten voor *behoud van impuls* en *behoud van impulsmoment*. Newton leidde zijn *algemene wet van de zwaartekracht* af uit onder meer de empirische *wetten van Kepler* en Huygens' *wet van de centripetaalkracht*. Zie DEEL II. Overigens betitelde Huygens zelf die krachten als "occulte kwaliteiten".

¹⁵⁾ De Leidse uitgever Pieter van der Aa had in 1687 twaalf exemplaren ter verkoop uit Londen toegestuurd gekregen. Maar na twee jaar moest hij er zeven onverkocht terugsturen — misschien wel omdat bepaalde academici hier in den lande Newtons concept van *wederzijdse aantrekking-op-afstand van voorwerpen* belachelijk hadden gemaakt.

¹⁶⁾ Burchard de Volder¹³⁾ was een van de weinigen die in staat was de wiskunde van de *Principia* te begrijpen; zelfs Christiaan Huygens heeft hem over een aantal passages moeten raadplegen. Vele jaren later zou 's Gravesande de Volder in Leiden opvolgen.

Dat was overigens niet zo vreemd als het nu misschien lijkt. Het is te herleiden tot het Hollandse vrijdenkersklimaat waarin René Descartes¹⁷⁾ (1596 – 1650) en Baruch Spinoza (1632-1677) prima hadden kunnen gedijen. Hun rationalistische ideeën waren goed geweest om het middeleeuwse denken van Aristoteles te verdrijven. Maar tegelijk hadden ze daarmee de rol van God ter discussie gesteld: Descartes zag God als de Grote Horlogemaker die Zijn (perfecte) Schepping had voltooid. Daarna was er dus eigenlijk geen verdere bemoeienis meer nodig. En Spinoza identificeerde God met De Natuur in zijn geheel. Beide opvattingen schuurden met de toen hier heersende calvinistische ideeën. Pas langzamerhand drong door dat Newton geloofde dat *elke* beweging, zowel op aarde als in het heelal, werd gestuurd door de hand van God. Zijn wiskunde diende slechts om de natuurverschijnselen te kunnen beschrijven en daarmee de wetten van God te leren kennen. Pas toen werd zijn empirisme door de protestantse Republiek geaccepteerd. Die bleek ineens zelfs heel geschikt als tegengif tegen het rationalisme van de cartesianen en de spinozisten. 's Gravesande heeft daar het zetje voor gegeven.

De hand van God?

Om iets te kunnen begrijpen van zijn rol als 'natuurfilosoof' is nu even een korte uitleg nodig van de wetenschappelijk theorievorming in zijn tijd.

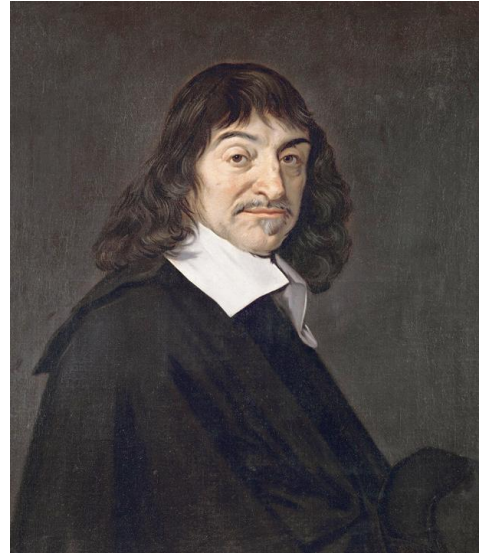
De term 'natuurfilosofie' omvat de **fysica** en de **metafysica**, twee disciplines die in 's Gravesandes tijd nog innig verweven waren. De fysica staat voor de pure natuurkunde. De metafysica gaat in feite over filosofie en/of theologie.

¹⁷⁾ Van 1628 tot 1649 heeft Descartes in de Nederlandse Republiek gewoond. Hier schreef hij zijn belangrijkste werken: o.a. *'Verhandeling over de methode'* (1637). Die werden in 1663 door de Rooms-Katholieke Kerk op de lijst van verboden boeken geplaatst.

Een handig voorbeeld hiervan is het vallen van een voorwerp: de wet van de zwaartekracht toont *hoe* die werkt (fysisch), maar niet *waardoor* die wordt veroorzaakt (metafysisch).

Newton liet die metafysische kant geheel buiten zijn Principia.

Eerder had de Franse natuurfilosoof Descartes het menselijk vernuft op een voetstuk geplaatst onder het motto “*Cogito ergo sum*” (*Ik denk, dus ik besta*). Hij zette het denkende ‘ik’ in als gereedschap bij zijn onderzoek naar de natuur. Zijn strategie was: laat de geest maar van alles en nog wat verzinnen en kies dan de hypothese die het best bij de ervaring past.



Afbeelding 16: René Descartes
(Frans Hals) [Het Louvre Parijs]



Afbeelding 17: Isaac Newton (Gottfried Kneller) [National Portrait Gallery, London]

Maar Newton propageerde juist het tegenovergestelde: “*Hypotheses non fingo*” (*Ik verzin geen hypotheses*). In navolging van Galileo Galilei (1564 – 1642) stelde hij het wetenschappelijk experiment voorop in zijn zoektocht naar de verklaring van de natuurverschijnselen.

In eerste instantie hield hij zich vooral bezig met metingen van *astronomische* bewegingen.

Pas veel later extrapoleerde hij zijn bevindingen naar *aardse* bewegingen. Daaraan lag een zeer bijzondere, persoonlijke ervaring van hem ten grondslag. Die vond plaats in zijn tuin op een zonnige nazomerdag.

Legendarisch is het verhaal van de vallende appel in die tuin. Ineens zag Newton vóór zich hoe de dagelijkse beweging van de Zon om de Aarde – of eigenlijk andersom, zoals hij evenals Kepler en Galilei allang wist – en het vallen van de appel aan dezelfde wetmatigheid voldeden. Dat was de eerste stap op weg naar zijn **algemene zwaartekrachtwet**.

Een eenvoudig schetsje hielp hem bij dat inzicht. Dit is iets moderner weergegeven in *Afbeelding 18*.

Alle kogels die het kanon met toenemende vuurkracht afschiet vallen op de grond, ook de laatste.

Alleen is daarbij de grond als het



Afbeelding 18: Het kanon van Newton
[h.hofstede]

ware verdwenen, zodat de kogel als een satelliet om de Aarde blijft vliegen. Onder dezelfde zwaartekrachtwet blijven de Maan om de Aarde en de Aarde om de Zon draaien/vallen.

Met dit inzicht was ineens de principiële Griekse tegenstelling tussen aardse en hemelmechanica definitief overwonnen!

Op een afdoende *metafysische* verklaring voor de zwaartekracht was (is...) het nog even wachten.

's Gravesande ging nog één klein, maar cruciaal stapje verder dan Newton: hij liet bij *alle* aardse natuurverschijnselen de experimenten de basis vormen voor de theorievorming.

Daarbij hield hij zich in de praktijk, zoals al eerder gezegd, nog strenger aan Newtons richtlijn dan de meester zelf.

Maar beide heren hadden wel een rotsvast geloof in de voortdurende bemoeienis van God met de wereld. Ze waren er heilig van overtuigd dat God zich bezighield met alles wat beweegt (hoezo “Hypotheses non fingo”?), dus ook in het geval van een vallende appel. Newton postuleerde doodleuk

een *van buitenaf* opgelegde kracht (*Latijn: 'vis insita'*) die door actief ingrijpen van God tijdens het vallen steeds groter wordt.

In dit licht gezien is het eigenlijk een godswonder dat juist *hij* de legendarische wet van de zwaartekracht heeft ontdekt.

Volgens die wet – zie DEEL II, BIJLAGE III – wordt namelijk de onderlinge aantrekkingskracht tussen twee voorwerpen slechts bepaald door de twee massa's en hun onderlinge afstand. Hoe goddeloos klinkt dat?

Ironisch genoeg had Newtons gedreven zoektocht naar de orde in Gods Schepping hem juist naar die natuurwet geleid.

Voor het terughalen van een Goddelijk verklaringsprincipe oogstte Newton vooral hier in de Republiek veel bijval. Maar hij kreeg de wind van voren van de meeste collega's op het Europese vasteland: van de Franse denkers Descartes en Voltaire, maar vooral vanuit het Duitse Rijk, met name van **Gottfried Leibniz (1646 – 1716)**.

In navolging van Descartes zag Leibniz God als de Grote Horlogemaker die geen actieve rol meer hoefde te vervullen nu Zijn Schepping eenmaal klaar was. Op vileine toon liet Leibniz Newton weten dat God blijkbaar een *onvolmaakte* schepping heeft afgeleverd als die continu moet worden bijgestuurd.

Onze eigen Christiaan Huygens maakte zich überhaupt niet druk

over Newtons *vis insita*. Later, in 1702, zou hij zich evenmin storen aan Newtons hypothese (weer!) van licht*deeltjes* in zijn 'Opticks', hoewel hij zelf het *golf* karakter van licht omarmde.

(Maar Huygens' golftheorie was nog gebaseerd op het – toen al min of meer achterhaalde – cartesische *ether* begrip.)



Afbeelding 19: Gottfried Leibniz
[C.B.Francke – H.A.U.-Museum]

Een bijzonder soort 'newtonianisme'

Al in 1713, dus nog ruim vóór zijn bezoek aan Newton in 1715, had 's Gravesande in zijn pas opgerichte *Journal Littéraire* een aankondiging laten opnemen van een nieuwe versie van Newtons *Principia*. Dat was in feite een (illegale!) kopie van de officiële Britse heruitgave. Intussen was er een pro-Newton-klimaat ontstaan door toedoen van Bernard Nieuwentijt⁹⁾, Herman Boerhaave (1668 – 1738) en 's Gravesande zelf. Dit rechtvaardigde *nu wel*¹⁵⁾ een oplage van zo'n 750 exemplaren. De nieuwe *fysico-theologische* aanpak van Newton begon aardig in te dalen in de Hollandse bodem.

Dus toen 's Gravesande in 1715 bij Newton op de stoep stond bestonden er al warme banden tussen die twee. Evenals met de rechterhand van Newton. Dat was de al eerder als “derde tutor” betitelde J.Th.Desaguliers, die bij de Royal Society de respectabele status van ‘*curator of experiments*’ had.

36

Een en ander was voor 's Gravesande reden genoeg om er nog een jaartje Engeland aan vast te plakken.

Helaas is nergens te vinden waar hij al die tijd verbleef en hoe hij dat jaar in zijn levensonderhoud heeft kunnen voorzien. Alleen dat hij samen met Desaguliers een tijdje heeft gewerkt aan de verbetering van de *stoompomp van Thomas Savery*.

Op 9 juni van dat jaar kreeg hij de eer officieel lid van de Royal Society te mogen worden. Mede daardoor heeft hij zijn netwerk flink weten uit te breiden. Dat kon 's Gravesande mooi opbouwen via zijn frequente contacten met allerlei Britse filosofen, waarvan hij een deel op de Royal Society ontmoette.

Op deze manier heeft hij haast ongemerkt een eigen soort ‘newtonianisme’ kunnen ontwikkelen. Vijf jaar later zou hij dat uitwerken in zijn boeken.

Op 8 Mei 1716 zet 's Gravesande weer voet aan wal in Rotterdam. Met zijn advocatenkantoor in Den Haag zal het er dan niet al te best hebben voor gestaan. Zoals gezegd was zijn oudere broer Ewout Hendrik al in 1710 teruggegaan naar Den Bosch, en zijn jongere broer Cornelis Christiaan was in het jaar vóór de Engeland-reis overleden, dus van het originele driemans(?)bedrijf kan niet veel meer over zijn geweest.

Een half jaar na terugkomst overlijdt eerst zijn 'filosofische inspirator' Leibniz, en vier dagen later zijn eigen vader. Dirck wordt in de Sint Jan in Den Bosch bijgezet in het familiegraf.

Hoogleraar in Leiden

In het jaar daarop, op 19 mei 1717, wordt zijn carrière-switch definitief bevestigd door zijn benoeming tot **professor in de wiskunde en de astronomie** in Leiden. Die kwam tot stand op



Afbeelding 20: 's Gravesande, professor in Leiden 1717 [Jacob Houbraken(eig.: Rijksmuseum)]

voorspraak van... baron van Wassenaar, en hoogstwaarschijnlijk ook van Newton! Niet veel geleerden zullen hem dat nagedaan hebben: hoogleraar worden in een vakgebied zonder enige voorafgaande officiële studie daarin. Op 22 juni 1717 spreekt hij zijn oratie uit, getiteld: *'Over de toepassing der wiskunde op alle natuurwetenschappen, met name op de natuurkunde, en tevens over de perfectie die de astronomie kan bereiken door toepassing van de natuurkunde'*.

Tijdens zijn oratie verklaart 's Gravesande zich expliciet Newtoniaan. Maar dat doet hij wel met een voor hem typische, voorzichtige woordkeuze — dit om de gevoeligheden van zijn (vooral gelovige!) 'tegenstanders' te ontzien:

”Deze mathematische physica zou echter voor de kennis der natuurwetten weinig baten wanneer zij niet de proef als basis had. Immers, deze wetten, die alleen van den wil des Scheppers afhangen, moeten, aangezien zij ons door geen goddelijke uitspraak worden geopenbaard, uit de verschijnselen zelf gevonden worden.”

Afgezien van die 'wil des Scheppers' klinkt dit nu bijna modern en vertrouwd. Maar toen was het iets totaal nieuws.

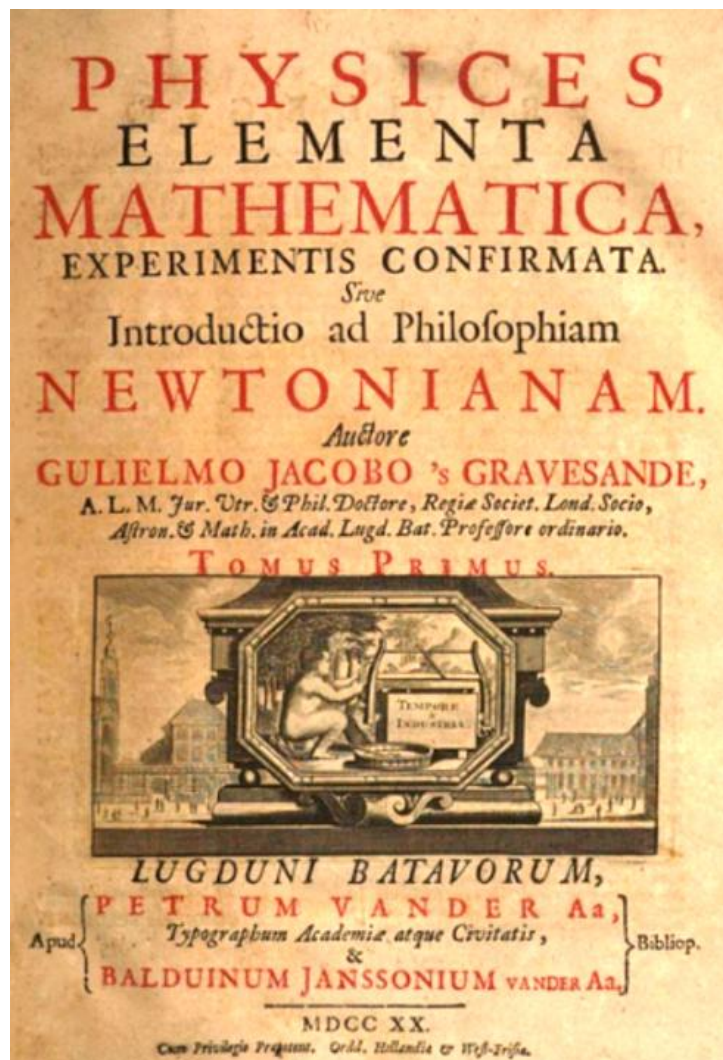
Het eerste 'experimentele' natuurkunde-leerboek

Tot een afgerond en goed doordacht systeem was deze nieuwe denkwijze nog niet uitgekristalliseerd, laat staan als zodanig onderwezen aan de universiteiten. 's Gravesande is degene geweest die dit uiteindelijk tot stand heeft gebracht. Hij heeft zich hiervoor zowel in het academisch onderwijs als in zijn eigen werk sterk gemaakt. Met demonstratieproeven wilde hij het hele gebied van de toenmalige natuurkunde bestrijken.

Probleem daarbij was de daarvoor benodigde apparatuur. Professionele instrumentmakers-werkplaatsen bestonden er überhaupt nog niet. De instrumenten, die 's Gravesande voor zijn demonstratieproeven bij zijn colleges nodig had, werden door hemzelf ontworpen. Dit gebeurde in samenwerking met Jan van Musschenbroek, die de productie ervan verzorgde. Zo is die de eerste professionele natuurkundige instrument-maker geworden. 's Gravesande zelf heeft alle instrumenten in zijn leerboek *'Physices Elementa Mathematica'* (zie *Afbeelding 21*) uitvoerig beschreven en op fraaie kopergravures zeer gedetailleerd afgebeeld, vaak tot op de kleinste schroefjes.

Zonder enige subsidie heeft hij de letterlijk honderden instrumenten die hij nodig had op eigen kosten laten maken. Tot dan toe waren proeven tijdens natuurkunde-colleges vooral voor het vermaak van de studenten. Dat leverde ook aardig wat *PR* op voor de universiteit. Maar 's Gravesande pakt de boel veel serieuzer aan: hij gebruikt de proeven voor de opbouw van de theorie. Hierdoor konden ook de minder wiskundig aangelegde studenten daar vat op krijgen. Zijn colleges worden steeds populairder, wat ook in het buitenland niet onopgemerkt blijft.¹⁸⁾ In 1720 publiceert hij zijn beroemde leerboek *'Wiskundige beginselen der natuurkunde, door experimenten bevestigd, of Inleiding in de Newtoniaanse natuurwetenschap'* (zie Afbeelding 21).

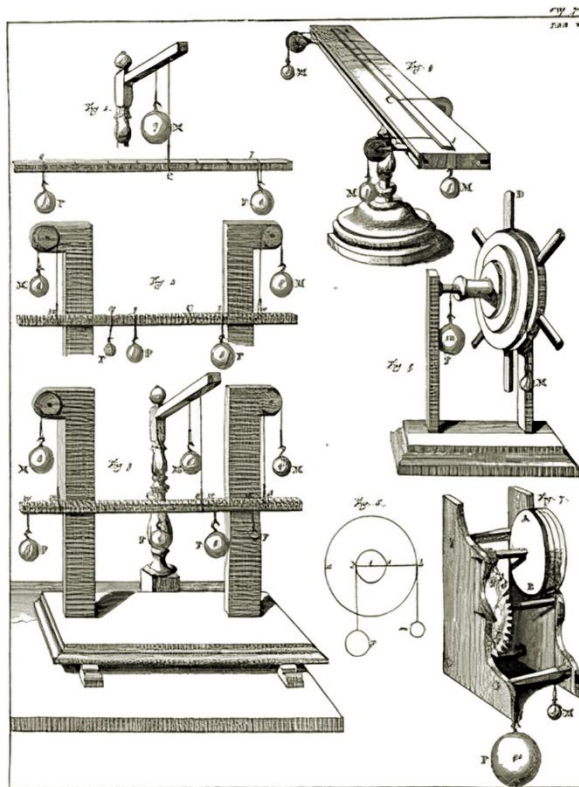
Daarin geeft hij zijn eigen interpretatie van het werk van Newton (en ook van Christiaan Huygens). In het Latijn, zoals gebruikelijk was. Tot op de dag van vandaag vormt dit tweedelige leerboek de basis van het natuurkunde-onderwijs.



Afbeelding 21: 1^e druk van 's Gravesandes leerboek *'Physices Elementa Mathematica'* (1720)

¹⁸⁾ In december 1736 heeft de Franse (natuur)filosoof [Voltaire](#), onder de schuilnaam 'Revol', een aantal colleges van 's Gravesande bijgewoond. In een brief aan Frederik II schreef hij daarover dat die door honderden buitenlanders bezocht werden.

Om even een indruk te geven van de inhoud van het boek:



MATHEMATICA. LIB. I. CAP. XI. 27

memor, quod ulteriori explicatione non indiget.

EXPERIMENTUM 5.

Quando una potentia duo pondera sustinere facit, potestas inter pondera pari utroque est, & hoc quod statum de duobus ponderibus dicta sunt, ad pondera applicari debent. Vide Fig. 1. Tab. 5.

Pondera pondera saepe una ut plurimum potentia sustinentur aut vehuntur. Ad illud notandum, quod nonnulla pondera, in quocunque sita possint, habeant eandem contrariam gravitatem, quod certum tale est, ut si ab utraque parte unumquodque ponderis multiplicetur per suam distantiam ab illo puncto, totum productum ab utraque parte erit eodem.

Potentia etiam utraque disposita eandem habeat gravitatem contrariam, possunt enim per pondera representari, & hic incertum unumquodque potentia per suam distantiam a centro multiplicari debet, & summa productorum tunc erit ab utraque parte aequalis: ut potentia ad pondera sustinenda valeat, requiritur potentia eadem & ponderum idem est gravitatem contrariam.

EXPERIMENTUM 6. & 7.

Ex dictis explicatione signaturum sitis patet, in quibus C de notum omnium gravitatis & ponderum & potentiarum.

EXPERIMENTUM 8.

Prædicta etiam locum habent, si vultis ab utraque parte à 110. potentia trahatur: quod videmus in vecte, qui ab utraque parte benevolentiter trahitur, ut in Fig. 4, in quo æquilibrium non datur nisi in casu mensurarum regularium.

Ad elevanda pondera etiam uti possumus vecte compositum. In eo casu loco potentia vultis alter applicatur priori, & hinc etiam alter, & sic ulterius si libuerit, immo tandem potentia applicatur, & tunc augus ratio ad pondus, quando pondera æquales, componitur ex rationibus potentiarum ad pondera ut singulis videretur, quando separationem addiderant.

EXPERIMENTUM 9.

Tres vectes A, B, D, inaequaliter, ut potentia M pondera P sustinentur. In vecte A, si solus addatur, potentia esset ad pondus, ut 1 ad 2, in vecte B, ut 1 ad 4, & in vecte D, D 2.

(54) PHYSICES ELEMENTA

CAPUT XII.

De Microscopiis & Telescopiis.

Vitrorum, sphaericis superficiebus terminatorum, usus, in corrigendis oculorum Senum & Myopum visibus, videmus. Quantum valeant, in minimis objectis detegendis, & in longe distantibus quasi sub oculis ponendis, dicendum est.

Vitra convexa objecta amplificare diximus; quæ amplificatio pendet à refractione radiorum, transendo per lentem convexam, unde sequitur illam augeri, si servatis eadem conditionibus, refractione augetur, quem effectum obtinemus, augendo convexitatem lentis, quæ eò convexior est, quo superficies, hunc terminantes, sunt portiones minoris sphaeræ; quod nisi in exiguis vitris locum habere non potest.

DEFINITIO 1.

Tales lentes exiguae Microscopia vocantur.

Microscopia exigua objecta in ipsis amplificantur ita, ut quæ nodis oculis detegi non possunt, hoc mediant, distinctissime videantur.

DEFINITIO 2.

Spacium per Microscopium visum, id est, circulus in quo objecta per Microscopium visibilia sunt, vocatur Microscopii campus.

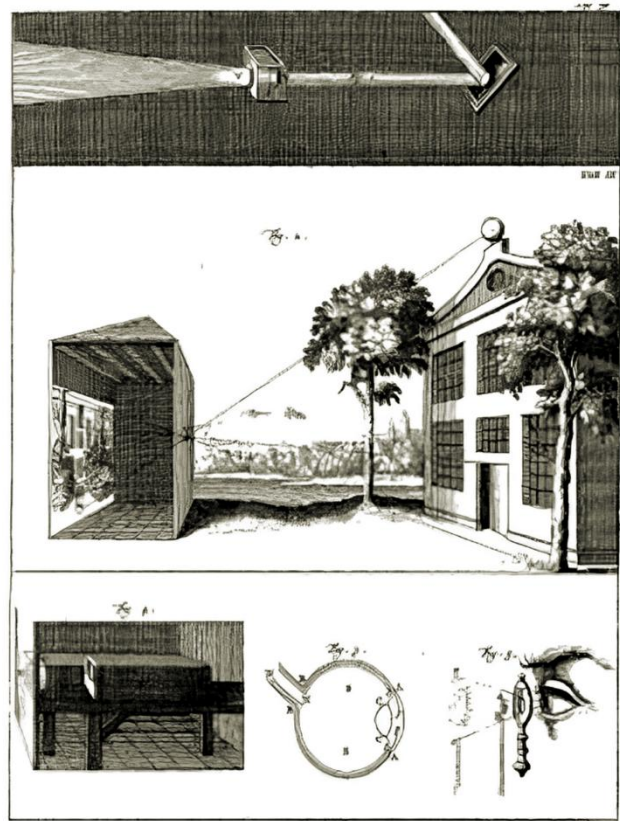
EXPERIMENTUM 1.

TAB. IX. Per Microscopium V in intueamur objectum exiguum A E, in a e amplificatum apparebit.

Dantur & Microscopia composita, ex duabus aut tribus lentibus constantia, quo fundamento nitantur, explicatione illius, quod ex duabus lentibus constat, satis patebit.

TAB. XI. Detur lens exigua, admodum convexa, V V, ad talem ab hac distantiam detur objectum A E, ut singula illius puncta post lentem focum suum habeant; admoveatur ita objectum, ut foci remotentur ad a e, dabitur ibi objecti representatio, admodum amplificata, quæ super plano albo

recipiatur sensibilis fiet.



Afbeelding 22: Het bovenste deel bestaat uit twee pagina's uit Deel I, over mechanica, onder de streep twee pagina's uit Deel II, over licht.

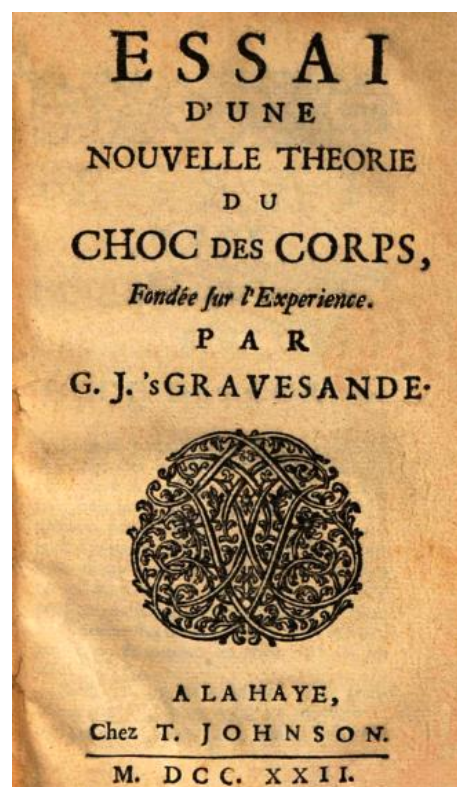
Met zijn nieuwe, op experimenten gebaseerde onderwijsmethode krijgt 's Gravesande ook in het buitenland veel succes en navolging.¹⁹⁾ Het boek verschijnt nog eerder dan de interpretaties van Newtons werk door de Britten zelf. Als newtoniaans leerboek geven de Britten ook later nog de voorkeur aan de toegankelijker vertaling van 's Gravesandes werk door Desaguliers. Die mocht vijf herdrukken beleven.

De proeven in het boek zijn geïllustreerd met technische, zeer gedetailleerde tekeningen van werktuigen uit de wereld van de technische arbeiders. Daarmee bouwt 's Gravesande voor hen een brug naar het theoretisch onderwijs dat tot voor kort alleen toegankelijk was geweest voor de bovenlaag van de bevolking. Op zo'n manier weet hij twee werelden te verbinden die in de 18^e eeuw mijlenver uit elkaar lagen.

In 1722 publiceert hij in de 12^e editie van het *Journal littéraire* een opzienbarend nieuwe kijk op het botsen en vallen van voorwerpen: het '*Essai d'une Nouvelle Théorie du Choc des Corps*'. Met een geraffineerde val-in-**klei-proef** beslist hij een al heel lang lopende internationale discussie over de aard van de val.

Het ironische resultaat daarvan is dat hij zijn eigen newtoniaanse standpunt moet herzien. En dat wordt hem niet door iedereen in dank afgenomen.

In DEEL II (specifiek BIJLAGEN V en VI) wordt hierop uitvoerig ingegaan.



Afbeelding 23: Inhoud hiervan in de 2^e druk van '*Elementa*' in 1725.

¹⁹⁾ Ook aan de Europese universiteiten groeit zijn degelijke en toegankelijke *Physices Elementa Mathematica* uit tot het standaardwerk in het natuurkunde-onderwijs. Er worden zelfs **buiten de academies** geleerde genootschappen opgericht, waar 'fysische kabinetten' worden aangelegd met de demonstratiemodellen uit het leerboek.

Een ster uitgedoofd, twee sterretjes geboren

Het internationale succes van 's Gravesandes leerboek leidt in 1724 tot een verrassende uitnodiging: als in dat jaar de Academie van Petersburg wordt opgericht, biedt tsaar Peter de Grote hem een professoraat aan, op arbeidsvoorwaarden die hij zelf mag bepalen. Toch slaat 's Gravesande dit eervolle en genereuze aanbod af. Misschien omdat zijn privéleven alle aandacht opeist: in 1720 was hij getrouwd met Anna Sacrelaire en juist in 1724 wordt op 15 augustus hun **eerste zoon, Dirk**, geboren. Drie maanden later overlijdt zijn zeventigjarige moeder Anna. Die wordt bij haar man Dirck bijgezet in het familiegraf in de Sint Jan.

Nog afgezien hiervan zal hij zijn handen vol hebben gehad aan het uitgeven van het werk van Huygens – onder de titel *‘Christiani Hugonii Opera Varia’* (v.d. Aa 1724) – en natuurlijk met het ontwerpen van zijn eigen demonstratiemodellen voor het Theatrum Physicum in Leiden, waarover hij sinds maart van dat jaar de leiding heeft gekregen van de Universiteit.²⁰⁾

Een jaar later, op 27 november, wordt zijn **tweede zoon, Jacob Willem**, geboren. Daarmee is het gezin compleet geworden.



In 1727 overlijdt op 84-jarige leeftijd zijn grootste inspirator:
Isaac Newton.

In Engeland wordt ter nagedachtenis aan hem een speciale munt geslagen.



(Maar wel eentje met een foutje erin: Newton is **niet in 1726**, maar **in 1727** gestorven... Zie *Afbeelding 24* hierboven, in twee delen.)

²⁰⁾ Daarnaast had 's Gravesande thuis, voor zijn privéonderwijs, een eigen 150-delige (!) collectie practicummateriaal. In kwaliteit en omvang deed die zeker niet onder voor die van het Theatrum Physicum. Later is die door de universiteit voor f4.000 aangekocht.

Een tweede leerstoel

In september 1734 wordt 's Gravesande ook nog eens benoemd tot hoogleraar in de filosofie. Bij zijn aanstelling spreekt hij een oratie uit met de titel: *'De vera et nunquam vituperata philosophia'* (*'Over de ware en nooit misprezen filosofie'*).

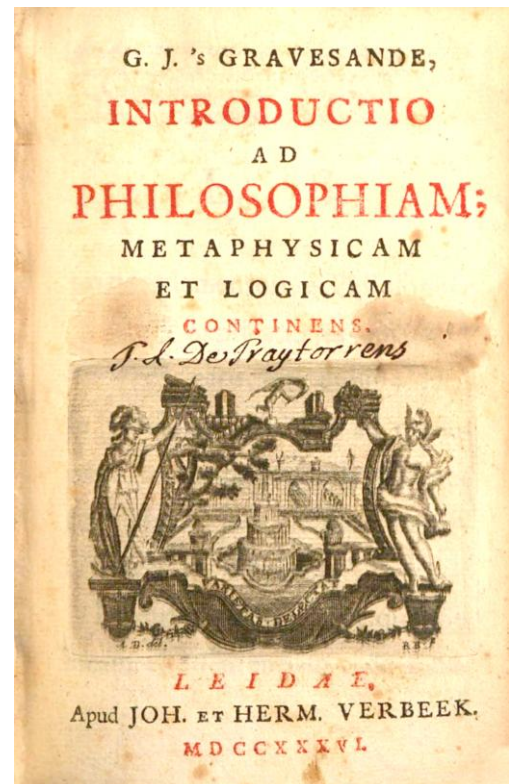
Vanaf dat moment doceert hij ook logica en metafysica.

Twee jaar later verwerkt hij zijn eigen collegestof tot een leerboek, dat hij publiceert onder de titel: *'Inleiding tot de filosofie: metafysica en logica'* (1736). Zie Afbeelding 25.

Het heeft dezelfde heldere stijl als zijn natuurkunde-leerboek, maar het mist de originaliteit ervan.

Toch wordt ook dit werk een gewild leerboek op veel universiteiten in Europa. Er verschijnen minstens 16 edities van, in vijf verschillende talen (Nederlands, Frans, Duits, Grieks en Italiaans) – wat de brede internationale waardering bewijst.

Maar hoewel in educatief opzicht een groot succes, qua filosofische inzichten biedt het weinig nieuws. Geen grensverleggende inzichten of revolutionaire concepten. Wel een soort overzicht van de stand van zaken in de filosofisch veelkleurige wereld van dat moment.



Afbeelding 25: 1^e druk van 's Gravesandes leerboek filosofie *'Introductio ad philosophiam'* (1736)

Om die reden zal ik in DEEL II geen aandacht meer besteden aan de specifieke filosofische bijdragen van 's Gravesande.

Ter compensatie nu toch even een korte beschouwing van het internationale filosofische wereldje in 's Gravesandes tijd.

