

GENIALITEIT IN DE NATUURWETENSCHAPPEN

J. Kommandeur

Mozart, Haussmann, Lorentz, Bach, Einstein, Huizinga, Rembrandt, Balzac, Linnaeus, Freud, Macchiavelli, Bohr, Beethoven, Geyl, Da Vinci, Eisenstein, Kan, Gausz, Mahler, Gaudi, Huygens, Van Gogh, Shaw, Russell, Kepler, Gorbachew, Kloos, Meyers, Da Vinci, Herodotus, Mohamed, Olivier, Thorbecke, Virgilius, Darwin, Churchill, Magritte, Dostoiewsky, Schubert, Montesquieu, Lloyd Wright, Mandela, Descartes, Homerus, Keynes, Christus, Newton, Shakespeare, Plato, Dante, Carnot, Confucius, Euler, Archimedes, Pauling, Aristoteles, Stokes, Schwarzschild, Lagrange, Hamilton, Leibniz, Mendelejew, Nernst en Maimonides.

Het is nu niet de bedoeling U te vragen wie in het rijtje niet thuis hoort. Nee, het zijn gewoon de namen van de mensen, waarvan of waarover ik iets gelezen heb, die ik heb meegemaakt of waarvan ik iets heb ondervonden, en waarop anderen ooit het etiket 'geniaal' hebben geplakt.

Teruglezend zie ik, dat tegen het einde de natuurwetenschappers in aantal toenemen. Je kan je nog zo breed opstellen, je afkomst verloochenen je niet. De lezer kan trouwens een leuk spel spelen. Hij kan eens nagaan welke namen hij wel en welke namen hij niet kent. Ik wed, dat de onbekenden bijna allemaal natuurwetenschappelijke genieën zijn.¹ Dat kan dan zowel zijn tekortkoming als de mijne zijn. We hebben nu een keer twee culturen, en "never the twain will meet", om zowel talen als methaphoren te mengen.

Genialiteit dus. Dat vraagt om een definitie. Maar hoe definieer je dat? Knap op school? Knap in de studie? (Hoe definieer je *dat* trouwens?) Knap in z'n vak? Op jonge leeftijd? Of later? Je kunt proberen het woord genialiteit tot andere woorden terug te brengen, maar dan moet je die weer definiëren. Wiskunde lijkt me makkelijker! Daar doe je het redelijk objectief.

Toch bestaat genialiteit, anders hadden we het woord niet. Iemand, die het gebruikt, denkt dat hij weet wat het betekent. Het heeft met de geest te maken. Je kan wel een geniale voetballer genoemd worden, maar dat is dan niet omdat je zo goed kan pingelen. Ze worden geniaal genoemd omdat ze goed kunnen spelverdelen, de tactiek beheersen. De lichamelijke prestatie is nodig, maar niet voldoende voor genialiteit. En dat geldt eigenlijk voor het hele rijtje hierboven.

¹ Aan het einde van dit stukje vindt U een lijstje met de reden van hun beroemdheid.

Ze beheersten allemaal een métier, maar hadden nog iets extra's, anders wisten we hun naam niet eens.

Toch kun je over de qualificatie 'genie' van mening verschillen. De lezer heeft vast wel een paar namen geschraapt uit mijn rijtje. Ik dacht wel, dat het een genie was, hij niet. Dat ze hun vak verstonden is hij vast wel met mij eens, maar ze hadden in zijn ogen niet voldoende extra.

Het helpt als ze dood zijn. Dan kun je tenminste over alles wat ze hebben gedaan oordelen. Neem Gorbachew, een nog levende. Er kan, zeker nu, nog van alles om hem heen of door hem gebeuren dat grote afbraak aan zijn reputatie doet. Toch is hij voor mij nu een genie, want hoe je met zijn ideeën in dat toch wel zeer walgelijke systeem boven kon komen drijven is mij een raadsel. Dat vraagt genialiteit in de strijd om de macht. Maar een echt oordeel zullen we pas hebben als hij is uitgespeeld.

Er blijken trouwens maar drie levenden in mijn rijtje te zijn. Een andere is Pauling maar die is dan ook al 85 jaar. We kunnen gevoeglijk aannemen, dat hij niet nog eens een significante bijdrage aan de wetenschap der chemie zal leveren. En ook Mandela schiet al aardig op. Ook voor alle anderen hebben we het overzicht en alleen al het feit dat hun namen geboekstaafd zijn geeft een garantie dat we niet de enigen zijn die hem als geniaal erkennen. Hem, ja 't zijn, merk ik nu, allemaal mannen! Wie maakt er zo'n rijtje vrouwen?

Het is natuurlijk ook wel erg cultuur bepaald. Het lijkt mij, dat het rijtje van een Chinese professor in de scheikunde heel anders zou zijn, en dat van een Arabische ook. En hoe zit het met genieën in culturen, die we niet of nauwelijks meer kennen? Iemand heeft toch ooit het wiel uitgevonden, alleen de oude Egyptenaren niet. En nóg vroeger ontdekte er een het gebruik van vuur, misschien wel de eerste chemicus.

Genoeg gerelativeerd, het gaat erom wat wij ervan vinden. Wij, op dit moment, in deze cultuur. En wij, ja dat zijn we min of meer allemaal. Min of meer, want wie weet (nog), dat Meyers een groot rechtsgeleerde was? En wie van U kende de naam van Euler, een groot wiskundige? Toch waren dat in hun vak genieën. Het is dus niet nodig, dat wij in onze cultuur, allemaal vinden dat iemand een genie was. Het is voldoende als een groep van een minimale grootte dat vindt. Ook dat is echter nog niet een voldoende karakteristiek. Er was een redelijk grote groep, die de Bagwan geniaal vond, maar in mijn rijtje komt hij niet voor. Om van Hitler maar niet te spreken.

De groep, die iemand geniaal vindt, moet kundig zijn, een voldoende achtergrond hebben om de prestaties te waarderen. Maar het blijft zo, dat anderen het moeten zeggen. Elkeen, die zichzelf geniaal noemt, is het niet.

We komen dichterbij. Weliswaar hebben we geen definitie van genialiteit, maar we stellen wel vast, dat het etiket van anderen afkomstig moet zijn dan van het genie zelf. Dat kan tot problemen leiden. Het is maar de vraag of de gemiddelde Rus Gorbachew een genie vindt. En ook over schilders als Magritte en Van Gogh zijn vroeger in elk geval de meningen verdeeld geweest. En hoe zit het met mensen, die in hun eigen tijd geniaal werden gevonden, maar waarvan we zelfs de namen nu niet of nauwelijks meer kennen? Het zou toch wel erg prettig zijn als we naast de *communis opinio* nog een ander criterium hadden. Bijvoorbeeld, had het genie gelijk? Was het allemaal werkelijk zo als hij het bedacht had?

Dat is een heel sterk criterium. Er vallen nu een heleboel namen af. Had Plato 'gelijk', toen hij de *Republiek* schreef? Kan een schilder, een dichter 'gelijk'

hebben? Hoe zou je dat uitmaken? Hun namen mogen dan in een bepaalde (desnoods beperkte) *communis opinio* een grote rol spelen, de vraag: "Hadden zij gelijk" is niet van toepassing. En nu komen de natuurwetenschappers er beter af. Einstein had inderdaad gelijk toen hij voorspelde dat licht door de zon zou worden afgebogen. Newton had het bij het rechte eind toen hij stelde, dat de gravitatiekracht omgekeerd evenredig met het kwadraat van de afstand tussen twee objecten is. En Paulings gok van de α -helix structuur van eiwitten bleek later inderdaad correct te zijn geweest. Ook Keplers notie, dat de aarde en de planeten om de zon draaiden, bleek de eenvoudigste interpretatie van de bewegingen in het nabije heelal te zijn. Een natuurwetenschapper kan gelijk krijgen, een dichter niet.

Nee, een dichter niet, en een schilder ook niet. Maar hoe zit het met een econoom? Heeft Keynes 'gelijk' gekregen? Niet echt natuurlijk. Hij had een economische theorie, maar eigenlijk was het een recept. Als je zus deed zou er dat gebeuren. Maar zus doen is niet zo gemakkelijk in een levende maatschappij. 'Ze' doen niet zo maar zus, in elk geval niet precies zus. Tja, en dan kun je ook niet verwachten, dat er altijd 'zo' gebeurt. Keynes was misschien wel een genie, maar 'gelijk krijgen' was er niet bij. Hetzelfde geldt voor filosofen, historici, psychologen en sociale wetenschappers. Ze houden zich met de mens of met mensen bezig. En die zijn nou eenmaal eigenwijs. Doen niet, of hebben niet gedaan, wat de wetenschapper zegt en gelijk krijgt hij dus niet.

Voor de natuurwetenschapper, althans voor de fysicus en de chemicus ligt dat anders. Hij doet een voorspelling, en een experiment ontkent of bevestigt deze. Of andersom: hij doet een proef, trekt daaruit een conclusie, en kan dan via een redenering voorspellen wat andere proeven moeten opleveren. En de natuur is een harde leermeester, een harde beoordelaar ook. Resultaten, die de theorie bevestigen maken de voorspeller beroemd (voor mijn part een genie), en als ze dat niet doen, dan wordt hij vergeten, hij kreeg geen gelijk.

Tenminste, dat geldt voor een deel van de natuurwetenschappelijke bedrijvigheid. De empirie heeft het laatste woord. Maar er is nogal wat 'natuurwetenschap', die niet echt empirisch is, het niet kan zijn. Neem bijvoorbeeld de evolutietheorie uit de biologie. Hadden Darwin, en allen die de theorie later verfijnden, gelijk? Of: "Is het werkelijk zo gegaan?" Talloos zijn de aangedragen bewijzen, maar het is altijd 'circumstantial evidence'. De echte proef, het proces herhalen, is er niet bij. Hetzelfde geldt voor het ontstaan van het heelal. We hebben er mooie theorieën over, die heel veel van de huidige situatie beschrijven. Maar alweer: overdoen is er niet bij. De echte empirie ontbreekt. Is daarom Hoyle, die een alternatief had voor het, 'standaard model' van de *Big Bang*, geen genie? Omdat de '*communis opinio*', zij het met enige reserveringen het 'standaard model' omhelsd heeft? Het was toch heel slim bedacht van Hoyle. En Lamarque, die zijn uiterste best deed die theorie van Darwin en adepten te ontzenuwen, was die ook geen genie? Nee, hij was het niet, want hij kreeg, evenmin als Hoyle, 'gelijk'. En in dit geval betekent het, dat de '*communis opinio*' wegende alle evidentie, de voorkeur gaf aan de anderen.

We raken een beetje in de war. We waren veilig met ons begrip van genialiteit. Fysici (en chemici) waren geniaal als hun boude voorspellingen door empirie werden bevestigd. Maar nu begint dat bouwwerk al wat te wankelen.

Hoe zit het met wiskundigen? Zij houden zich weliswaar niet met de natuur bezig, maar horen gevoelsmatig toch een beetje bij de natuurwetenschap thuis. We krijgen meteen een probleem. Bestaat de wiskunde al en wordt zij ontdekt,

of wordt zij door de mensen verzonnen? In het eerste geval zijn wiskundigen eigenlijk natuurwetenschappers, in het tweede zijn ze meer als dichters en schilders. Dan scheppen ze immers iets dat vooreer niet bestond. Krijgen ze ook 'gelijk'? Soms grappig genoeg wel. In de wiskunde mag je een 'vermoeden' uiten. Je vermoedt dat een bepaalde stelling waar is, dat wil zeggen bewezen kan worden, maar je kan het niet bewijzen, je kunt het hooguit plausibel maken. Soms krijg je dan achteraf 'gelijk'. Iemand bewijst later dat je vermoeden juist was. Toch heb ik niet het vermoeden dat de uiters van 'vermoedens' tot de genieën van de wiskunde gerekend worden. Nee, dan kun je beter bij Newton, Leibniz, Laplace, Euler of Gödel wezen. Ze hadden wel vermoedens, maar bewezen die zelf. Gaven zichzelf gelijk. Alleen maar een vermoeden uiten is eigenlijk een *testimonium paupertatis*: "Ik kan het niet bewijzen".

Wat zou het dan zijn, dat een wiskundige tot een genie maakt? Ik denk het nieuwe, de nieuwe ontdekking. En dan vooral in een abstract gebied. Daarmee beken ik meteen dat ik denk dat de wiskunde al bestaat en dus ontdekt kan worden. Wiskunde is toch een soort natuurwetenschap, de wetenschap van een heel abstracte natuur. Anders zou het ook een té groot wonder zijn, dat de natuur 'gehoorzaamt' aan de wiskunde, dat er altijd een stuk wiskunde bekend is of wordt ontdekt, dat de natuurwetenschappelijke verschijnselen aan elkaar knoopt.

Dan is een genie in de wiskunde dus ook iemand, die gelijk krijgt. Hij doet iets, ontdekt volgens de regels van het spel nieuwe wiskunde, en er komt later niemand die zijn ongelijk bewijst. Leuk, het omgekeerde criterium werkt hier beter.

Ik heb trouwens nu iets aan het criterium toegevoegd. Je moet niet alleen maar gelijk krijgen, maar je moet ook over iets nieuws gelijk krijgen. De vakman, die iets uit bestaande theorieën voorspelt, is daardoor geen genie. Maar als hij met nieuwe theorieën iets voorspelt, en als dat nog uitkomt ook, begint hij voor de qualificatie genie in aanmerking te komen.

Alleen met theorieën? Niet met experimenten? Nee, als het experiment niet uit een theoretische overweging of zelfs alleen maar een theoretisch vermoeden voortkomt, is de experimentator niet zo maar een genie, al zijn de resultaten zeer onverwacht. Een recent voorbeeld. In december 1989 stond in het top-tijdschrift *Physical Review Letters* een mededeling van twee Japanners, dat zij gemeten hadden dat een rechtsom draaiende gyroscoop (zeg maar een tol) evenredig aan de draaisnelheid lichter werd in gewicht, terwijl met een linksom draaiende gyroscoop geen enkele verlichting of verzwaring gemeten kon worden. Nu kom je niet zo maar met een mededeling in *Physical Review Letters*. Er is een zware referentie-procedure. Het kostte hen dan ook anderhalf jaar om het stukje geaccepteerd te krijgen. Als de observatie bevestigd wordt, moet er iets fundamenteels aan de uitgangspunten van de natuurkunde veranderd of toegevoegd worden. Zij (de Japanners) zouden dan de eersten zijn die dit hadden gevonden en gerapporteerd, maar aangezien er (althans in de mededeling) geen theoretische overwegingen aan de proef ten grondslag lagen zijn ze nog geen genieën. Ze deden een raar experiment, wie weegt er nou een draaiende gyroscoop als er geen enkele aanleiding is iets bijzonders te

verwachten? Misschien krijgen ze toch wel de Nobelprijs, al eist die zowel een experimentele als een theoretische prestatie.²

Twee genieën

We zijn toch wel een eindje opgeschoten in onze karakteristiek van genieën. Ze moeten iets nieuws bedenken en nog gelijk krijgen ook. Althans, vakgenoten moeten dat vinden. Laten we dit eens toetsen aan een tweetal historische figuren: Isaac Newton en Albert Einstein. Binnen de natuurwetenschap bestaat geen twijfel over hun genialiteit en ook buiten het vakgebied zijn hun namen genoegzaam bekend. Maar waarop berust hun reputatie? Het lijkt mij zinvol te trachten dat (nog eens, het is al vele malen gedaan) te beschrijven, en hun werk dan te toetsen aan de criteria die we hebben geformuleerd. Bovendien komt dat tegemoet aan mijn schoolmeestersdrang iets van de schoonheid van de natuurwetenschap aan mensen buiten de eigen kring over te dragen. Ik wens de lezer veel sterkte!

Isaac Newton, geboren 25/12/1642 (een Kerstkind!) in Woolsthorpe in Lincolnshire, Engeland. Hij groeide op in een redelijk welvarende boerenfamilie, als telg van een ambitieus geslacht. Zijn vader was reeds voor zijn geboorte gestorven. Zijn moeder was een Ayscough, een half-adellijke familie uit County Rutland. Hij werd door zijn moeders familie groot gebracht, een belangrijke factor daarin was een oom, de Reverend William Ayscough, die twee mijl van zijn huis een parochie leidde. Deze had veel invloed op de scholing (hoofdzakelijk in Latijn en Grieks!) van de jonge halfwees.

Isaac was een stille, gesloten jongen. In zijn vrije tijd hield hij zich bezig met de constructie van windmolens, tredmolens voor muizen en een lantaarn die aan een vlieger opgelaten kon worden. Het nachtelijk verschijnsel vervulde de burens met grote angst!

Op zijn achttiende jaar ging hij naar Cambridge, waar hij doorging met zijn scholing in de klassieken, in het bijzonder in de Aristoteliaanse logica en ethica. Het curriculum was nog goeddeels middeleeuws van karakter, gaf hem weinig moeite, en hij wendde zich tot allerlei andere disciplines van die tijd, zoals astrologie, fonetiek en stenografie, een algemene, symbolische op de filosofie gerichte taal en de mechanica, zoals beschreven door Galilei.

Voor al het laatste onderwerp gaf hem aanleiding tot het stellen van vragen. Gespaard is gebleven een serie aantekeningen getiteld *Quaestiones*, die eigenlijk niets anders zijn dan vragen die wij tegenwoordig na een lezing zouden stellen. Vragen aan de auteurs dus, vragen die hen ongetwijfeld in verlegenheid gebracht zouden hebben. Zo dacht men in die tijd dat de zwaartekracht werd veroorzaakt door een stroom onzichtbare deeltjes, die continu op de aarde vielen. Objecten vielen naar beneden, omdat ze daar door de stroom naar toe werden gedrukt. Een zelfde concept had men voor magnetische krachten. Newtons vraag was

2

In *Physical Review Letters* van 18/2/90 verscheen inmiddels overigens een stukje, waarin hun resultaat tegengesproken wordt door Amerikaanse fysici. Die Nobelprijs zit er niet in!

simpel: "Zou je dan niet een *perpetuum mobile* moeten kunnen construeren, dat op die zwaartekrachtstroom loopt en blijft lopen?" (Hij was zijn windmolen nog niet vergeten!)

Dit was typerend voor hem. Al zijn vragen waren eigenlijk experimenteel van aard: "Als dat zo is, zou je dan niet...", en dan komt er een experimenteel voorstel.

Naast de natuurkunde had de wiskunde zijn aandacht. Voor hem was er nog niet zo veel verschil. Al zijn geometrische bespiegelingen waren bijna geheel mechanisch van aard, zij het dat hij ze achteraf in wiskundige taal goot.

Na afloop van zijn studie bleef hij in Trinity College met een beurs. In 1667 werd hij tot 'Fellow of Trinity College' benoemd, en reeds twee jaar daarna tot Lucas professor van de Universiteit van Cambridge. Ondanks het feit dat de 'Colleges' zeer te lijden hadden onder een senioriteitssysteem, niemand kon een oudere in rang passeren, had men toch kennelijk voldoende oog voor de genialiteit van Newton, dat ze voor hem een mogelijkheid schiepen. Hij had dan ook al drie hele grote prestaties geleverd: de theorie van de zwaartekracht, de differentiaal- en integraalrekening en de dispersie van wit licht in kleuren.

De publicatiedruk was niet hoog in die jaren, de *Principia* over onder andere zwaartekracht publiceerde hij in 1886, zo'n tien jaar na de ontdekking, de *Opticks* in 1704 (28 jaar later) en de fluxietheorie (differentiaal- en integraalrekening) in 1736, negen jaar na zijn dood. Wel waren er mededelingen aan de Royal Society voorgelegd, maar vreemd genoeg niet over de mechanica.

De oorsprong van de drie uitgaven is direct te vinden in de *Quaestiones*, het waren antwoorden op vragen, die hij als student al had gesteld. Alle drie betekenen een volledige breuk met het verleden. Lang had men gespeculeerd over wat de zon en de planeten bij elkaar hield. Newton postuleerde het zwaartekrachtveld. Dat veldconcept was geheel nieuw: er was geen enkele waarneembare verbinding tussen aarde en maan (geen touwtje of zo), en toch trokken ze elkaar aan. (In de natuurkunde heet dat 'werking op afstand' en in de moderne theorie zit men nog altijd over dat probleem in, men stelde daarom gravitonen voor als 'dragers' van de zwaartekracht. Het probleem is, dat er nog nooit een is gemeten!). Er bleef ook een probleem liggen, en Newton realiseerde zich dat. Als je over snelheden spreekt, en dat deed hij, dan is dat altijd ten opzichte van iets. Als we in een rijdende trein zitten gaan we wellicht 120 kilometer per uur. Maar ten opzichte van de trein zitten we stil! Als snelheden een absolute betekenis hebben, dan moet er toch minstens één punt zijn in het heelal dat stil staat, het absolute rustpunt. Welk punt is dat dan? Newton kon dat probleem niet aan en werd dus een verwoede voorvechter van het absolute rustpunt, dat hij overigens nooit identificeerde.

Zijn wiskundige prestatie was navenant. Al eeuwen lang had men geprobeerd oppervlakken onder gebogen curves te berekenen, maar afgezien van een enkele uitzondering, zonder succes. Newton, met zijn mechanische aanleg, loste het op. Hij bedacht dat rechte lijnen van variërende grootte, die over het oppervlak voortbewogen, het gehele oppervlak 'beschreven'. De sprong kwam toen hij zich realiseerde (en bewees), dat de oneindig grote som van de oneindig dunne lijnen toch een eindige waarde kon opleveren. Hij kon de uit de meetkunde voortkomende differentiaal- en integraalrekening buitengewoon goed toepassen in zijn mechanische beschouwingen. Omstreeks 1776 raakte Newton in een controverse met Leibniz, in Parijs een diplomaat van de keurvorst van Mainz, over de originaliteit van zijn ontdekking. Leibniz had de wiskundige

techniek kort daarvoor ook ontdekt. Het staat achteraf wel vast, dat Newton hem tien jaar te vlug af is geweest, maar het pleit wel voor tijdige publicatie! Het relativeert ook een beetje de prestatie van een genie. Als een ander het ook kan.... Laten we er maar van uitgaan dat Leibniz ook een genie was. Daar is trouwens materiaal genoeg voor!

Kleuren waren een probleem in de 17e eeuw. Meestal nam men aan, dat wit licht door een gekleurd object werd 'gemodificeerd', wat dat dan ook precies betekende. Snellius (1591-1626) had al de wet voor de breking van licht geformuleerd, maar die gold voor wit licht. Het nam Newton, om door experimenten met prisma's, te laten zien dat wit licht in werkelijkheid opgebouwd is uit vele kleuren. Wit licht is heterogeen, als we alle kleuren van de regenboog bij elkaar brengen in een punt, dan zien we dat het punt 'wit is'. Dit experimentele resultaat wordt door Newton vrij snel gepubliceerd. Van de reacties werd hij misnoedig. Iedereen 'viel over hem heen'. Het was moeilijk om de oude conceptie te verlaten, al waren de proeven nog zo overtuigend! Het zal zijn publicatiedrang niet hebben verhoogd!

Aan de basis van de experimenten van Newton ligt het feit, dat de brekingsindex (de mate van lichtbreking) van de kleur (golflengte) van het licht afhankelijk is. Dat heeft tot gevolg dat lenzen een 'chromatische aberratie' vertonen. Ook het focus van een gewone lens hangt van de kleur van het gebruikte licht af. Voor de astronomie van die jaren was dat buitengewoon hinderlijk. Sterren, die over het algemeen wit licht uitzonden, zien we door een on gecorrigeerde lens niet als punten maar als kleine vlakjes waarin de kleur verloopt. Als licht echter niet dóór een object gaat, maar er alleen aan reflecteert, doet dat verschijnsel zich niet voor. Newton realiseerde zich dat en bouwde de eerste spiegeltelescoop. De grote holle spiegel, daarvoor nodig, sleep hij zelf, bij de verdere constructie had hij de hulp van zijn assistent Wickins. Onze landgenoot Christiaan Huygens (overigens ook een genie) kreeg door bemiddeling van de Royal Society een uitvoerige beschrijving van het apparaat, zelfs van de bereiding van de alliage, die voor de spiegel was gebruikt en die ook door Newton zelf was bereid. Of Huygens hem ooit nagebouwd heeft is mij niet bekend, wel dat Newton kort na de demonstratie in 1672 in de Royal Society werd benoemd.

"Everybody gets promoted to the level of his own incompetence", luidt het Peter's Principle. Newton deed het zelf, dat promoveren. Na de wiskunde en de natuurkunde kreeg de scheikunde zijn belangstelling. Scheikunde was nog alchemie in die dagen, er was veel over te lezen, maar weinig van te begrijpen. De eerste experimenten op de weg naar een goed begrip zouden nog zo'n kleine honderd jaar op zich laten wachten. Newton deed ze in elk geval niet. Hij begroef zich in de deels mystieke alchemische literatuur, hoewel velen met hem trachtten te corresponderen over zijn mathematische en fysische beschouwingen van enkele jaren terug. Tien jaar besteedde hij aan de alchemie. Hij schreef er veel over, veel meer dan over zijn eerdere werk, maar de chemici van nu zullen daar helemaal niets van merken. Hij kwam er niet uit.

Wellicht was het de mystieke kant van de alchemie die hem tot de theologie bracht. Het kan ook zijn dat het mechanistisch wereldbeeld, dat uit zijn *Principia* voortkwam, hem verontrustte. Het liet niet erg veel ruimte voor goddelijke interventie in de loop der dingen. Ook zijn er wel aanwijzingen, dat zijn vroege kennisname van theologische werken -zijn moeder was later met een dominee hertrouwd- zijn belangstelling heeft bevorderd. In elk geval, Newton wendde zich

na de alchemie tot de theologie en kwam tot enige onfortuinlijke bevindingen. Onfortuinlijk, want in 1675 zou hij tot geestelijke in de Anglicaanse kerk benoemd moeten worden, ofwel zijn Fellowship op moeten geven. Voor professor blijven en geen lid van een College zijn was geen precedent. Bovendien betaalde het professoraat vrijwel niets. Newton was Ariaan geworden en had met name erg veel moeite met de Heilige Drieëenheid. Het zal duidelijk zijn dat dit voor een Fellow van uitgerekend 'the College of the Holy and Undivided Trinity' een buitengewoon moeilijke zaak was, temeer daar Newton niet lichtvaardig over zulke zaken dacht.

Er kwam echter een uitweg. Wellicht door bemiddeling bij de Kroon van een van Newtons leermeesters, Isaac Barrow, verkreeg de Lucas professor van Cambridge dispensatie van de eis tot enige orde toe te treden, tenzij hij dat zelf wilde. Als reden gold dat "His Majesty was willing to give all just encouragement to learned men who are and shall be elected to the said Professorship". Scherpslijpers waren het niet daar in Engeland. Dat ging hier wel een beetje anders in die jaren. Maar Newton bleef geabsorbeerd door alchemie en theologie en er valt weinig te rapporteren tot het bezoek van Halley (die van de komeet) aan Cambridge in 1684.

Halley was zelf met de hemelmechanica bezig geweest, maar was niet in staat gebleken uit de eigenschappen van het zwaartekrachtsveld de vergelijkingen voor de banen van de planeten af te leiden. Hij stelde de vraag aan Newton, die hem onmiddellijk antwoordde dat het ellipsen waren. Maar de wiskundige afleiding 'was hij kwijt'. Er zijn aanwijzingen dat hij die nog liever even voor zich hield. Hij was nog niet klaar voor de publiciteit. Halley moedigde hem aan, Newton begon aan zijn *Principia* en had vervolgens twee jaar lang geen tijd voor iets anders. Hij sloot zich af van de wereld en verwaarloosde zichzelf.

Zijn grootste probleem was beweging. Wat was het dat lichamen deed bewegen? Was het een interne eigenschap, zoals sommigen veronderstelden? Maar wat 'ging er dan uit', als de beweging werd geremd? Uit aantekeningen, die hij maakte is de evolutie van zijn denken te volgen. Het duurde bijna twee jaar voordat hij accepteerde wat zich alsmaar opdroeg. Het was de eerste wet van Newton, de wet van de traagheid. Als een object met constante snelheid langs een rechte lijn beweegt (of stil staat) verandert aan die situatie niets, totdat er een kracht op wordt uitgeoefend. Na dit principe geaccepteerd te hebben volgde de tweede wet snel: als op een voorwerp een kracht wordt uitgeoefend, dan neemt de snelheid 'gelijkmatig' toe (of af), waarbij de toe- of afname evenredig is aan die kracht, en de evenredigheidsconstante is de massa. Wij schrijven nu $F = m \times a$, de mate waarin de snelheid per seconde toeneemt (a) is evenredig aan de kracht, (F), die er op wordt uitgeoefend. De evenredigheidsconstante is nog altijd de massa m .

Tenslotte kwam de derde wet bij hem op: actie = reactie, ofwel als het ene lichaam op een ander lichaam een kracht uitoefent, dan oefent dat andere lichaam eenzelfde kracht uit op dat ene.

Klaar, de hele klassieke mechanica stond er, maar het had wel even moeite gekost. Het resultaat was een geheel nieuwe zienswijze, die Newton in zijn *Principia* met allerlei voorbeelden illustreerde. