

*Citation:*

J.M. Burgers, Levensbericht G.I. Taylor, in:  
Jaarboek, 1975, Amsterdam, pp. 213-217

Levensbericht van

## Sir Geoffrey Ingram Taylor

(7 maart 1886–27 juni 1975)

door J. M. Burgers

Met Sir Geoffrey Ingram Taylor is een wetenschappelijk onderzoeker heengaan, die zich onderscheidde door een zeldzaam helder inzicht in de natuurverschijnselen op het gebied der mechanica en die in bijzondere mate heeft bijgedragen tot verruiming van onze kennis op dit terrein. Dit geldt zowel voor het theoretisch aspect van tal van problemen als voor experimenteel onderzoek. Bij het lezen van zijn publikaties wordt men in beide opzichten getroffen door de rechtstreeksheid in opzet en uitvoering, naast een grote aandacht voor de verzorging van details. In Taylor's werk komt een sterk persoonlijk karakter naar voren, terwijl het tevens getuigenis aflegt van een haast speelse veelzijdigheid. Geen wonder dat men hem als een „amateur par excellence” heeft gekwalificeerd, een die niet oppervlakkig van het ene probleem naar het andere overwipt, doch die wordt voortgedreven door een grote behoefte aan inzicht en die elk probleem dat hij op zijn weg vond tot het einde trachtte door te denken. Van 1919 tot 1923 had hij een positie als lector aan Trinity College in Cambridge (Engeland), doch hij was niet echt geïnteresseerd in college geven wat hem niet lag, en hij gaf dit op toen hij in 1923 door de Royal Society te Londen werd aangesteld als „Yarrow Professor” aan het Cavendish Laboratory te Cambridge. Deze positie gaf hem alle vrijheid in de keuze van onderwerpen waarop hij zijn aandacht wenste te richten. Hij heeft dit professoraat vervuld tot 1951 (zijn 65ste levensjaar). Nooit is hij door een opgelegd programma of voorschrift gebonden geweest, noch in onderzoek, noch in college geven. Daarbij werd zijn geest aangetrokken door problemen op het gebied der mechanica van vloeistoffen en vaste stoffen, en neigde hij veel minder naar de problemen van de moderne atoomfysica of quantumtheorie.

Een opsomming van Taylor's werk, dat meer dan 200 gepubliceerde artikelen omvat (verzameld in vier delen „Scientific Papers”) moet o.m. vermelden:

meteorologische problemen; mengprocessen in de atmosfeer; wrijving welke de aarde ondervindt van de getijden; diffusie als gevolg van onregelmatige bewegingen; turbulentie-theorie; stromingen in roterende vloeistoffen; stromingen in compressibele media en explosiegolven; voortstuwing van micro-organismen; stromingen in dunne vloeistoflagen („vliezen”); en daarnaast het uitgebreide gebied van de plastische deformatie van metalen en andere kristallijnen stoffen, en de rol gespeeld door dislokaties in het atoomrooster in het mogelijk maken van afschuivingsprocessen en in de daarmee veelal gepaard gaande versterking.

Taylor's geest was echter niet alleen op wetenschappelijk onderzoek gericht. Hij was van zijn jeugd af een groot liefhebber van zeilen. Hij was een goed navigator, die dikwijls uitgestrekte tochten maakte in zijn jacht de „Frolic”. Hij vond een bijzonder anker uit (het „C-Q-R” anker), dat bij het slepen over een zand-

bodem zich ingroef en dat een geringer gewicht had dan een gewoon anker. (Later, in samenwerking met W. S. Farren en G. McKerrow, vormde Taylor een kleine vennootschap om zijn uitvinding commercieel te kunnen vervaardigen; het werd o.a. door de Britse Marine bij kleine boten toegepast).

Een zekere lust tot avontuur was hem niet vreemd. Toen hij in 1929 door de Royal Society te Londen was afgevaardigd naar het in Bandung gehouden Pan Pacific Congress, heeft hij het klaargespeeld om, ondanks de aarzelingen van de Nederlandse overheid, met zijn vrouw een tocht te maken door het binnenland van Borneo (Kalimantan), waarbij hij voor een deel hulp kreeg van Rajah Brook van Serawak. Later gingen G. I. en Mrs. Taylor naar Japan en maakten daar een tocht naar afgelegen dorpjes, met overnachting in kleine herbergjes langs de weg.

G. I. Taylor was geboren 7 maart 1886 in St. John's Wood in het Noordwesten van Londen. Zijn vader was een succesrijk schilder van landschappen en van decoratiewerk, die op latere leeftijd bijzonder mooie potloodstudies maakte van wilde bloemen. Zijn moeder was een dochter van de mathematicus George Boole. Een zuster van zijn moeder (dus een tante van G. I.) was Mrs. Alice Stott-Boole, die in haar meisjesjaren een haast wonderbaarlijk inzicht had ontwikkeld in de vormen van de regelmatige lichamen in de vierdimensionale meetkunde. Zij had omstreeks de jaren 1880-1890 modellen gemaakt van de series van doorsneden welke een regelmatig polytoop van 600 cellen kon maken met een driedimensionale ruimte. Zij kwam daarna in contact met professor P. H. Schoute te Groningen, aan wie zij foto's zond van haar modellen. Hieruit is een vruchtbare samenwerking gegroeid, al kon Schoute evenmin begrijpen hoe Mrs. Stott de doorsneden had „gezien”, als Mrs. Stott de mathematische analyses van Schoute kon volgen. Aan Mrs. Alice Stott-Boole is op 1 juli 1914, ter gelegenheid van het 300-jarig bestaan der Groningse Universiteit, het doctoraat honoris causa verleend. De modellen zijn nog in de verzamelingen van de Groningse Universiteit aanwezig. – Beide vrouwen, de moeder en de tante van G. I., hebben invloed gehad op zijn jeugdige ontwikkeling en hebben meegezwogen in verschillende van zijn experimenten uit die periode.

Het is slechts mogelijk om enkele grepen uit Taylor's omvangrijke wetenschappelijk oeuvre naar voren te brengen en korthed is hierbij geboden. Als eerste moge genoemd worden het onderzoek naar de *stabiliteit van de stroming van een viskeuze vloeistof tussen twee co-axiale roterende cylinders* (1923). Dit is een stuk klassieke hydrodynamica waarbij het gaat om te onderzoeken wanneer een aanvankelijk infinitesimale storing, gesuperponeerd op de stationaire laminaire stroming tussen twee co-axiale met ongelijke hoeksnelheden roterende cilindrs, zal gaan aangroeien en een eigen karakter aannemen. Het gedrag van de storing wordt bepaald door een stelsel van homogene lineaire differentiaalvergelijkingen met een daarbij behorend eigenwaardeprobleem. De mogelijkheid tot het optreden van instabiliteit is gegeven door de mogelijkheid van een gemis aan evenwicht in de verdeling der centrifugaalkrachten in het veld. Statistische problemen doen zich hierbij niet voor. Dat deze studie zo zeer de aandacht heeft getrokken (en dit nog steeds doet) vindt zijn oorzaak in het feit dat het hier gaat om een van de weinige gevallen waarin – na uitvoerige mathematische bewerkingen – een in numerieke vorm uitgewerkt resultaat kon worden verkregen dat door een nauwgezet en zorgvuldig uitgevoerd experimenteel onderzoek geheel werd bevestigd.

De lezer van de uitvoerige publikatie weet niet wat meer te bewonderen: het hanteren van reeksen Bessel-functies of de opbouw van de experimentele apparatuur.