Een diplomatieke filosofie

Zonder uitgebreid in te gaan op het Nederlandse eclecticisme in het aardig vrijzinnige intellectuele klimaat in de Republiek, moet zeker 's Gravesandes leidende en tegelijkertijd diplomatieke rol in de opbouw van de filosofische theorievorming worden uitgelicht.

In Engeland heb je het **materialistisch empirisme** van Thomas Hobbes, John Locke, David Hume en Francis Bacon (door wie met name Newton geïnspireerd was). In Frankrijk heerst het **rationalistisch deïsme** van Descartes en Voltaire. In het Duitse Rijk voert het **rationele optimisme** van Leibniz en Christian Wolff de boventoon. Die twee delen de overtuiging dat '**deze wereld de beste van alle mogelijke werelden**' is.

Te midden van dit filosofisch multiversum weet 's Gravesande duidelijkheid te scheppen in de overeenkomsten en verschillen van de genoemde diverse stromingen. Hij legt dat alles vast in zijn al eerder genoemd academisch leerboek.

Ontwikkelingen in Leiden en in Den Bosch

Op 22 september 1737 zorgt 's Gravesande ervoor dat zijn twee zonen, Dirk en Jacob Willem (respectievelijk 13 en 12 jaar oud...) worden ingeschreven bij de universiteit van Leiden voor de studie Letteren.

In datzelfde jaar doet ook in zijn geboorteplaats Den Bosch de newtoniaanse natuurkunde zijn intrede, via **Elie de Joncourt (1697 – 1765)**, predikant bij de Waalse gemeente. Hij wordt aangesteld als hoogleraar wijsbegeerte aan de Illustre School. Die was toevallig (...) ook redactielid van het *Journal Littéraire*, dat in 1729 **opnieuw** was opgericht door 's Gravesande samen met vier anderen – waaronder zijn zwager Isaac Sacrelaire.

Het Leidse leven ruw verstoord

Het zal langzamerhand duidelijk zijn geworden dat 's Gravesande een glansrijke carrière had opgebouwd. Maar die wordt plotseling ruw verstoord door het noodlot dat in mei 1739 ongenadig toeslaat. Zijn jongste zoon, Jacob Willem, wordt ineens door hoge koorts bevangen waaraan hij vier dagen later overlijdt. Maar dat is nog niet alles. Er ontrolt zich een waar familiedrama. Dat laat zich het best omschrijven met de woorden van J.N.S. Allamand (1713-1787), zijn boezemvriend, de tutor van zijn beide zonen en zijn latere biograaf ²¹⁾:

“De rouw en droefenisse van 'S GRAVESANDE en zyner Egtgenootte was groot; doch vereenigden zy zich in dankzegging aan de Voorzienigheid, dat deeze hun twee Zoons gegeven hadt, van welken er nog één overig was, wiens sterk en gezond gestel een lang leeven spelde; doch deeze troostgrond duurde niet lang. 's Morgens was JACOB, de jongste, gestorven; en de oudste, DIRK, die veertien jaaren bereikt hadt, werd dien zelfden dag 's naamiddags door soortgelyk eene Koortsziekte aangetast; wanneer de Vader den eenen Zoon ten grave begeleidde, ging hy ten huize uit, in de bykans zekere verwagting, dat hy den ander, t'huiskomende, dood zou vinden; 't leedt ook slegts weinige uren naa de begraafenisse of die tweede slag trof den Wysgeer.”

Zelfs in deze extreme situatie blijkt de religieuze overtuiging van 's Gravesande onwrikbaar, getuige het vervolg van Allamands beschrijving:

“...dan hoe zwaar ook, hy gedroeg zich manlyk, en ging rustig af op beginzels, die hem niet in den mond, maar in den grond zyns harte, lagen. Hy hieldt zich verzekerd, dat, van alle mogelyke

²¹⁾ Allamand was zelf leerling van 's Gravesande geweest. Hij werd op diens voorspraak hoogleraar in Franeker (1747) en later in Leiden (vanaf 1749). Hij volgde in 1761 Pieter van Musschenbroek – broer van Jan¹²⁾ – op). Hij vertaalde vele wetenschappelijke werken, waaronder 's Gravesandes *'Elementa'* (van het Latijn naar het Frans).

werelden, de geschaapene de beste was, en overtuigd, dat alles wat geschiedt bestuurd wordt door een Weezen van de hoogste Goedheid, ten meesten nutte der verstandige Schepzelen, welke hetzelfde behaagd heeft daar op te plaatzen, schoon wy dikwyls niet begrypen op welk eene wyze. Deeze waarheid, van welke hy geheel en al doordrongen was, deedt hem, te midden van dien dubbelen ramp, zeggen:

“God hadt my twee Zoons gegeven, die al myne Vaderliefde verdienden; 't heeft hem behaagd ze my te ontnemen, ik ben verzekerd het strekt ten hunnen en ten mynen beste: het zou, derhalven, in my ondankbaarheid weezen, my niet gelaaten aan zyne schikkingen te onderwerpen.”

Allamand voegt daar nog droogjes aan toe:

Zo veel kragts hadt deeze bedenking op hem, dat hy, drie dagen daarna, in staat was om zyne opschorte Lessen weder aan te vangen. Misschien oefende hy te veel gewelds op zichzelf, en zou beter gedaan hebben met zyn aandoenlyk gestel in droefenisse eenigzins bot te vieren.”

Voor 's Gravesande was dit misschien een (ambivalente) poging om zijn zinnen te verzetten, maar het was in ieder geval geheel in stijl met zijn *workaholic*-mentaliteit.

Later noteert Allamand nog zo'n diep gelovige opmerking van 's Gravesande, maar nu gepaard met enige vertwijfeling:

“Ik ben overtuigd dat God ons, langs den kortsten weg, ter Gelukzaligheid opleidt; doch die paden zyn zomtyds wat oneffen!”

Maar het verlies hakt er natuurlijk zwaar in. Het zuigt zijn energie zo sterk weg...

“...dat hy, geduurende drie maanden, zyne kamer, en zeldzaam zyn bedde, kon verlaten. Nogthans verloor hy niets van zyne leevendigheid en tegenwoordigheid van geest.”

Hoe zijn vrouw Anna de dubbele klap heeft opgevangen wordt (natuurlijk...) nergens beschreven.

Een aangekondigde dood

Deze enorme schok is 's Gravesande eigenlijk nooit meer te boven gekomen. Het zal de voornaamste reden zijn geweest waarom hij in 1740 de uitnodiging van Frederik II van Pruisen heeft afgeslagen om naar Berlijn te komen en daar lid te worden van de Academie van Wetenschappen, ondanks de warme aanbevelingen van Voltaire en Leibniz.

Even lijkt hij er toch nog weer bovenop te komen, maar twee jaar later is hij echt op. Allamand beschrijft de laatste dagen van zijn leven op de volgende manier:

“Men hadt nog geen denkbeeld van het gevaar, waarin hy verkeerde, zelfs scheenen zyne kragten eenigzins te bekomen, wanneer hy, op 't onverwagtst, werd aangegreepen door stuiptrekkingen, met ylhoofdigheden gepaard, die niet dan met zyn dood, vier dagen naa den eersten aanval, eindigden, op den acht- en twintigsten van Sprokkelmaand des Jaars MDCCXLII.

47

Dus op 28 februari 1742 is 's Gravesande gestorven, thuis in Leiden. Hij was toen nog geen 54 jaar oud.

In die ruim 50 jaar tijd zijn er elf directe familieleden van hem overleden — dertien zelfs als je zijn grootouders Blom-Bastings meerekent. Dat is, ook naar de maatstaven van toen, een aanzienlijk aantal.

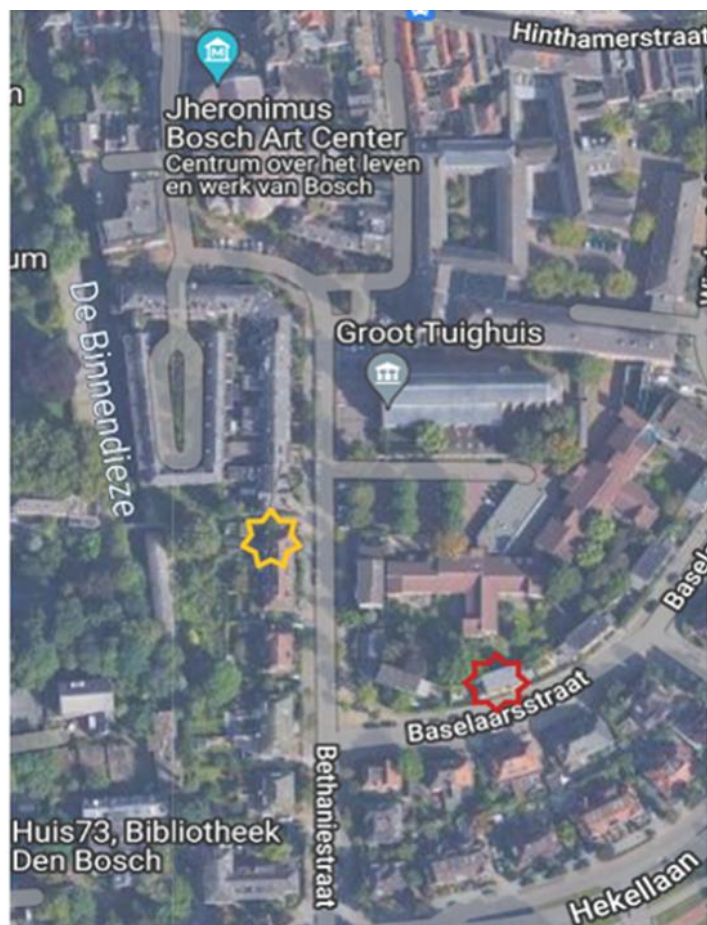
Hij wordt begraven in de Pieterskerk²²⁾ in Leiden, en dus niet bijgezet in het familiegraf in de Sint Jan in Den Bosch. Daarin liggen wel zijn beide ouders en alle vier zijn grootouders. Van zijn zeven broers en twee zussen kunnen er hooguit twee broers op zijn begrafenis zijn geweest: Ewout Hendrik en Jeremias.

²²⁾ Zijn stoffelijke resten zijn aanvankelijk bij die van Boerhaave en andere collega-professoren terechtgekomen in de Pieterskerk. Maar door een iets te rigoureuze restauratiepoging van de kerkvloer (1978-1982) en nog veel meer thrillerachtige verwickelingen daaromheen — zie Leidsch Dagblad dec.'20 — is niet meer te achterhalen of daar nog iets van over is, noch waar die zich dan eventueel zouden bevinden.

Het Bossche familievastgoed

Een half jaar na 's Gravesandes dood komt schoonvader Jacob Sacrelaire naar Den Bosch, als gemachtigde van weduwe Anna. Haar erfdeel van het **Bethanie-klooster** wordt via hem verkocht aan haar zwagers Ewout en Jeremias. Dat klooster lag destijds aan een plein dat was ontstaan toen het **Sint Jacobskerkhof**, ten zuiden van de (oude) Sint Jacobs-kerk — tegenwoordig 'Groot Tuighuis', was geruimd in 1636/7. Het lag ongeveer waar nu Bethaniestraat nr.35 is. Zie *Afbeelding 26*. Een deel van dat klooster was in 1697 gekocht door 's Gravesandes grootmoeder Cornelia Bastings, een tweede deel in 1706 door vader Dirck, die er later nog een derde deel had bijgekocht, in 1711.

Aan de overkant van hetzelfde plein lag het voormalige **Baselaarsklooster**, waar nu de Baselaarsstraat is. Vanaf 1641 had daar Frans Blom⁵⁾, een oom van zijn moeder, gewoond.



Afbeelding 26: De 2 kloosters aan St. Jacobskerkhof

Ook dat pand was door Dirck gekocht, al in 1682. Zelf woonde hij toen met zijn gezin op het voormalige Geertruikerkhof (achter de Orthenstraat — zie *Afbeelding 5*).

 = locatie van het voormalige **Baselaarklooster**

 = locatie van het voormalige **Bethanie-klooster**

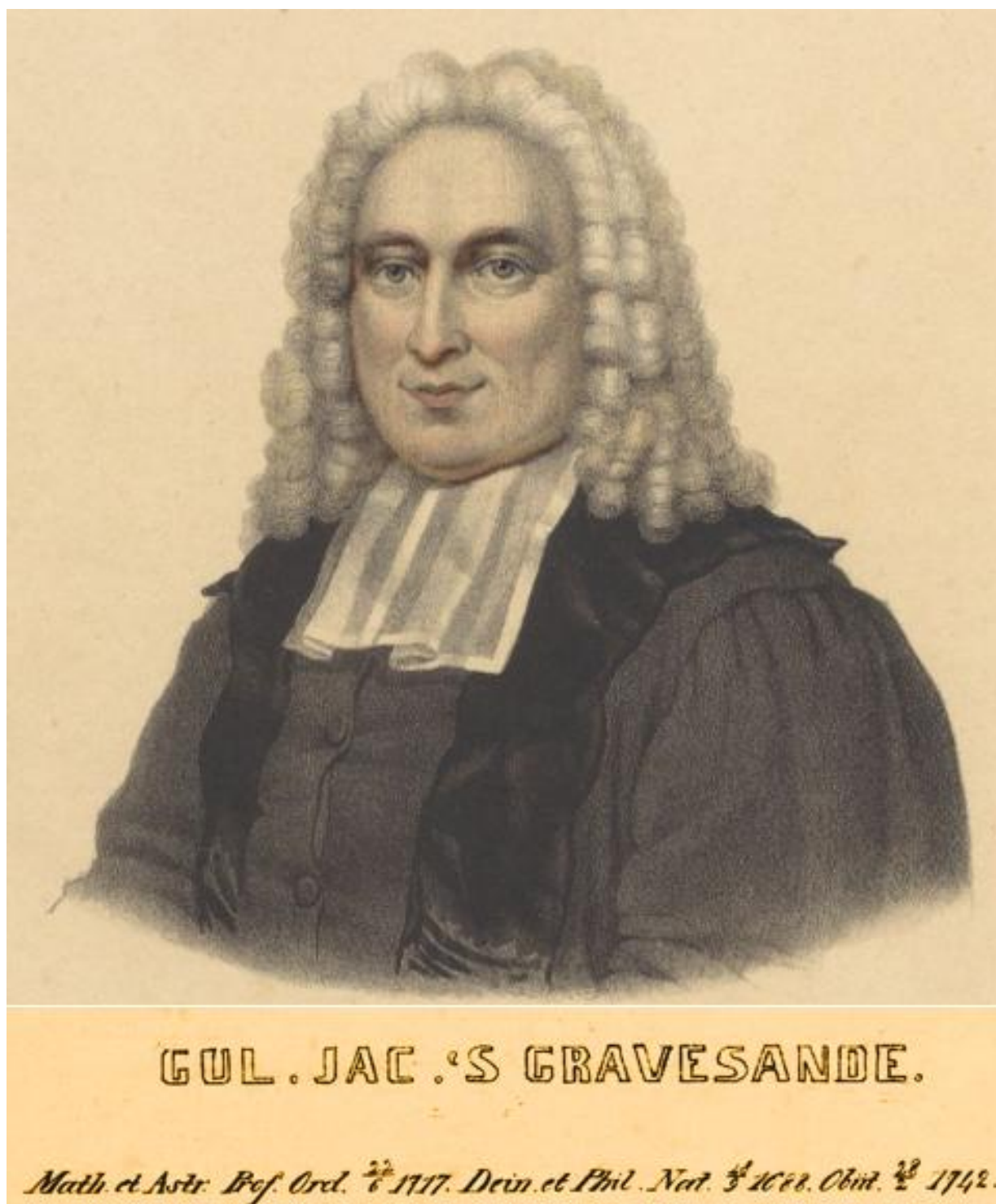
Overigens is dit lang niet *al* het vastgoed van de familie(s)...

Tot slot

Uit de hierboven beschreven levensloop mag zonder twijfel geconcludeerd worden dat Willem Jacob 's Gravesande een bijzondere Bosschenaar was. Een man die zijn vleugels heeft uitgeslagen en op internationaal wetenschappelijk terrein stevig zijn stempel gedrukt. In korte tijd heeft hij zich weten te ontwikkelen tot een alom gerespecteerde wetenschapper, een wijze en tegelijk sociaal begaafde geleerde. Hij was iemand die zijn werk als onderzoeker, bemiddelaar en didacticus altijd op de voorgrond heeft gezet. Hij cijferde zichzelf als persoon het liefst weg omdat hij vond dat het altijd om de inhoud ging. Het laatste woord over zijn persoonlijkheid is aan zijn vriend en biograaf Allamand:

“Ik was alleen by zyn bedde, toen hy den geest gaf, en heb hem bykans geduurende zyne geheele ziekte opgepast. Staande zyne Ziekte sprak hy, gelyk in de dagen van gezondheid, als een Man, wel overtuigd van de Waarheid en Godlykheid der Euangelieleere. By eene opregte verkleefdheid aan den waaren Godsdienst, voegde de Heer 's gravesande alle hoedanigheden, die een Man in de Maatschappyeagten- en beminnenswaardig maaken. Hy was openhartig in gezelschap, en nooit heeft iemand beter dan hy geweeten hoe zich te schikken naar het character en de vatbaarheid der Persoonen met welken hy omging. Aandoenlyk voor alles wat een ander trof, was hy altoos zo gereed om de behulpzaame hand te bieden die zyne hulp behoefden, als om te deelen in de blydschap der gelukkigen. Ligt was hy over te haalen, en inschiklyk ten opzigte van onverschillige zaaken; doch, wanneer het zyn Pligt goldt, onverzettelyk standvastig.”

‘Unne mooie mens’ dus, op z’n Bosch gezegd.



Afbeelding 27: William Jacob 's Gravesande [toegeschreven aan Leendert Springer]
(bijna hetzelfde onderschrift – incl. *fout* – als bij Afbeelding 1: *doop*datum i.p.v. *geboorte*datum [27/9] - ThvdW)

Nu volgt, zoals ik in de INLEIDING van dit boekje heb beloofd:
DEEL II, over zijn natuurwetenschappelijk werk.

DEEL II

Zijn werk

De bol, de ring en het emmertje

Wat de precieze oorzaak ook moge zijn, feit is dat heel weinig mensen nog de naam 's Gravesande kennen, laat staan zijn werk en betekenis voor de natuurwetenschap.

En van die kleine groep mensen die zijn naam *wel* kennen zullen de meesten die hoogstwaarschijnlijk in verband brengen met zijn twee bekendste natuurkunde-proefjes. Tot voor kort waren die in elk natuurkundeschoolboek te vinden: *'De bol en ring van 's Gravesande'* en *'Het emmertje van 's Gravesande'*. Dat zijn allebei heel simpele, maar didactisch verrassend sterke demonstratieproefjes.

'Bol en Ring'

Dit proefje is bedoeld om iets te laten zien wat je met het blote oog niet gemakkelijk kunt zien, namelijk dat **een metaal uitzet als het verwarmd wordt**. Zie *Afbeelding 28*.

Een massief koperen bol die precies door een koperen ring past zal, na verwarming met bijvoorbeeld een gasbrander, niet meer door de ring heen kunnen maar er bovenop blijven liggen. Pas als de bol na enige tijd is afgekoeld zal die door de ring vallen. Omdat de bol zijn warmte voor een deel afstaat aan de ring zal niet alleen de bol krimpen, maar ook de ring uitzetten – wat meehelpt.



Afbeelding 28: Originele opstelling voor de proef 'Bol en ring van 's Gravesande' [Boerhaave Museum]

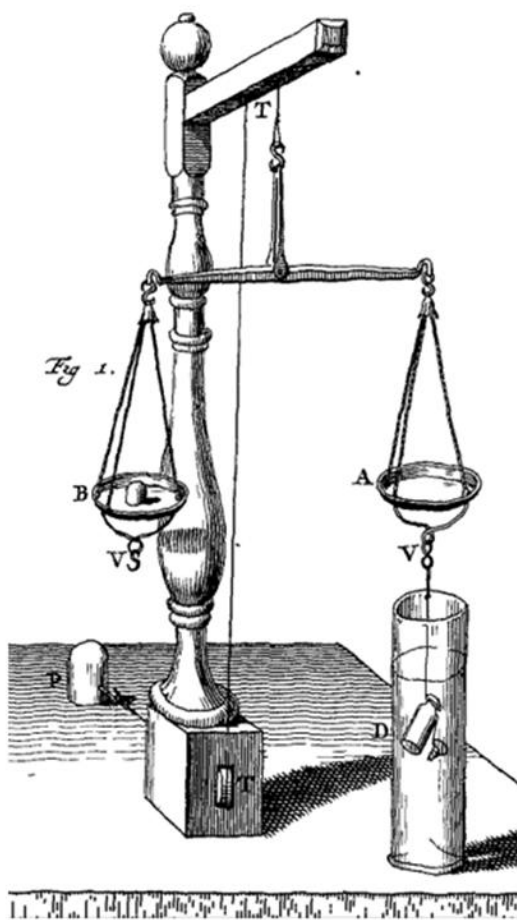
Hiermee is afdoende aangetoond dat het metaal uitzet en inkrimpt bij respectievelijk warmtetoevoer en -afvoer.

‘Het Emmertje’

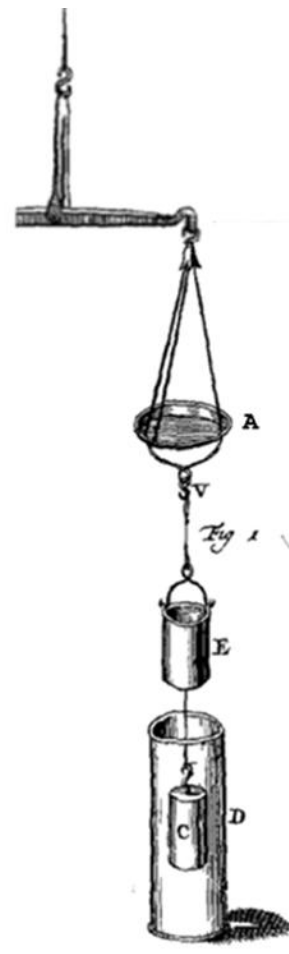
De proef met ‘Het Emmertje’ is wat lastiger, maar ook hier wordt **experimenteel** een natuurkundig principe **direct en glashelder aangetoond**, namelijk de Wet van Archimedes.

Onder een van de twee schaaltes van een balans wordt een voorwerp(D) gehangen. Zie *Afbeelding 29* - linker deel.

Om evenwicht te maken moet dan op het andere schaalte extra gewicht worden bijgelegd.



Afbeelding 29: Originele opstelling voor 'Het Emmertje' van 's Gravesande'



[Deze afbeeldingen zijn afkomstig uit 's Gravesandes leerboek 'Physices Elementa Mathematica,...' A.D.1720]

Maar als daarna dat voorwerp **in een bekertje water wordt ondergedompeld**, lijkt het alsof het voorwerp bij de verstoring van dat evenwicht **lichter** is geworden. **Hoeveel precies** is natuurlijk te bepalen door een deel van het extra gewicht weg te nemen tot het evenwicht is hersteld, maar dat is nu net *niet* wat 's Gravesande doet. Hij wil nog iets meer aantonen.

Hij komt met een verrassende, niet minder dan geniale, **alternatieve manier** om het evenwicht te herstellen: hij laat zijn vaste instrumentmaker Jan van Musschenbroek¹² een emmertje en een cilindertje maken die exact in elkaar passen, dus zodanig dat het volume van het cilindertje precies gelijk is



Afbeelding 30: Deze proefopstelling is een moderne uitvoering van 's Gravesandes versie. [collectie Boerhaave Museum]

aan de inhoud van het emmertje. Zie *Afbeelding 30*. Het emmertje(E) en het cilindertje(C) worden onder elkaar aan een van de twee schaaltes gehangen (zie *Afbeelding 29* – rechter-deel, of *30* hiernaast), en wel zodanig dat het cilindertje helemaal vrij hangt in een doorzichtig, **nog leeg** beker-glas(D). De balans wordt in evenwicht gebracht met een extra gewicht op het andere schaalte, zoals eerder gedaan. Het bekerglas wordt vervolgens gevuld met water, totdat het cilindertje volledig in het water is komen te hangen. Het hierdoor verstoorde evenwicht kan hersteld worden door nu voorzichtig **water in het emmertje te gieten**. Het evenwicht blijkt dan herwonnen te worden op het moment dat het emmertje **precies tot aan de rand toe gevuld is**. Er zit dan evenveel water in het emmertje als door de cilinder in het bekerglas is verplaatst.

Aldus bewijst 's Gravesande op een verrassend directe manier **de wet van Archimedes**:

*Een voorwerp dat in een vloeistof wordt ondergedompeld ondervindt daarvan een opwaartse kracht die **precies even groot is als het gewicht van de hoeveelheid vloeistof die door het voorwerp wordt verplaatst**.*

Nog meer dan bij de ‘Bol en ring’ is dit een typisch staaltje van ’s gravesandiaanse didactiek: theorie en praktijk naadloos in één jasje.

Overigens is deze wet bijzonder praktisch omdat het antwoord op de vraag: *wanneer blijft iets drijven?* erin zit verborgen.

Dat antwoord is dus: *als er maar genoeg vloeistof wordt verplaatst* door het voorwerp dat ondergedompeld wordt — zelfs als dat onderdompelen slechts gedeeltelijk gebeurt!

Dit is *de enige voorwaarde* om het voorwerp te laten drijven.

Als een blokje in water zinkt, dan komt dat dus omdat het te zwaar is om aan deze ene voorwaarde te kunnen voldoen.

Maar als je dat blokje zou vervormen tot een bootje, dan zou je het wel degelijk kunnen laten drijven. Je zou het blokje natuurlijk ook gewoon in een bestaand bootje kunnen leggen dat *wel* genoeg water verplaatst om zijn eigen gewicht, samen met dat van het blokje, te laten dragen door het water. Hoe *zwaarder* het blokje, des te *dieper* moet het bootje in het water (kunnen!) liggen — om meer water te verplaatsen dus.

Op dit principe blijft een metalen bulktanker op zee drijven.

55

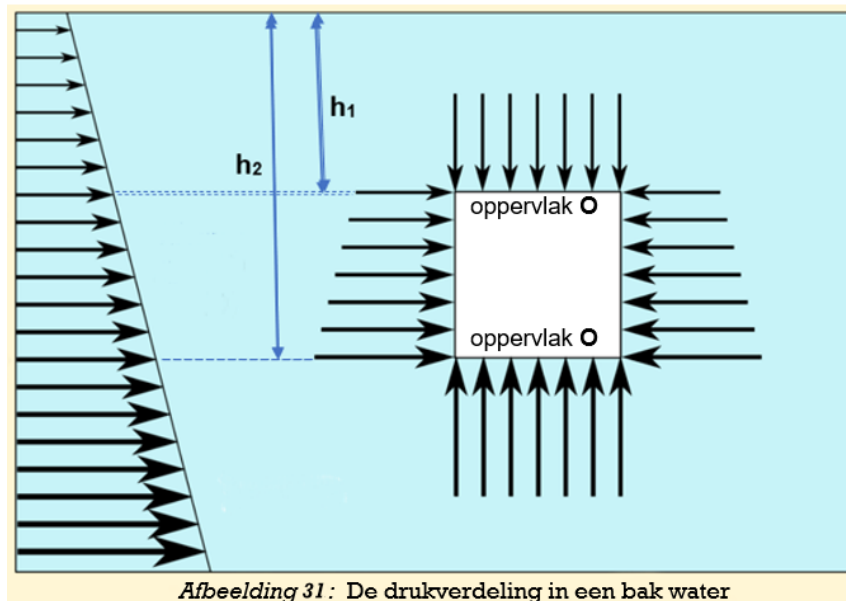
Theoretisch bewijs van de wet van Archimedes

Speciaal voor de liefhebbers van een stukje natuurkunde-theorie volgt hier de *theoretische afleiding* van de wet:

De waterdruk in een bak water wordt op de eerste plaats bepaald door *de dichtheid* (ρ) van de vloeistof (de ‘zwaarte’). De grootte van de druk (p) varieert met de hoogte/diepte (h), ten gevolge van het eigen gewicht van het water. De *onderste* ‘waterlaag’, op de bodem van de bak, heeft *het meeste water boven zich*, dus daar is de waterdruk het grootst.

Een blokje dat in het water wordt ondergedompeld ondervindt dus niet overal dezelfde druk. Dit is aangegeven met pijlen in *Afbeelding 31*.

De afstand van de bovenkant van het blokje tot het wateroppervlak is daarin aangegeven met h_1 , en van de onderkant van het blokje tot de waterspiegel met h_2 .



Afbeelding 31: De drukverdeling in een bak water

De grootte van de pijlen geeft de grootte van de waterdruk ter plaatse aan. Op één bepaalde plaats in het water is de druk naar alle kanten gelijk, dus ook de grootte van de pijlen: $\uparrow = \rightarrow$

De druk op de vier zijkanten van het blokje is gelijk op gelijke hoogte, maar tegengesteld van richting, dus het nettoresultaat daarvan is nihil. Het blokje wordt niet naar links of naar rechts gedrukt door het water. Maar in verticaal opzicht is dit anders: de druk op de bovenkant van het blok is kleiner dan de druk op de onderkant. Dat resulteert dus in een opwaartse druk op het blokje als geheel; het water 'wil' het blokje omhoogduwen.

Hoe groot die opwaartse druk precies is? Voor de bepaling daarvan zijn eerst nog wat meer afkortingen nodig:

O = grootte van het (boven/onder-)oppervlak van het blok

F_g = zwaartekracht | m = de massa | g = gravitatieversnelling

G = het gewicht dat op een oppervlak drukt, t.g.v. F_g

V = het volume, de ruimte die het blokje of het water inneemt

p = de waterdruk, zowel in het water als op het blokje

(Het is gebruikelijk om vectoriële grootheden dikgedrukt weer te geven.)

Omdat algemeen geldt: $G = F_g = m \times g$, $m = \rho \times V$ en $V = O \times h$, kunnen de krachten op het boven- en ondervlak van het blokje berekend worden. Dat gaat als volgt.

Het gewicht van de laag water boven het blokje drukt op het bovenvlak, de grootte van die kracht is: $F_{\downarrow} = \rho \times O \times h_1 \times g$

Evenzo geldt ook voor het ondervlak: $F_{\uparrow} = \rho \times O \times h_2 \times g$ ²³⁾

Het **verschil tussen $F_{\uparrow}$ en $F_{\downarrow}$** levert $F_{\text{opw.}} = \rho \times O \times (h_2 - h_1) \times g$ op. Hierin blijkt $O \times (h_2 - h_1)$ het volume **van het blokje zelf** te zijn.

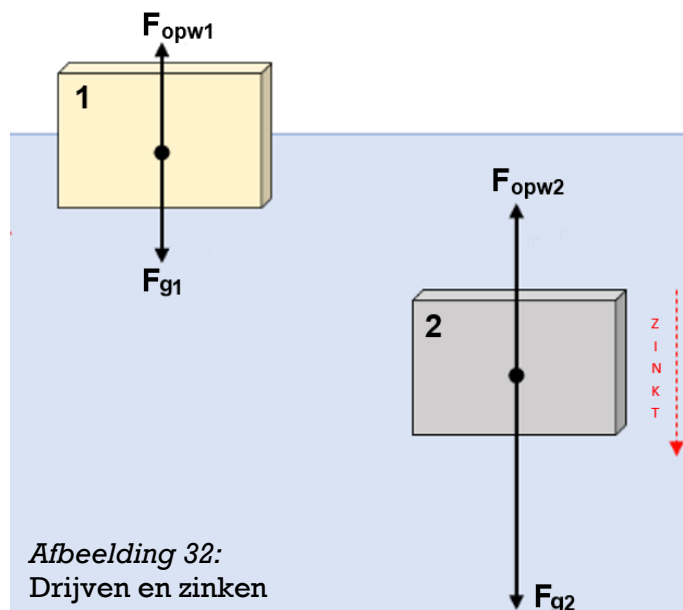
Omdat ρ nog steeds de dichtheid **van water** — dus *niet* van het blokje! — is, gaat het hier om **de massa (i.c. het gewicht) van het water** dat voorheen op de plaats van het blokje zat. Dus:

$F_{\text{opw.}}$ = het gewicht van het door het blokje verplaatste water. Hiermee is het gezochte theoretische bewijs geleverd.

Drijven of zinken

Nu kan ook de vraag ‘**zinken of drijven?**’ vrij eenvoudig beantwoord worden.

In *Afbeelding 32* zijn twee blokjes getekend, die niet even zwaar zijn maar wel hetzelfde volume hebben. Het grijze blokje (2) is zwaarder dan het gele blokje (1), wat ook blijkt uit de lengte van de zwaartekrachts-pijlen F_{g1} en F_{g2} .



Afbeelding 32:
Drijven en zinken

²³⁾ Misschien zal de kritische lezer bezwaar aantekenen tegen deze laatste regel, aangezien de kracht op de onderkant *opwaarts* is gericht, en F_g altijd *neerwaarts*, maar: op een horizontale lijn in het water heerst dezelfde druk, alle kanten op, dus via $F = p \times O$ is het gebruik van $F_g = m \times g$ hier wel degelijk gelegitimeerd.

Aan de lengten van de pijlen van de opwaartse krachten F_{opw1} en F_{opw2} is ook te zien dat F_{opw1} kleiner is omdat blokje 1 niet helemaal ondergedompeld is en dus minder water verplaatst. Blijkbaar levert die waterverplaatsing precies voldoende opwaartse kracht om het gewicht van blokje 1 te compenseren. Hierdoor is er evenwicht: $F_{opw1} = F_{g1}$, het blokje blijft drijven.

Bij blokje 2 is dat niet zo. Daar geldt: $F_{opw2} < F_{g2}$, dus het zinkt, de opwaartse kracht is te zwak om het gewicht van 2 te dragen.

De wet van Archimedes levert op deze manier als vanzelf een dwingend voorschrift voor de scheepvaart en -bouw.

Tot zover de beschouwingen over de wet van Archimedes.

Zware kost

Tot nu toe ging het slechts om slimme, didactische foefjes van 's Gravesande. Daarnaast heeft hij een bijna onvoorstelbare berg werk verzet op zeer uiteenlopende terreinen.²⁴⁾

Maar dit alles terzijde, want het wordt nu echt tijd voor het zwaardere werk: zijn doorslaggevende bijdragen aan de ontluikende theorievorming rond de begrippen 'kracht' (F), 'impuls' (p) en 'energie' (E). Dit zijn zelfs tegenwoordig nog drie lastige begrippen, waarover menigeen struikelt.

Bijkomstig probleem: het onderscheid tussen 'een kracht' en 'het effect van een kracht' was destijds volkomen onduidelijk.

²⁴⁾ Naast alles dat in Deel I al is besproken:

- op het gebied van de **boekenuitgeverij**: werken van Newton, Huygens en J. Keil,
- op het gebied van de '*Civile en Militaire Bouwkunden*': waterpompen, 'windassen', takel-apparatuur, de 'hydrostatische balans' (zie *afb. 29*), de heliostaat met uurwerk, de *camera obscura*/'toverlantaarn' en de verbetering van machines: de dubbele kraanluchtpomp, de stoommachine van Savery en de luchtpomp van Von Guericke.
- op het gebied van (**staats**)**advisering**: hij schreef in 1716 het '*barrière-tractaat*' (waarvoor hij een gouden medaille heeft ontvangen), de decodering van Spaanse teksten, de bevaarbaarheid van de Merwede en de Googervijzelmolen in Leiden.
- de **bemiddeling** tussen enkele heetgebakerde vakcollega's (Voltaire-Rousseau en Newton-Leibniz) en zijn (hopeloze!) onderzoek naar '*Het Rad van Orphyrreus*'.

Het onderwerp van de aangekondigde “zware kost” zal zijn: **de vrije val**. De behandeling daarvan wordt bemoeilijkt door **een viertal complicerende factoren**:

1. Het concept **vector** bestond in Newtons tijd nog niet.

Een vector is een grootheid **met een richting**, zoals ‘kracht’ en ‘snelheid’. Vectoren worden **weergegeven met een pijl**. (Grootheden *zonder* richting zijn b.v. ‘massa’ en ‘energie’.)

2. Newtons mechanica stelde op **meetkundige** bewijzen.

Die waren van oudsher de zekerste vorm van kennis. In veel gevallen is een **algebraïsche** benadering een stuk handiger.

3. De wiskunde was van oorsprong **retorisch** van aard.

Ook Newton schreef zijn wetten nog in woorden, in het Latijn. Al in 1687 stelde hij in zijn ‘*Principia*’ dat de kracht op een voorwerp **“evenredig”** is aan de versnelling van het voorwerp. Toch duurde het nog 65 jaar voordat de wet **een formule** kreeg: pas in 1752 was het *Leonhard Euler* die uiteindelijk als eerste de beroemde formule $F = m \cdot a$ afleidde – de ‘2^e wet van Newton’.

59

4. Er ontbrak een **standaardsysteem van eenheden**.

Wel werd er gebruik gemaakt van **verhoudingen**.

Bijvoorbeeld: ‘Als de kracht op een constante massa verdubbelt, verdubbelt de versnelling’. Dat leidde tot **een vergelijking van verhoudingen**: $F_1 : F_2 = a_1 : a_2$ (maar *niet* in formulevorm).

Met bovenstaande in gedachte geef ik hier nu gemakshalve Newtons “goddeloze” zwaartekrachtwet²⁵ weer in de moderne formulevorm:

$$F_g = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

waarin:

m_1 & m_2 zijn massa’s met onderlinge afstand r

(m_1 & m_2 kunnen 2 moleculen zijn, maar net zo goed de Aarde en de Maan.)

F_g = zwaartekracht op m_1 & m_2

G = de *Gravitatieconstante*

(= $6,6726 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2 / \text{kg}^2$)

! $\rightarrow$ *niet te verwarren met de valversnelling g ($\approx 9,81 \text{ m/s}^2$)*

²⁵) Hoe Newton tot deze wet kwam wordt uitgebreid beschreven in BIJLAGE III.

De vrije val

Al zolang de mens op Aarde is zal die nagedacht hebben over haar/zijn omgeving. Ongetwijfeld ook over de vrije val van voorwerpen. Er zijn talloze theorieën over bedacht.

Tot ver in de middeleeuwen heerste voornamelijk de opvatting die de Griekse filosoof/wetenschapper **Aristoteles** (384–322 v.Chr.) erop na hield:

- Een voorwerp valt omdat het ‘thuishoort’ op Aarde.
- De (gemiddelde) snelheid ervan is *recht*-evenredig met zijn ‘zwaarte’, en *omgekeerd*-evenredig met de **dichtheid** van het medium waarin het valt.
- De snelheid wordt groter naarmate het dichterbij zijn ‘natuurlijke plaats’ komt.

In de **dertiende** eeuw kwam hier wat weerstand tegen, maar o.a. de Italiaanse filosoof/theoloog **Thomas van Aquino** (±1225 – 1274) wist behendig een synthese tot stand te brengen tussen de **christelijke leer** en de **aristotelische filosofie**.

In de **veertiende** eeuw werd het paradoxale begrip ‘*impetus*’²⁶⁾ geïntroduceerd: een soort *inwendig* bewegend vermogen dat, in samenwerking met de ‘zwaarte’ van het voorwerp, ervoor zorgt dat de val een *versnelde* beweging wordt.

In de **vijftiende** eeuw begon **Leonardo da Vinci** (1452 – 1519) als een van de eersten daadwerkelijk **metingen** te doen aan de *valtijd* — maar blijkbaar zonder besef van het verschil tussen *momentane* en *gemiddelde* snelheid. Zijn ideeën over de val waren nogal vaag, en zijn conclusies waren ronduit fout.

In de **zestiende** eeuw worstelde **Galileo Galilei** (1564 – 1642) ook al met de vrije val. Hij *postuleerde* dat de (momentane) *valsnelheid*(v_t) evenredig zou zijn met de *valtijd*(t) — wat overigens wel **juist** is: $v_t = g \cdot t$. Toevallig(?) kwam hij via een

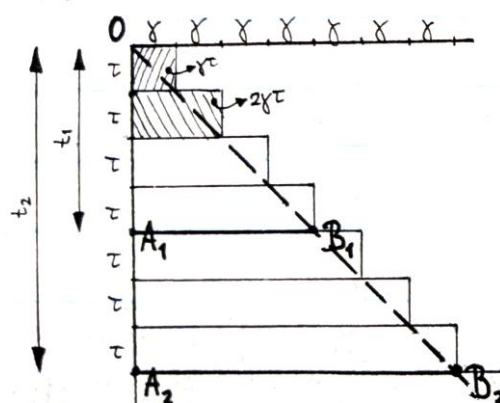
²⁶⁾ paradoxaal omdat niet duidelijk was of de *impetus* **oorzaak** of **gevolg** van de val was; die kon de vrije val **versnellen**, maar even zo goed een rollende knikker laten **afremmen**.

foutieve hypothese (namelijk dat die snelheid v_t recht evenredig zou zijn met de afgelegde weg) *toch* uit bij de juiste valwet: de valafstand is recht evenredig met het kwadraat van de valtijd, dus: $S_t \sim t^2$. Dit klopt met het moderne $S_t = \frac{1}{2}gt^2$.

Pas nòg een eeuw later kwam de Nederlandse natuurkundige, ingenieur en meteoroloog Isaac Beeckman (1588 – 1637) via een slimme grafische truc op dezelfde valwet. Hij had nog nooit van een *limietovergang* gehoord, en ook niet van formules²⁷⁾. Maar hij had als eerste het idee om zowel de valtijd als de (gemiddelde) snelheid op te knippen in kleine stukjes τ resp. γ en dan ‘de regel van Oresme’ toe te passen: $S_t = v_{\text{gem.}} \cdot t$ — i.c. de afgelegde weg = $\gamma \cdot \tau$. Hij stelde die afstand grafisch voor als de oppervlakte van een vierkantje. Zie Afbeelding 33 hiernaast.

Na tijd t_1 is dan opp. $\triangle OA_1B_1$ de afgelegde afstand. De grootte daarvan is gelijk aan $(OA_1)^2$. Maar $(OA_1)^2 = t_1^2$! Dezelfde redenering is toe te passen op t_2 .

Conclusie: de verhoudingen van de afgelegde afstanden zijn gelijk aan de verhoudingen van de kwadraten van de bijbehorende tijdsintervallen. In moderne notatie:



Afbeelding 33: $s_t = \text{opp. } \gamma \cdot \tau$

$$s = c \cdot t^2$$

= constant
getal

Dit verband stond bekend als de ‘kwadratenwet’.

Later hebben zowel Newton als Leibniz dezelfde wet afgeleid met behulp van het *limietbegrip*²⁸⁾.

Voor een *moderne* wiskundige afleiding van de wet, alsmede de bepaling van de waarde van de c in de wet: zie BIJLAGE IV.

Deze wet komt straks terug bij de beruchte *val-in-klei*-proef.

²⁷⁾ Tijdgenoot Descartes heeft Beeckman nog wiskundig bijgestaan bij deze afleiding.

²⁸⁾ Ze kregen hooglopende ruzie over wie het patent had op het wiskundig integreren. 's Gravesande heeft daarbij nog als mediator moeten optreden.

Tot zover een historisch terugblikje over de vrije val.

Nu aan de slag met een paar netelige begrippen rond die val. Wat is een 'kracht' (*vis*)? En wat is 'een hoeveelheid beweging' (wat Galilei '*momento*', Descartes '*quantité de mouvement*' en Newton '*quantitas motus*' noemde)? En vooral: hoe **meet** je die?

Een kwestie van (het effect van) een 'kracht'

Waarom valt een voorwerp zoals het valt?

Sinds Newton weten we: door de zwaartekracht. En zijn tweede wet, toegepast op de val: $F_g = m \cdot g$, 'verklaart' meteen ook dat de val een *versnelde* beweging is. Iedereen tevreden dus.

Of niet?

Nee, want dit is weliswaar het juiste antwoord op een *andere* vraag, namelijk: 'waardoor?', maar de *metafysische* vraag 'waarom?' blijft onbeantwoord. Newton vermeed die vraag, althans in zijn '*Principia*'. Uit andere bronnen weten we echter dat hij **achter elke beweging Gods hand** zag.

Het voert hier te ver om nog andere historische, sterk uiteenlopende verklaringen voor 'de val' op te lepelen. Maar om straks de problemen bij 's Gravesandes *val-in-klei*-proeven enigszins te kunnen invoelen moet toch eerst even een aantal, destijds vage, begrippen onder de loep genomen worden. Die spelen namelijk een belangrijke rol bij de zogenaamde '*vis viva* – kwestie'. En die komt straks uitgebreid aan de orde.

Wat doet iets vallen? Het kan niet alleen 'de zwaarte' zijn, er moet nog iets meer zijn dat het vallen *versneld* laat gebeuren. Dat extra duwtje dat in de 14^e eeuw 'impetus' (*letterlijk*: vaart) werd genoemd is in feite de voorloper van het moderne begrip impuls(**p**), de combinatie van massa(**m**) en snelheid(**v**): $p = m \cdot v$. Het begrip werd later min of meer vervangen door het begrip 'vis' (*letterlijk*: kracht). Lekker verwarrend, ja.

Galilei, Descartes, Huygens, Newton, Leibniz en 's Gravesande hebben zich allemaal intensief bezig gehouden met val- en botsproeven. Lastig probleem daarbij was de tijdmeting.

Maar Galilei had daar een slimme truc voor gevonden. Hij gebruikte hellingen en rolgoten om de beweging van de vrije val a.h.w. te vertragen. Daarmee kon hij weliswaar niet de juiste **grootte** van de momentane valsnelheid(v_t) meten, maar hij kon wel **de aard** van de beweging bestuderen, ondanks het



Afbeelding 34: Galileo Galilei
(Justus Sustermans) [Uffizi Florence]

probleem van de wrijving. Op die manier probeerde hij zijn eigen valwet te bewijzen. Die had hij al min of meer op intuïtie ontdekt en geformuleerd, zoals hier eerder aangestipt. Experiment ter bevestiging van de theorie dus.

Newton en 's Gravesande propageerden een tegenovergestelde benadering: theorievorming uit experimenten.



Afbeelding 35: Christiaan Huygens
(C. Netscher) [Haags Historisch Museum]

Vele jaren daarvoor was Huygens de eerste geweest die *systematisch* proeven uitvoerde m.b.t. botsende voorwerpen. Descartes had zeven botsings-regels opgesteld. Die werden door Huygens verbeterd en omgezet naar **twee bewegings-wetten: de wet van behoud van mv** en (alleen bij zogenaamde

volkomen elastische botsingen) **de wet van behoud van mv^2** ²⁹⁾.

²⁹⁾ Met de 'hoeveelheid beweging' bedoelde Huygens de combinatie van massa en snelheid (tegenwoordig *impuls*: mv). De combinatie van massa en het kwadraat van de snelheid (mv^2) zag hij als de 'kracht' – maar die komt eigenlijk meer overeen met het (toen nog niet bestaande) moderne begrip *kinetische* of *bewegings-energie*: $E_{kin.} = \frac{1}{2}mv^2$. Tot dat begrip — met die factor $\frac{1}{2}$ erbij — is 's Gravesande zelf niet kunnen komen. Het moderne begrip 'energie' zou pas in 1807 expliciet worden gedefinieerd door **Thomas Young (1773-1829)**. Overigens was Huygens wel de allereerste die algebraïsche formules introduceerde: $m_1v_1^2 + m_2v_2^2$ noteerde hij als $axx + byy$.

Met die wetten bracht Huygens onderscheid aan tussen wat hij de *quantitas motus* (de ‘hoeveelheid beweging’) noemde, en de *vis motrix* (de ‘bewegende kracht’) van een lichaam.

Leibniz gebruikte voor die *vis motrix* zelf liever het begrip *vis viva* (de ‘levende kracht’ die van binnenuit werkte).

Tot zover geen vuiltje aan de lucht.

Maar die *vis viva* zou nog een ‘vis viva – kwestie’ worden.

Al in 1686 — dus nog vóór de geboorte van ’s Gravesande — sneed Leibniz die kwestie aan. Hij wees op de conclusie die Huygens uit de resultaten van zijn *slinger*proeven had getrokken: *de hoogte* die een voorwerp tegen de zwaarte in kan bereiken is een maat voor het effect van ‘de kracht’ die dat teweegbrengt. Die stijghoogte bleek evenredig te zijn met mv^2 . Bovendien kwam Huygens tot de slotsom dat die ‘stijgkracht’ mv^2 in alle gevallen constant bleef. Dit in tegenstelling tot de ‘hoeveelheid beweging’ mv .

Dat riep de vraag op of *ook in het algemeen* de ‘kracht’ van een bewegend voorwerp wordt bepaald door mv , of door mv^2 . En toen brak de discussie los.

Cartesianen als Leibniz, Bernoulli(J.) en Huygens meenden dat *de afstand* waarover een kracht werkzaam is alvorens te zijn ‘opgebruikt’, een maat is voor het effect van deze kracht.

De Engelse *newtonianen*, onder de bezielende leiding van de streng gelovige Samuel Clarke (bijnaam: ‘de pitbull van Newton’), bestreden dit fel. Zij stelden dat dit effect juist bepaald wordt door *de tijd* waarin de kracht werkzaam is.

Ook ’s Gravesande nam aanvankelijk dit laatste standpunt in.

Leibniz had de kwestie verder uitgediept en kwam tot de eindconclusie dat het effect van de ‘kracht’ evenredig is met mv^2 .

Dat maakte ook voor hem deze combinatie tot maat voor de ‘kracht’ van een bewegend voorwerp, en dus *niet* mv .

Maar dat was tegen het zere been van het gelovige deel van de geleerde gemeenschap. De argumenten voor en tegen vlogen over en weer: “dat God zijn eigen snelheid niet gaat zitten kwadrateren”, en het even gechargeerde antwoord daarop “dat God wel wat beters te doen heeft dan zich persoonlijk met elke beweging te bemoeien.” *(Dit zijn geen letterlijke citaten — ThvdW)* Kortom, een pikante kwestie vanwege het theologische tintje.

Een duivelse *val-in-klei*-proef

Uiteindelijk word in 1722 het ‘*vis viva* – geschil’ definitief beslecht door niemand minder dan ’s Gravesande zelf.

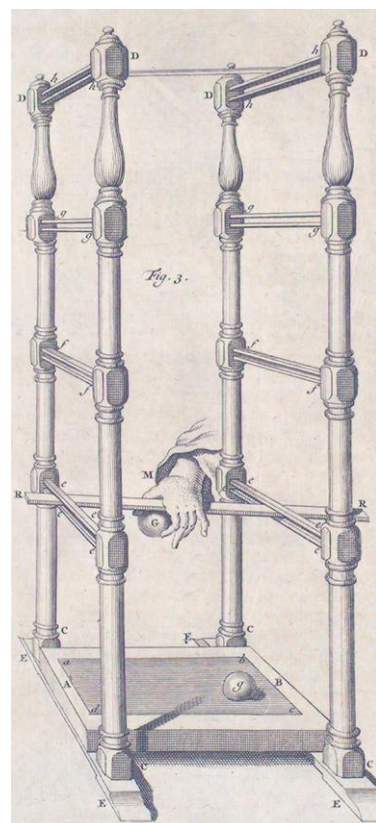
Als gewezen jurist had hij een meesterproef verzonnen, een natuurkundig experiment waarbij hij zelf drie rollen vervulde:

- als advocaat *à charge* (voor het mv-standpunt)
- als advocaat *à decharge* (voor het mv^2 -standpunt)
- als rechter, die in hoogsteigen persoon het vonnis velt door middel van een experiment, dat hijzelf ten uitvoer brengt.

De proef was op zich erg simpel, maar zeer geraffineerd van opzet.

Vanaf verschillende hoogten liet ’s Gravesande kogels van verschillende massa’s (maar met gelijk volume) in een bak met klei vallen. Het verschil in diepte en diameter tussen de klei-afdrukken in de bak, of juist het ontbreken daarvan, bracht de oplossing van het conflict. Zie *Afbeelding 36*. Het vernuftige zat ’m in de keuze van de combinaties van de massa’s en de valhoogten.

Afbeelding 36: de houten stellage die ’s Gravesande gebruikte voor zijn val-in-klei-proef, met de bak met pottenbakkersklei



Die uitgekiende combinaties van de massa's en de valhoogten had 's Gravesande van tevoren zodanig bepaald dat van twee vallende kogels ofwel de bijbehorende waarden voor mv , ofwel die voor mv^2 gelijk zouden zijn.

Tegenwoordig zou er van zo'n allesbeslissend experiment een spannend *media event* gemaakt worden, maar 's Gravesande heeft de proeven alleen — of hooguit in het bijzijn van zijn vriend en TOA Jan van Musschenbroek¹²⁾ — uitgevoerd.

Maar ja, van alle hoofdrolspelers van de *vis viva* - kwestie was alleen Newton (toen 79 jaar oud) nog in leven.

Allez, nu de proef, in feite bestaande uit **twee experimenten**.

- * **Premisse:** Bekend was destijds al dat de valsnelheid en de valtijd evenredig waren. En eveneens dat de valhoogte en het kwadraat van de valtijd ook evenredig waren ('kwadratenwet'). Daaruit is af te leiden dat *de valsnelheid evenredig is met de wortel van de valhoogte*.

In moderne termen:

$$v = g \cdot t \rightarrow t = v : g$$

$$h \text{ of } s_t = \frac{1}{2} g t^2 = \frac{1}{2} g \cdot (v : g)^2 = \frac{1}{2} v^2 : g \rightarrow v = \sqrt{2g \cdot h}$$

- * **Specificatie van het materiaal:**

$$m_x = 0,100 \text{ kg} \mid m_y = 0,200 \text{ kg} \mid m_z = 0,300 \text{ kg}$$

$$V_x = V_y = V_z \rightarrow \text{met } d = 0,04 \text{ m}$$

$$h_1 = 23,5 \text{ cm} \mid h_2 = 47,0 \text{ cm} \mid h_3 = 70,5 \text{ cm} \mid h_4 = 94,0 \text{ cm}$$



Dus: $\left| \begin{array}{l} 3 \text{ koperen kogels: } m_x = m \mid m_y = 2m \mid m_z = 3m \\ 4 \text{ hoogten: } h_1 = h \mid h_2 = 2h \mid h_3 = 3h \mid h_4 = 4h \end{array} \right.$

- * De luchtwrijving bij deze proef wordt geheel *verwaarloosd*.

Via welke redeneringen 's Gravesande precies tot de bewuste opstelling kwam, is hier niet relevant. Het is handiger om dit met moderne mechanica-formules te onderbouwen.

Experiment 1: gelijke mv^2 -waarden

Als bij inslag moet gelden: $E_{kin1} = E_{kin2}$, en v_1 & v_2 de eindsnelheden zijn, dan: $\frac{1}{2}m_1 \cdot v_1^2 = \frac{1}{2}m_2 \cdot v_2^2$

Met $v = \sqrt{2g \cdot h}$ ingevuld: $m_1 \cdot 2g \cdot h_1 = m_2 \cdot 2g \cdot h_2$

Dus als b.v. $m_1 = 3m$, $m_2 = m$, $h_1 = h$ en $h_2 = 3h$, dan kan

m_x op h_3
 m_z op h_1

→ Een 3x zo zware massa moet op $\frac{1}{3}$ hoogte worden aangebracht om dezelfde E_{kin} te krijgen.

Experiment 2: gelijke mv -waarden

Als bij inslag moet gelden: $p_1 = p_2$, en v_1 & v_2 de eindsnelheden zijn, dan: $m_1 \cdot v_1 = m_2 \cdot v_2$

Met $v = \sqrt{2g \cdot h}$ ingevuld: $m_1 \cdot \sqrt{2g \cdot h_1} = m_2 \cdot \sqrt{2g \cdot h_2}$

Als b.v. alvast $m_2 = 2m_1$, dan: $m_1 \cdot \sqrt{h_1} = 2m_1 \cdot \sqrt{h_2}$

Ofwel:

$$h_1 = 4h_2$$

Dus als $m_1 = m$, $m_2 = 2m$, $h_1 = 4h$ en $h_2 = h$, dan kan

m_x op h_4
 m_y op h_1

→ Een 2x zo zware massa moet op $\frac{1}{4}$ hoogte worden aangebracht om dezelfde p te krijgen.

67

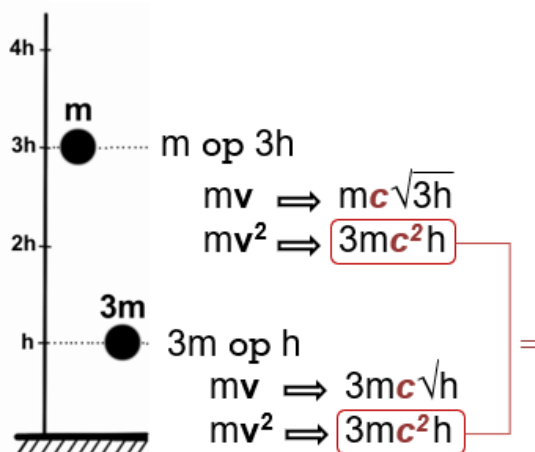
Proefopstelling

Vereenvoudigde schetsen van beide experiment-opstellingen:

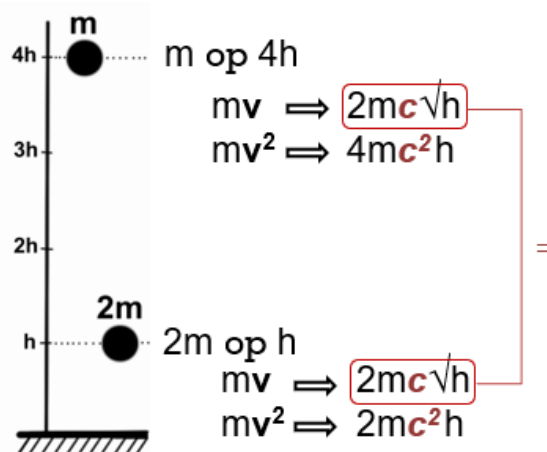
Experiment 1

Voor elk van de vier situaties hieronder is voor de berekening van mv en mv^2 gebruik gemaakt van de formule (uit de premisse) $v = \sqrt{2g \cdot h}$

Voor het gemak is c gebruikt als afkorting voor $\sqrt{2g}$



Experiment 2



Afbeelding 37: Twee proefopstellingen, links voor gelijke mv^2 , rechts voor gelijke mv .

Resultaat van Experiment 1

klei-afdrukken ongeveer gelijk

Resultaat van Experiment 2

klei-afdrukken sterk verschillend

Meetresultaten en Eindconclusie

Na talloze proeven (zie tabel *Afbeelding 38*) beschreef

's Gravesande de resultaten aldus:

*Quæ Sphæræ Segmenta, & Coni, ex datis Diametris, conferuntur, diviso
Hemisphærio in mille partes, & hujus Diametro in Centum.*

Diam.	Segment.	Segm.	Coni.	Diam.	Segment.	Segm.	Coni.
Profund.				Profund.			
35.			23.	68.	13.	97.	172.
36.			25.	69.	14.	104.	179.
37.			27.	70.	14.	111.	187.
38.			30.	71.	15.	118.	195.
39.			32.	72.	15.	126.	203.
40.			35.	73.	16.	134.	212.
41.			38.	74.	16.	143.	221.
42.			40.	75.	17.	152.	230.
43.			43.	76.	17.	162.	239.
44.			46.	77.	18.	173.	249.
45.			49.	78.	19.	184.	259.
46.			52.	79.	19.	196.	269.
47.			56.	80.	20.	208.	279.
48.			60.	81.	21.	221.	290.
49.			64.	82.	21.	235.	301.
50.	7.	26.	68.	83.	22.	250.	312.
51.	7.	28.	72.	84.	23.	266.	323.
52.	7.	30.	77.	85.	24.	283.	335.
53.	8.	33.	81.	86.	24.	301.	347.
54.	8.	36.	86.	87.	25.	320.	359.
55.	8.	39.	91.	88.	26.	341.	372.
56.	9.	42.	96.	89.	27.	363.	385.
57.	9.	45.	101.	90.	28.	387.	398.
58.	9.	48.	106.	91.	29.	414.	411.
59.	10.	52.	112.	92.	30.	442.	425.
60.	10.	56.	118.	93.	32.	473.	439.
61.	10.	60.	124.	94.	33.	508.	453.
62.	11.	64.	130.	95.	34.	547.	468.
63.	11.	69.	136.	96.			483.
64.	12.	74.	143.	97.			498.
65.	12.	80.	150.	98.			514.
66.	12.	85.	157.	99.			530.
67.	13.	91.	164.	100.	50.	1000.	546.

Afbeelding 38: 's Gravesandes metingen aan de klei-afdrukken. In de eerste kolom staan de *diameters* van de 'kleikraters', in de tweede de berekende bijbehorende *hoogten*, in de derde zou de berekening van de verhouding van de volumina van 'krater' en kogel staan. (? – ThvdW.) De vierde zou een andere proef betreffen...

"De gelijkheid van de holten is altijd zeer exact wanneer de kwadraten van hun snelheden in omgekeerde verhouding staan tot hun massa, en de ongelijkheid tussen de holten is zeer groot, wanneer de snelheden zelf in deze omgekeerde verhouding staan tot de massa." Zijn conclusie: "De kracht van een lichaam is evenredig met het product van zijn massa en het kwadraat van zijn snelheid".

Na deze *kwalitatieve* conclusie probeerde 's Gravesande ook nog een *kwantitatief* verband te ontdekken via minutieuze metingen aan de 'kraters' — wat niet is gelukt.

Dus volgens 's Gravesande waren bij **Experiment 1** de klei-afdrukken ongeveer gelijk, terwijl bij **Experiment 2** de klei-afdrukken duidelijk verschilden van elkaar.

Hij concludeerde ten slotte dat *Leibniz'* hypothese de juiste was:

De *vis viva*, de 'krachtwerking', is evenredig met $m \cdot v^2$

Tegen 's Gravesandes eigen verwachting in moesten Leibniz c.s. dus in het gelijk worden gesteld. Hij schijnt toen letterlijk gezegd te hebben: “*Wel, dan ben ik het die ongelijk heeft*” en is terstond overgelopen naar het kamp van Leibniz. Dat ‘verraad’ werd hem bepaald niet in dank afgenomen door de newtoniaanse lobby. Samuel Clarke betichtte hem ervan dat hij met zijn valproef Newton ondermijnde, bestempelde hem tot ‘een ketter’ en beschuldigde hem van ‘goddeloosheid’.

Toch deed 's Gravesande ook in dit geval niets anders dan wat hij altijd al had gedaan: de resultaten van het experiment de doorslag laten geven. Hij koos nooit partij voor **mensen**, alleen voor hun **denkbeelden** — en liefst ook empirisch verifieerbaar.

Het verongelijkte commentaar uit Engeland pareerde hij op een typerende en soevereine wijze door de Newton-adepten fijntjes te wijzen dat het kritisch volgen van de leer van Newton nog iets anders is dan het klakkeloos in zijn voetsporen treden. De aantijgingen van Clarke c.s. probeerde 's Gravesande de kop in te drukken door het hele experiment te publiceren. Dat werd dus het ‘*Essai de une nouvelle théorie du Choc des corps*’. (Zie ook *Afbeelding 23*.) In 1725 liet hij het integraal opnemen in de 2^e druk van zijn “*Physices Elementa Mathematica*”³⁰).

69

290 jaar later, op 29 jan.’12, is in Museum Boerhaave de *val-in-klei*-proef herhaald, met zo goed mogelijk gekopieerde materialen. Uiteraard met hetzelfde resultaat. Zie BIJLAGE V.

Hiermee is echter het verhaal van 's Gravesandes duivelse *val-in-klei*-proef nog niet ten einde gekomen. Wat nu nog volgt is de definitieve, zij het licht ontluisterende, ontknoping.

Ironisch genoeg blijkt deze hele kwestie namelijk achteraf **volkomen onnodig** te zijn geweest. Het was in feite een storm in een glas water — afgezien van de daarmee gepaard gaande theologische gevechten dan.

Puur natuurkundig hoefde er helemaal geen keuze gemaakt te worden tussen het mv -standpunt en het mv^2 -standpunt. Beide zijn tegenwoordig eenvoudig met moderne formules en wiskundige technieken af te leiden uit *de 2e wet van Newton*:

$F = m \cdot a$ = $m \cdot (\delta v : \delta t)$ en $\Delta v = \int_0^t \delta v \rightarrow \Delta v = \int_0^t (F : m) \delta t$ Voor de betekenis van de gebruikte symbolen: zie BIJLAGE IV

versnelling = de 1^e afgeleide van de snelheid

$\Delta v = v_t - v_0$

$m \cdot \Delta v = \Delta(mv) = F \cdot t = p$

De impuls p is de verandering van de hoeveelheid beweging

$v_t = \delta s : \delta t$ → snelheid = de 1^e afgeleide van de afgelegde weg

vrije val vanuit stilstand: $s_0 = 0$ en $v_0 = 0$

$s = \int_0^t \delta s = \int_0^t v_t \cdot \delta t \xrightarrow{[I]} = \int_0^t (F : m) \cdot t \cdot \delta t$

$v_t = (F : m) \cdot t \dots [I]$
of: $t = (m : F) \cdot v_t \dots [II]$

$= \frac{1}{2} (F : m) t^2 \xrightarrow{[II]} = \frac{1}{2} (F : m) \cdot (m : F \cdot v_t)^2$
 $= \frac{1}{2} (m : F) \cdot v_t^2$

De kinetische energie wordt omgezet in arbeid W ($W=F \cdot s$) ← of: **$\frac{1}{2} m \cdot v_t^2 = F \cdot s = E_{kin.}$**

Conclusie:

Zowel mv , die in een bepaalde *tijd* werkt (de stoot of impuls) als mv^2 , die over een bepaalde *afstand* werkt (de arbeid), kan gebruikt worden. *Er is geen voorkeur voor een van beide.* In bepaalde situaties is de een handiger, in andere de ander.

Om tot deze conclusie te komen is het achteraf mooi praten natuurlijk. De intellectuele worsteling tussen de geleerde heren bewijst dat de weg ernaar toe bijzonder grillig was. Geloofszaken zijn vaak hardnekkige obstakels (geweest) in de goddeloze fysica.

Zoals Newton over zijn eigen ‘*Principia*’ heeft gezegd dat hij “op de schouders van reuzen” heeft gestaan, zo zou je van ’s Gravesande kunnen zeggen dat hij de sterkste schouders heeft uitgezocht om op te staan.

NAWOORD

Ik hoop dat het de lezer inmiddels duidelijk is geworden dat 's Gravesande in meerdere opzichten een intelligente geleerde was: in zijn werk een zeer gedreven wetenschapper en daarnaast sociaal erg begaafd. Iemand die zijn werk als onderzoeker, bemiddelaar en didacticus altijd op de voorgrond heeft gezet, en zichzelf als persoon bijna helemaal heeft weggecijferd. Misschien was hij simpelweg te bescheiden om zijn status van onbetwiste beroemdheid in de geschiedenis vast te beitel. Hoe dan ook, Den Bosch heeft de eer gehad een invloedrijke wetenschapper voort te brengen. De stad zou hem naar mijn mening best wat meer eer mogen bewijzen dan alleen via een straatnaam met onderschrift. Bij deze een gewaagde suggestie:

Wat als we het *Stedelijk Gymnasium* zouden omdopen tot... het **'s Gravesande Gymnasium**?

71

Mijn eigen eerbetoon is dit boekje. Ik hoop er nieuwe interesse mee op te wekken voor Onze Vergeten Bossche Beroemdheid, om hem alsnog definitief aan de vergetelheid te ontrukken.

⁶¹⁾ *Enkele persoonlijke noten van de schrijver dezes:*

Voor mij is 's Gravesande een ware Meester, in vele opzichten. Een meester in het verzinnen van oplossingen voor praktische zaken²³), ook een echte schoolmeester en een meester in puur ambachtelijke zin – in het zelf ontwerpen van zijn instrumentarium. Net als de Grote Meester was ikzelf een gedreven natuurkundeleraar (38 jaar lang), en tegelijk een theoreticus maar met een grote voorliefde voor het demonstratie-practicum. Van 1970 tot 1977 heb ik in de Citadel gewerkt (gebouwd door stadstimmerman Frans Blom, de oom van Willem Jacobs moeder) — als bestuurslid, concert-organisator, DJ, barman en schoonmaker van Jongerensociëteit 't Fust, later *De Citadel*.

In 1987 heb ik zelf ook even in de Orthenstraat gewoond, vlak naast nr.25, dichtbij waar ooit het geboortehuis van Willem Jacob heeft gestaan. Aan het eind van dat jaar ben ik met mijn toen nog vriendin, en later (inmiddels voormalige) echtgenote, verhuisd naar de Nieuwstraat – waar de moeder van Willem Jacob, Anna Josina Blom, gewoond heeft en waarschijnlijk ook geboren is. En op dit moment woon ik in de Jan Frankenstraat, de straat die nog tot 1967 'Storm van 's Gravesandestraat' heette...

Tja, je verzint 't niet, hè? – ik in ieder geval niet!

's-Hertogenbosch, 29 oktober 2024

BRONNEN

- I** ‘Willem Jacob ’s Gravesande, Welzijn, wijsbegeerte en wetenschap’, C.de Pater 1988
- II** ‘Van Stevin tot Lorentz, Portretten van Nederlandse natuurwetenschappers’, Hfdst.7 Willem J. 's Gravesande 1688-1742, C.de Pater 1980
- III** Vaderlandsche Letteroefeningen: ‘Verslag van het leven en werk van W.J. ’s Gravesande’, A. van der Kroe en J. Yntema, Amsterdam 1785
- IV** Vaderlandsche Letteroefeningen: ‘ ’s Gravesande en Voltaire’, C.A.van Sypesteijn 1869
- V** ‘Levensschets W.J. ’s Gravesande’, P.L.Rijke 1878
- VI** ‘Journal littéraire de la Haye’, P.Marchand, H.Alexandre, A.H.de Sallengre, Th.de St.Hyacinthea, J.v.Effen en W.J.'s Gravesande 1713 – 1737
- VII** ‘Newton and the Netherlands - The Man Who Erased Himself’, A.Maas e.a. Leiden Univerity Press 2012
- VIII** ‘The impeccable credentials of an untrained philosopher: Willem Jacob ’s Gravesande's career before his Leiden professorship, 1688-1717’, Jip van Besouw 2016
- IX** ‘Out of Newton’s shadow: an examination of Willem Jacob ’s Gravesande’s scientific methodology’, Jip van Besouw 2017
- X** ‘ ’s Gravesande on the Application of Mathematics in Physics and Philosophy’, Jip van Besouw 2017
- XI** https://nl.wikipedia.org/wiki/Willem_Jacob_%27s_Gravesande
- XII** Museum Boerhaave in Leiden
- XIII** <https://www.dbnl.org>
- XIV** ‘De voorname huizen en gebouwen van 's-Hertogenbosch, alsmede hunne eigenaars of bewoners in vroegere eeuwen’ deel I t/m III, A.F.O. van Sasse van Ysselt 1910-1913
- XV** ‘ ’s-Hertogenbosch: de geschiedenis van een Brabantse stad, 1629- 1990’, A.v.d.Sande e.a. 1997
- XVI** Geboorteregister Den Bosch, gemeentearchief Den Bosch
- XVII** www.grafzerkensintjan.nl
- XVIII** www.erfgoedshertogenbosch.nl
- XIX** [www. bossche-encyclopedie.nl](http://www.bossche-encyclopedie.nl)
- XX** www.groetenuitdenbosch.nl
- XXI** <https://gw.geneanet.org/hoffman>
- XXII** <https://www.nagtegaal.org>
- XXIII** <https://cbgfamiliewapens.nl>
- XXIV** <https://genootschap-heraldiek.nl>

Stamboom van Willem Jacob 's Gravesande

fam. Storm van 's Gravesande (D.)

Laurens
sch. 's-H. 1646 st.j.
* 1605(?) - + 1686('s-H.)

Johanna
van Heurn
* 1612(L.) - + 1668(L.)

Cornelia
Bastings
* 1615 - + 1704(st.j.)

Nicolaas (st.)
Blom
* ca. 1625 - + ?

Frans
Blom
* ? - + 1647

Maria
Sprongh
* ? - + 1648

9 kinderen

Anna

Orthenstr.
Dirk
Theodorus
* 1646('s-H.) - + 1716('s-H.)

Nieuwstr.
Anna Josina
Blom
* 1653('s-H.) - + 1724('s-H.)

Jeremias Blom
sch.-Grave
* ? - + 1742

Nicolaas (jr.)
sch.-st.j. Blom
* ? - + 1680('s-H.)

Nicolaas
* ? - + 1665

8 kinderen

voogdij over

10 kinderen

Orthenstr.
Willem Jacob
's-Gravesande
prof. fysica / filosofie (L.)
* 1688('s-H.) - + 1742(L.)

Pieter
sch.-st.j.
* 1683('s-H.) - + 1725

Ewout (Ewout)
sch.-st.j. Hendrik
* 1685 - + 1750('s-H.)

Jeremias
pres. sch.-st.j.
* 1694 - 1761('s-H.)

● Johanna '83, Ewout '85
Laurens '86, Cornelis Christiaan '90, Nicolaas '92
Nicolaas Ottho '94, Jeremias '94, Isabella Anna '97

● eerste protestantse dopeling van 's-H. (Geerttruijk)

▲ 'stadstimmerman' (o.a. Citadel)

Jacob
* 1725(L.)

Dirk
* 1724(L.) - + 1739('s-H.)

Anna
Sacrelaire
* 1690 - + 1762

LEGENDA:

- * = geboortejaar
- X = is getrouwd met
- + = jaar van overlijden
- 's-H. = Den Bosch
- D. = Delft
- L. = Leiden
- sch. = schepen
- pres. = president-schepen
- st.j. = grafzetk in St. Jan

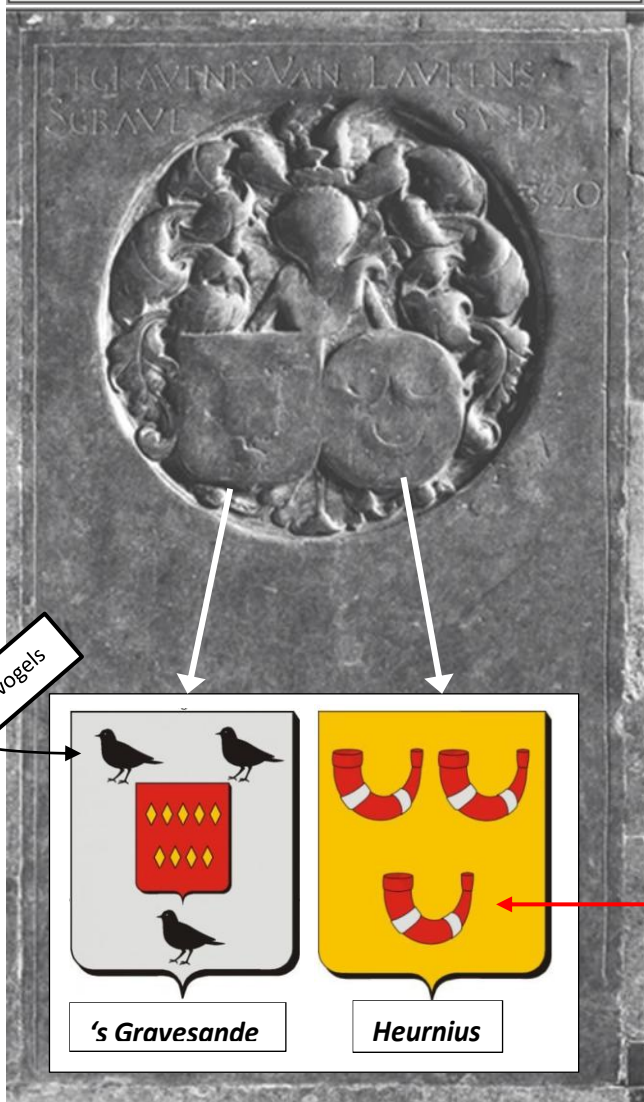
0200712|020524

Grafzerken in de Sint Jan

1. van Laurens: (grootvader van W.J.)

BEGRAVENIS VAN LAVRENS / SGRAVESANDE

- RECHTSBOVEN NAAST DE CIRKEL: 320



2. van Nicolaes Blom sr. (grootvader van W.J.), van echtgenote Cornelia Bastings, en van hun zoon Nicolaas jr.

BEGRAVENIS VAN NICOLAES BLOM CONTRA- / ROLLEUR EN INGENIEUR VAN FORTIFICATIE
/ EN CORNELIA BASTINGIUS SYN HUYSVROU / NICOLAES BLOM HAREN SOONE SCHEPEN /
DESER STADT STERFT DEN X SEPT A° 1680



→ eigenhandig gefotografeerd (Θ-281023):



eigenhandig gefotografeerd (Θ-300324):

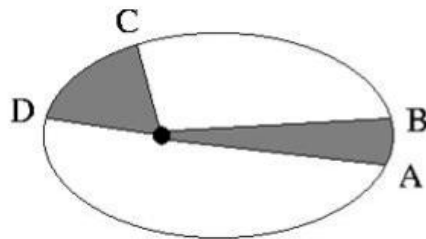


De universele gravitatiewet van Newton en de Derde wet van Kepler

Schouders van reuzen

Het is te danken aan de jarenlange waarnemingen van **Tycho Brahe** (1546-1601) dat zijn leerling **Johannes Kepler** (1571-1630) nieuwe inzichten in de sterrenkunde kon ontwikkelen. Kepler was een begenadigd wiskundige. Alle gegevens van de bewegingen van de planeet Mars die Tycho Brahe gedurende 20 jaar had laten optekenen, gebruikte hij om zijn wiskundige modellen te ontwikkelen. Zo kwam Kepler uit op drie 'wetten':

1. De baan van een planeet beschrijft een ellips, dus geen exacte cirkel.
2. De snelheid van een planeet in haar omloopbaan verandert zodanig dat in gelijke tijdsintervallen de oppervlakten, die daarin bestreken worden door de verbindingslijn (voerstraal) tussen de Zon en de planeet, gelijk zijn. De voerstraal beschrijft dus per tijdseenheid een constant oppervlak/perk, de z.g. *perkenwet*.



De *perkenwet*:

Als een planeet in dezelfde tijd van A naar B gaat als van C naar D, zijn de gearceerde oppervlakken even groot.

79

3. Ook kwam hij tot de (empirische!) bevinding dat het kwadraat van de omlooptijd T van een planeet evenredig is met de derde macht van haar halve lange as r , dus $T^2 : r^3 = \text{constant}$.

Isaac Newton (1642-1727) zal later deze derde wet **theoretisch bevestigen** m.b.v. een combinatie van zijn eigen universele gravitatiewet en de wet van **Christiaan Huygens** (1629-1695) m.b.t. de 'centrifugaalkracht'.

Newton kon daarmee ook de waarde van die *constante* in Keplers derde wet bepalen - zie verderop.

Hij publiceerde in 1687 zijn '*Principia*', waarmee hij het gedachtegoed van Copernicus, Kepler & Galilei, samen met de astronomische data van Brahe, in een definitief model plaatste. Expliciet heeft hij zijn wetenschappelijke voorgangers (en tijdgenoten, zoals Huygens) dank betuigd met zijn beroemde uitspraak:

"Als ik verder heb gekeken dan anderen, dan was dit doordat ik op de schouders van reuzen stond."

Om een idee te krijgen van hoe Newton uiteindelijk aan zijn beroemde gravitatiewet kwam, volgt nu een impressie van zijn zoektocht. Hierbij wordt bij de lezer enige basiskennis van de wiskunde en de mechanica van de cirkelbeweging verondersteld.

Eerst een aantal belangrijke definities en wetten:

F_{mpz} = **m**iddelpuntzoekende kracht, waarvoor geldt:

$$F_{mpz} = \frac{m \cdot v^2}{r}$$

Deze formule is door Christiaan Huygens afgeleid uit

Newton's tweede wet: $F = m \cdot a \rightarrow$ dus geldt: $a = \frac{v^2}{r}$

- definities: F_g = zwaartekracht [N], m = massa [kg], v = baansnelheid [m/s],
 $\hookrightarrow$ van: **g**ravitatie r = straal [m] en a = versnelling [m/s^2]

Algemeen geldt:

$v = \omega \times r$ waarin ω = de hoeksnelheid, in radialen per seconde, met:

$\omega = 2\pi f$, waarin f = frequentie [Hz], en $f = 1/T$,
 met T = omlooptijd [s].

Ook in Newton's tijd was al **uit valproeven** gebleken hoe groot op Aarde de (gemiddelde) gravitatieversnelling (**g**) is: $g = 9,81 m/s^2$, en dus: $F_g = m \cdot g$

Newton gebruikte Keplers **perkenwet** en zijn astronomische metingen, zoals b.v. dat de afstand van de Maan tot de Aarde (r_M) **60x zo groot** is als de aardstraal (R_A) en dat de grootte daarvan is: $R_A = 6,37 \cdot 10^6$ m.

Uit dit alles leidde hij de omlooptijd T_M van de Maan om de Aarde af:

Aangezien de Maan om de Aarde draait moet gelden:

	$F_g = F_{mpz}$
dus (zie boven):	$m \cdot g$ = $m \cdot v^2$ / r
met $v = \omega \times r = \omega r$	$g = (\omega r)^2 / r = \omega^2 r$
met $\omega = 2\pi f$ en $f = 1/T$	$g = (2\pi f)^2 \cdot r = \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 \cdot r$
2 x delen door r	$\frac{g}{r} = \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2$
2 x teller en noemer omkeren	$\frac{r}{g} = \left(\frac{T}{2\pi}\right)^2$
omgewerkt zodat T voorop	$T^2 = (2\pi)^2 \cdot \frac{r}{g} \Rightarrow T = 2\pi \sqrt{\frac{r}{g}}$

Bedenk: deze afleiding deed Newton geheel zonder alle bovenstaande, destijds nog niet bestaande formules!

Toegepast op de Maan vond Newton : $T_M = 2\pi\sqrt{\frac{r_M}{g}} = 0,46$ dagen

Ai, dat klopte natuurlijk totaal niet!

T_M is in werkelijkheid 27,3 dagen.

Maar Newton was te geniaal om 't dan maar op te geven. Hij beseftte dat er ongeveer een factor 60 (i.c. $27,3 : 0,46 \approx 59,4$) verschil zat tussen die twee waarden. Hij ging op zoek in Keplers data en ontdekte dat (bijna) precies diezelfde factor tussen r_M en R_A zit (i.c. $384,4 \cdot 10^6 : 6,371 \cdot 10^6 \approx 60,3$). En toen realiseerde hij zich opeens dat de g -waarde die hij in zijn formule voor T_M had gebruikt, $9,81 \text{ m/s}^2$, alleen op het aardoppervlak geldt. Maar als de zwaartekracht verder van de Aarde afneemt, dan moet — via $F_g = m \cdot g$ — die g -waarde evenveel afnemen. Dus: om T_M 60 x zo groot te laten worden, moet g in de formule voor T_M 60^2 x zo klein worden, of $(r_M / R_A)^2$ x zo klein:

$$\text{Ergo: } g_M = g : (r_M/R_A)^2 = \boxed{g R_A^2 \cdot 1/r_M^2}$$

Dan wordt de zwaartekracht F_g waarmee de Aarde de Maan aantrekt: ↙

$$F_g = m_M \cdot g_M = m_M \cdot \boxed{g R_A^2 \cdot 1/r_M^2}$$

$$\text{of } F_g = g R_A^2 \cdot \frac{m_M}{r_M^2}$$

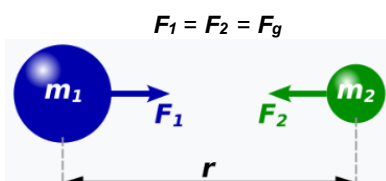
81

Deze laatste formule geëxtrapoleerd naar een aardse massa m op een bepaalde afstand r van de Aarde:

$$F_g = g R_A^2 \cdot \frac{m}{r^2} \Rightarrow$$

Op het aardoppervlak geldt: $r = R_A$, dus dat leidt dan tot: $F_g = m \cdot g$

Afgezien van een constante ($g R_A^2$) hangt de grootte van de zwaartekracht dus slechts af van de massa en de afstand. Dit was voor Newton al een tamelijk verbijsterende ontdekking, maar hij begreep dat dit nog niet alles was. Want andersom trekt de Maan ook de Aarde aan, en op grond van zijn eigen derde wet (kortweg: actie = - reactie) moeten die twee krachten gelijk zijn. Na dit inzicht kostte het Newton nog wat geniaal denk-



werk om tenslotte te concluderen dat beide krachten bijzondere gevallen zijn van de universele gravitatiewet:

$$F_g = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

Hierin is G een *Gravitatieconstante*, waarvan Newton zelf nooit de waarde heeft kunnen bepalen, maar hij beseftte dat die ontzettend klein moest zijn. De zwaartekrachtwerking tussen twee aardse voorwerpen was/is immers totaal niet merkbaar. Ook tegenwoordig nog is die erg moeilijk meetbaar.

Maar inmiddels is van de Aarde de massa (m_A) en de gemiddelde diameter, en dus ook de straal (R_A), nauwkeurig bekend. Die G kan nu dus eenvoudig bepaald worden door de universele gravitatiewet toe te passen op een bekende massa m_1 en de Aarde, met m_A en R_A , waarbij $F_g = m_1 \cdot g$

Zo dus: $F_g = \cancel{m_1} \cdot g = G \cdot \frac{\cancel{m_1} \cdot m_2}{r^2} \Rightarrow G = \frac{R_A^2 \cdot g}{m_A} = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 / \text{kgs}^2$

Het vermoeden van Newton was dus juist: G is inderdaad bijzonder klein.

Verrassend genoeg kan met de simpele vorm van Newtons universele gravitatiewet ook bewezen worden wat Kepler allang had waargenomen: dat de planeetbanen **ellipsvormig** zijn. Daarvoor is wel een pittig stukje wiskunde nodig. Dat is in het kader van dit Deel II iets teveel voor nu. Maar voor de *hardcore*-geïnteresseerden, zie: 'Natuurkunde voor de Middelbare School' van Stephan P. Dinkgreve ©2018.

Nu alleen nog even terug naar die *constante* factor in Keplers derde wet:

Met 'Huygens' en de universele gravitatiewet is die eenvoudig af te leiden. Als het verschil tussen de grootten van de twee massa's m_1 en m_2 erg groot wordt, benadert de ellipsbaan al gauw een cirkelvorm.

Met deze vereenvoudiging kan de *halve lange as van de ellipsbaan* met een gerust hart vervangen worden door *de straal van een cirkel*.

82

Als nu M de massa is van de ster, m de massa van de planeet en r de straal van de cirkelbaan, dan geldt volgens Newton:

Of, iets anders gerangschikt:

$$F_g = G \cdot \frac{m \cdot M}{r^2}$$

$$F_g = \frac{m \cdot GM}{r^2} \quad \text{Volgens Huygens: } F_{\text{mpz}} = \frac{m \cdot v^2}{r}$$

Er geldt weer: $F_{\text{mpz}} = F_g$

$$\frac{\cancel{m} \cdot v^2}{r} = \frac{\cancel{m} \cdot GM}{r^2} \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{waarbij opgemerkt dat Newton er onbewust vanuit} \\ \text{ging dat } \textit{trage} \text{ massa gelijk is aan } \textit{zware} \text{ massa,} \\ \text{iets dat Einstein pas in 1907 expliciet zou bewijzen.} \end{array} \right.$$

$$2 \times \text{delen door } m: \frac{v^2}{r} = \frac{GM}{r^2} \Rightarrow v^2 = \frac{GM}{r}$$

$$v = \frac{2\pi r}{T}$$

De planeet die zijn cirkelbaan ($2\pi r$) doorloopt in zijn omlooptijd (T) heeft een baansnelheid v met:

$$\frac{T^2}{r^3} = \frac{4\pi^2}{GM}$$

Hiermee is het doel bereikt: bepaling van de grootte van **Keplers factor**.

Tot zover de achtergrond van Newtons universele gravitatiewet.

Moderne wiskundige afleiding van de 'kwadratenwet' van Isaac Beeckman

De 'kwadratenwet' van Beeckman kan tamelijk eenvoudig met moderne wiskundige formules en technieken worden afgeleid.

Eerst even wat definities: t = een tijdstip, Δt = tijdinterval $\rightarrow$ in s

Voor de vrije val
(uit stilstand) geldt:

Op $t = 0$ zijn de
afgelegde weg (s_0) en
de beginsnelheid (v_0)
beide gelijk aan 0.

Dus:

$$t = 0 \rightarrow t = \Delta t$$

$$s_0 = 0 \rightarrow s_t = \Delta s$$

$$v_0 = 0 \rightarrow v_t = \Delta v$$

s_t = de afgelegde weg/afstand $\rightarrow$ in m
op een bepaald tijdstip t

Δs = een stukje weg/afstand

v_t = de *momentane* snelheid, $\rightarrow$ in m/s
dus op een bepaald tijdstip t

Δv = de verandering van de snelheid

v_{gem} = de *gemiddelde* snelheid in een
bepaald tijdinterval Δt

a = de versnelling $\rightarrow$ in m/s²

g = de *val*versnelling (= 9,81 m/s²)

Als Δt , Δs en Δv **infinitesimaal** (= oneindig) **klein** zijn,
dan veranderen alle Δ 's in δ 's.

$\int$ = integraal-
symbool

Nu de afleiding:

$$v_{\text{gem}} = \Delta s : \Delta t \rightarrow v_t = \delta s : \delta t \rightarrow s_t = \int \delta s = \int v_t \cdot \delta t \quad [*]$$

Aangezien een versnelling(a) is te definiëren als de snelheids-
verandering(δv) in een bepaald tijdsinterval(δt), dus $a_t = \delta v : \delta t$,
geldt voor de *val*versnelling(g): $g = a_{(t)} = v_t : t \rightarrow v_t = g \cdot t$

(Omdat g een *constante* waarde heeft kan de t in a_t ook weggelaten worden.)

Dit substitueren in [*]: $s_t = \int v_t \cdot \delta t \rightarrow s_t = \int (g \cdot t) \delta t = \frac{1}{2} g t^2$

(Puur wiskundig gezien moet hier eigenlijk
nog een **constante factor** aan worden toe-
gevoegd, maar omdat de val plaatsvindt
uit stilstand is die waarde gelijk aan nul.)

$$s_t = \frac{1}{2} g t^2$$

Hiermee is dus vanzelf de waarde
van c uit de 'kwadratenwet' van
Beeckman gevonden: $c = \frac{1}{2} g$

Voor de vrije val vanaf een bepaalde hoogte h : $h = \frac{1}{2} g \cdot t^2$

De conservator van het Boerhaave Museum, Tiemen Cocquyt, had zijn uiterste best gedaan om de door 's Gravesande nauwkeurig beschreven proefopstelling van zijn *val-in-klei*-proef zo goed mogelijk te kopiëren.

* Specificatie van het materiaal:

$$m_x = 0,100 \text{ kg} \mid m_y = 0,200 \text{ kg} \mid m_z = 0,300 \text{ kg}$$

$$V_x = V_y = V_z \rightarrow \text{met } d = 0,04 \text{ m}$$

$$h_1 = 23,5 \text{ cm} \mid h_2 = 47,0 \text{ cm} \mid h_3 = 70,5 \text{ cm} \mid h_4 = 94,0 \text{ cm}$$



Dus: $\begin{cases} 3 \text{ koperen kogels: } m_x = m \mid m_y = 2m \mid m_z = 3m \\ 4 \text{ hoogten: } h_1 = h \mid h_2 = 2h \mid h_3 = 3h \mid h_4 = 4h \end{cases}$

(Eigenlijk zou dat hier eerst m.b.v. de wetten van Stokes en Bernoulli moeten worden bewezen. Zie verderop.)

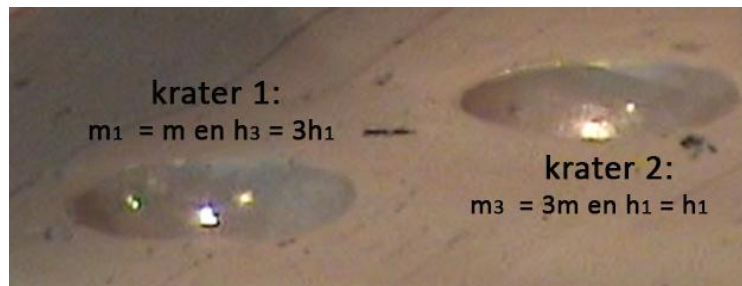
* De luchtwrijving bij deze proef wordt geheel *verwaarloosd*.

De onderzoeksvraag:

Kunnen uit de nieuwe waarnemingen dezelfde conclusies getrokken worden als 's Gravesande deed in 1722?

De resultaten:

➤ Experiment 1:



➤ Experiment 2:



Evaluatie van de resultaten en conclusies:

Experiment 1:

Krater 1 lijkt op de foto *net iets kleiner* dan krater 2, terwijl die twee *volgens Leibniz c.s.* eigenlijk *gelijk* zouden moeten zijn omdat:

$$[\text{met } v = \sqrt{2g \cdot h} \text{ \& } E_{\text{kin}} = \frac{1}{2}mv^2] \rightarrow E_{\text{kin1}} = E_{\text{kin2}} \rightarrow \frac{1}{2} \cdot m \cdot 2 \cdot g \cdot 3h_1 = \frac{1}{2} \cdot 3m \cdot 2 \cdot g \cdot h_1$$

$$\text{maar: } p_1 \neq p_2 \rightarrow [\text{met } p = mv] \rightarrow m \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot 3h_1} \neq 3m \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h_1}$$

$$\sqrt{3} \cdot m \cdot \sqrt{2gh_1} \neq 3 \cdot m \cdot \sqrt{2gh_1}$$

dus $p_1 < p_2 \rightarrow$ verschil: factor 1,72..

Experiment 2:

Krater 3 is op de foto *duidelijk groter* dan krater 4, terwijl die twee **volgens Newton c.s.** eigenlijk *gelijk* zouden moeten zijn omdat:

$$p_1 = p_2 \rightarrow m \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot 4h_1} = 2m \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h_1}$$

Conclusie:

De resultaten lijken 's Gravesandes toenmalige conclusie aardig te bevestigen: **Niet de impuls** bepaalt de inslagdiepte, maar dat 'het effect' van een kracht **wel** wordt bepaald door mv^2 , en **niet** mv , is hiermee niet glashard bewezen! Krater 3 is op de foto wel **duidelijk groter** dan krater 4, maar de vraag is of dat het gevolg is van de *dubbele* kinetische energie ($\frac{1}{2}m \cdot 2g4h_1 = 2 \times \frac{1}{2} \cdot 2m \cdot 2gh_1$).

Maar nu **de moderne theoretische benadering**:

De diepte van de kleiafdruk wordt bepaald door de F_{res} op de klei, waarbij de luchtweerstand $F_{wr,l}$ ook een rol speelt: $F_{res} = F_z - F_{wr,l} = m \cdot g - C \cdot v_e^2$
(v_e is de snelheid waarmee de kogel inslaat)

Bij **Experiment 1**:

Op het moment van inslag geldt: $E_{kin1} = E_{kin2}$. Dus als $m_3 = 3m_1$, dan $v_{e1}^2 = 3v_{e2}^2$

$$F_{res1} = F_{z1} - F_{wr,l1} = m_1 \cdot g - C \cdot v_{e1}^2 \quad \text{en} \quad F_{res2} = F_{z2} - F_{wr,l} = m_2 \cdot g - C \cdot v_{e2}^2$$

$$F_{res1} = m_1 \cdot g - 3C \cdot v_{e2}^2 \quad \text{en} \quad F_{res2} = 3m_1 \cdot g - C \cdot v_{e2}^2$$

Welke van de twee, F_{res1} of F_{res2} , het grootst is, is nu niet meteen duidelijk. Van de een is de luchtweerstand 3x zo groot, maar van de ander is het gewicht 3x zo groot.

86

De luchtweerstand is m.b.v. de meetgegevens te berekenen:

- voor m_1 op h_3 : $4,5 \cdot 10^{-3}$ N op een F_{z1} van 0,98 N (< 5 ‰ !)
- voor m_3 op h_1 : $1,5 \cdot 10^{-4}$ N op een F_{z3} van 2,94 N (0,05 ‰ !)

Conclusie: De luchtweerstand mag worden verwaarloosd. Dat maakt F_{res2} tot de grootste van de twee. Niet vreemd dus dat krater 2 iets dieper is.

De diepte(s) van de krater wordt bepaald door de arbeid(W) die door de klei na de inslag wordt verricht om de kogel tot stilstand te krijgen: $W = \int (F_{wr,klei} \cdot ds)$ waarbij $F_{wr,klei}$ mede bepaald wordt door de inslagkracht F_{res} die weer afhankelijk is van v_e . Dat maakt de zaak niet bepaald gemakkelijker te berekenen.

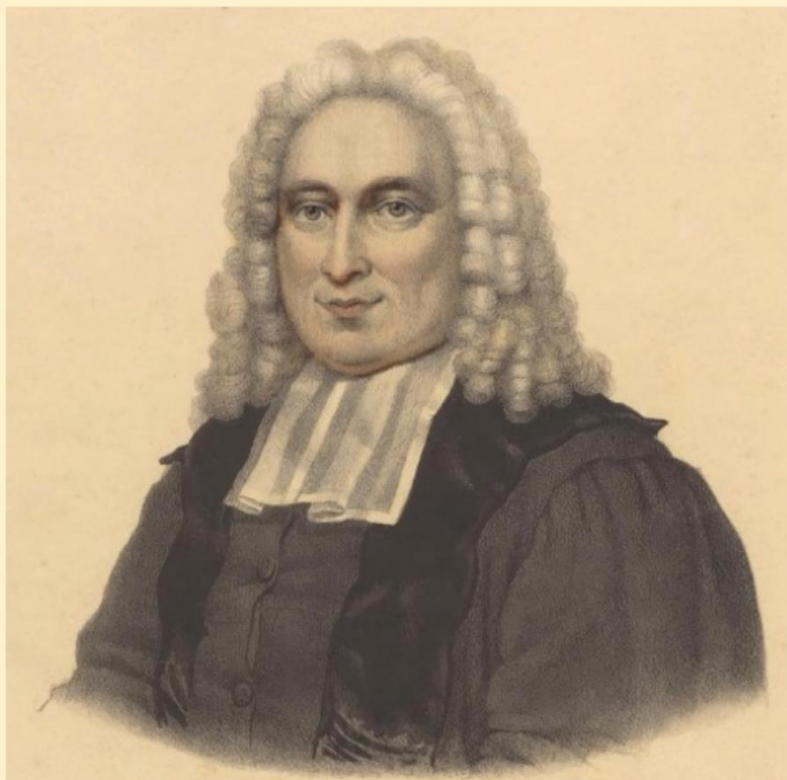
Kortom: het kleine verschil tussen krater 1 en krater 2 is niet zomaar te verklaren.

Eindconclusie

's Gravesande heeft op twijfelachtige grond (drijfzand i.c. klei...) geconcludeerd dat het 'effect van een kracht' wordt bepaald door $m \cdot v^2$. Daarmee gebruikte hij onbewust(!) het begrip 'kinetische energie' (E_{kin}), terwijl het begrip 'kracht' (F) nog niet eens goed gedefinieerd was. Toch was het een belangrijke stap vooruit. Maar die E_{kin} zou pas ruim 85 jaar later kunnen worden **berekend**.

Welke Bosschenaar heeft wel eens van 's Gravesande gehoord?

Niet de Westlandse gemeente 's-Gravenzande, maar Willem Jacob 's Gravesande, de ooit beroemde 18e-eeuwse (natuur)filosoof die in Den Bosch is geboren.



GUL. JAC. 'S GRAVESANDE.

Math. et Astr. Prof. Ord. 2^o 1717. Divin. et Phil. Nat. 3^o 16^{to}. Obiit. 2^o 1742.

Ondanks het feit dat zijn familie diepgeworteld was in de Bossche maatschappij, via het openbaar bestuur, de bouwwereld en het vastgoed, lijkt niemand zijn naam nog te kennen. Toch heeft hij ten tijde van de Verlichting een zeer voorname plaats ingenomen in de internationale wereld van toonaangevende wetenschappers.

Hij lijkt te zijn opgegaan in de mist der vergetelheid. Dat is niet alleen bijzonder sneu voor de man zelf, maar ook voor de stad 's-Hertogenbosch. Of dat nu ligt aan zijn eigen bescheidenheid of aan de stad die zich qua historisch besef bijna volledig heeft vereenzelvigd met zijn beroemdste inwoner Jeroen Bosch, is niet belangrijk. Veel belangrijker is dat Willem Jacob 's Gravesande alsnog de erkenning krijgt die hij verdient: als Beroemde Bosschenaar.

Daar is dit boekje voor bedoeld.



Theo van den Wijngaart is een gepensioneerde natuurkundedocent uit 's-Hertogenbosch met een missie: erkenning voor W.J. 's Gravesande

ISBN 9789090393162

Voor bestellingen van dit boekje:

theo@s-gravesande.nl