Eigenschappen van roterende stromingsvelden hebben Taylor ook in andere opzichten gefascineerd. Een theorema van Proudman, onafhankelijk van dezen ook door Taylor zelf gevonden, leert dat elke langzame stroming gesuperponeerd op een veld in uniforme rotatie tweedimensionaal moet zijn. Dit wil hier zeggen dat een lijn van vloeistofdeeltjes parallel aan de rotatie-as deze stand zal blijven behouden wanneer zij door het veld wordt meegevoerd. Taylor vond verscheidene gevallen welke experimenteel getoetst konden worden in een tank met roterende vloeistof. Een treffend voorbeeld levert een bol die langzaam wordt voortbewogen in een roterende bak met water, langs een lijn loodrecht op de rotatie-as. Het blijkt dan dat een verticale cilindrische kolom vloeistof met dezelfde diameter als de bol, met deze meebeweegt alsof zij een cilindrisch met de bol verbonden vast lichaam was. Dit experiment, met enige andere, alle op ingenieuze wijze met eenvoudige hulpmiddelen ineengezet, is door Taylor herhaaldelijk vertoond, o.a. in April 1924 op het eerste Internationale Congres voor Toegepaste Mechanica in Delft, waarvoor een kist met instrumenten was meegebracht en waarbij hij de assistentie had van Miss Constance F. Elam (later Mrs. C. F. Tipper).

Bij deze studies ging het niet om een mysterie van de fysica op te sporen, doch om nieuwe consequenties van de klassieke hydrodynamica te leren kennen en te verifiëren. Taylor's aandacht voor dergelijke bewegingsvormen zette deze in een klaar licht en verruimde onze kennis van bijzondere stromingsvelden. In latere jaren was dit evenzeer het geval met zijn studie over stromingen en golfbewegingen in dunne lagen of vliezen van een stromende vloeistof.

Baanbrekend is Taylor's werk geweest op het gebied van de turbulente stromingen, werk dat begonnen is met studies over zg. „eddy motions” in de atmosfeer. Een van de belangrijke punten is geweest het op de voorgrond brengen van correlatie-functies en de toepassing daarvan in de plaats van het vage begrip „vermengingsweg” dat door hydrodynamici was ingevoerd naar aanleiding van het begrip van een gemiddelde vrije weglengte in de kinetische gastheorie. Een aspect van deze functies betreft de correlatie  $R(t)$  tussen de snelheid van een vloeistofdeeltje op een tijdstip  $t_0$  en de snelheid van datzelfde deeltje op het tijdstip  $t_0 + t$  (z.g. „Lagrange-correlatie”), zo gedefinieerd dat de functie  $R(t)$  gelijk aan 1 is voor  $t = 0$ . In een veld dat statistisch gezien, stationair is, is  $R(t)$  onafhankelijk van keuze van  $t_0$ . De correlatie wordt kleiner dan 1 voor  $t > 0$ , en nadert tot nul voor waarden van  $t$  boven een zekere grens. Deze grens geeft, na vermenigvuldigd te zijn met de kwadratische gemiddelde snelheid van het beschouwde stromingsveld, een karakteristieke lengte welke het vage begrip van een vermengingsweg kan vervangen.

Een andere vorm van correlatie (de z.g. „Euler-correlatie”) is die tussen de snelheden in het veld op eenzelfde tijdstip in twee verschillende punten gemeten. Hieruit kunnen grootheden worden afgeleid maatgevend voor wat men zou kunnen noemen de „grootte van de wervels of eddies” in het turbulente stromingsveld. Daarbij is de kleinste afmeting van belang voor de dissipatie van de in het veld aanwezige kinetische energie door de viscositeit van het medium.

Taylor heeft in belangrijke mate bijgedragen tot de analyse van de eigenschappen van deze functies en van hun onderlinge samenhang, waaraan overigens ook vele

andere namen zijn verbonden, zoals die van von Karman en Kolmogoroff. De relaties worden gecompliceerd door het drie-dimensionale karakter van het veld, zodat gelet moet worden op drie snelheidscomponenten en op de omstandigheid dat de ligging van de twee punten waarvoor een Euler-correlatie wordt gezocht, door drie coördinaatsverschillen wordt bepaald. Bijzondere punten van het onderzoek hebben voorts betrekking op het energiespectrum van de turbulentie en op het verband van de correlatiefuncties met de grootheden die de overdracht van impuls bepalen (de z.g. „Reynolds stresses”).

Taylor werkte ook op het gebied van stromingen met compressibiliteit. O.a. maakte hij daarbij gebruik van een analogie van een twee-dimensionaal stromingsveld om een draagvlakprofiel, met een elektrisch veld in een tank gevuld met een elektrolyt, waarvan de uit paraffine vervaardigde bodem zo kon worden uitgesneden dat de diepte van de vloeistof evenredig was met de dichtheid van het stromende medium (of, voor andere gevallen, omgekeerd evenredig). Door het meten van de elektrische potentiaal op allerlei punten van het veld konden benaderingsoplossingen worden verkregen voor het stromingsveld; hieruit konden exacte oplossingen door middel van successieve stappen worden afgeleid.

In 1945 werkte Taylor voor 6 maanden in Los Alamos. Daarmede houden enige publikaties over sferische explosiegolven verband.

Na deze, uiteraard zeer beperkte keuze van onderwerpen uit Taylor's hydrodynamische werk, moge nog een woord volgen over zijn bijdragen tot de theorie van de plastische deformatie van metaalkristallen. Naar ik eens van hemzelf heb vernomen, moet het bijwonen van een voordracht van Professor H. C. H. Carpenter en Miss C. F. Elam omstreeks 1920 hem aanleiding hebben gegeven om zich met deze problemen te gaan bezig houden. Hierbij richtte hij zijn aandacht eerst op het uitwerken van een meetmethode voor het verkrijgen van de lineaire vergelijkingen welke de homogene deformatie van een éénkristal beschrijven. Röntgen-opnamen konden daarbij de positie der kristallografische assen vóór en na de deformatie geven, en daarmede was de mogelijkheid verkregen voor het vaststellen van de glijrichting en het glijvlak (of de glijvlakken, wanneer meerdere in actie waren gekomen). Hiertoe dienende metingen zijn uitgevoerd door Miss Elam, voor aluminium, ijzer en koper, en later door W. S. Farren en H. Quinney ook voor aluminium en ijzer. Taylor sprak hierover op het Tweede Internationale Mechanica-Congres te Zürich in 1926. Deformatie van metaalkristallen was alreeds ter sprake gekomen op het eerste Congres te Delft in 1924, en de problemen van de lage vloeigrens in kristallen met een bijna ongestoord atoomrooster, welke vloeigrens sterk opliep met toenemende deformatie (de z.g. „versteving”) hielden vele onderzoekers bezig. In 1934 kwamen drie auteurs, E. Orowan, M. Polanyi en G. I. Taylor bijna gelijktijdig naar voren met de gedachte dat de oplossing moest worden gezocht in de aanwezigheid van zekere structuurfouten in het rooster, zg. „dislokaties”. Taylor's publikatie gaf de meest ver gaande analyse en vestigde de aandacht op een bepaald type van structuurfout, de gemakkelijk verplaatsbare „rand-dislokatie” of „Taylor-dislokatie”, welke kon dienen ter verklaring van glijprocessen in twee-dimensionale systemen. De introductie van stelsels van dergelijke Taylor-dislokaties heeft snel doorgewerkt: van tal van zijden kwamen studies over de eigenschappen van dergelijke stelsels, de krachten die dislokaties op elkander kunnen uitoefenen, de generatie van nieuwe

dislokaties in deformatie-processen, en over de obstructie die zij kunnen vormen tegen verplaatsingen van andere dislokaties. Taylor zelf ontwierp een beschouwing die het mogelijk maakte het oplopen van de vloeigrens met toenemende deformatie te verklaren, welke theorie later echter aangevallen is. Uitbreiding van de theorie tot drie-dimensionale structuren maakte het nodig ook nog een ander type van dislokaties, de „schroef-dislokatie” in te voeren. Ontegengesteld heeft Taylor's werk op dit terrein zeer stimulerend gewerkt en talrijk zijn de publikaties en boeken waarin dit uitdrukking heeft gevonden.

Taylor sprak over „The Strength of Crystals of Pure Metals and of Rock Salt” op het Vierde Mechanica-Congres te Cambridge (Engeland) in 1934. Zijn aandacht voor dit terrein is daarna echter verminderd. Enkele publikaties volgden nog in 1938, 1947 en 1950; doch zijn werk ligt dan hoofdzakelijk weer op hydro- en aerodynamische problemen.

Aan G. I. Taylor zijn gedurende zijn lange wetenschappelijke loopbaan vele eerbewijzen, medailles en ere-lidmaatschappen ten deel gevallen. „Knighthood” kwam in 1944, en de „Order of Merit” in 1969. Hij werd tot buitenlands lid van onze Akademie gekozen in april 1940, welke benoeming de koninklijke bekrachtiging ontving op 9 mei 1940, juist vóórdat de oorlog over Nederland kwam. Hij overleed 27 juni 1975, na in 1972 door een attaque te zijn getroffen die aan de linkerzijde een verlamming teweegbracht. Hij was gehuwd in 1925 met Miss Stephanie Ravenhill. Lady Taylor is in 1967 overleden.

Uitgebreed is de vriendenkring, over vele landen verspreid, die zich om hem heen had gevormd en waarvan zijn unieke persoonlijkheid het centrum en de aantrekkingskracht was. Met hem is een bijzonder mens uit ons midden weggevallen.

De kwestie van Taylor's „amateurisme” heeft zowel hemzelf als verscheidene van zijn vele vrienden bezig gehouden. De volgende publikaties mogen hier genoemd worden als gevende een indruk van zijn persoonlijkheid:

*G. I. Taylor*, „Scientific Diversions”, in „Man, Science, Learning and Education”, edited by S. W. Higginbotham, Rice University Publications 1962 (o.a. over Mrs. Alice Stott en over de meteoroloog W. H. Dines);

*G. I. Taylor*, „Amateur Scientists”, Michigan Quarterly Review, vol. VIII, April 1969 (nog eens over W. H. Dines, over Mrs. Alice Stott, en over Taylor's eerste jeugdige navigatie-ervaringen);

*G. I. Taylor*, „Memories of von Karman”, SIAM Review, vol. 15, April 1973;

*G. I. Taylor*, „Aeronautics before 1919”, Bull. Institute Mathem. and its Applications, vol. 10, Sept./Oct. 1974, pp. 363-366;

*G. I. Taylor*, „The Interaction between Experiment and Theory in Fluid Mechanics”, Ann. Review of Fluid Mechanics, vol 6, pp. 1-16, 1974 (o.a. over bewegingen in roterende vloeistoffen en in vloeistof-vliezen);

*G. K. Batchelor*, „An Unfinished Dialogue with G. I. Taylor”, J. Fluid Mechanics, vol. 70, pp. 625-638, 1975 (over Taylor's wijze van denken);

*R. V. Southwell*, „G. I. Taylor, : A Biographical Note”, in „Surveys in Mechanics” (G. I. Taylor 70th Anniversary Volume), Cambridge 1956, pp. 1-6.

Voor gegevens omtrent de ere-promotie van Mrs. Alice Stott-Boole ben ik dank verschuldigd aan Professor H. Brinkman te Groningen; en voor enige gegevens omtrent Taylor zelf aan Dr. G. K. Batchelor te Cambridge, die bezig is een uitvoerig levensbericht voor de Royal Society samen te stellen, dat in het einde van 1976 zal uitkomen.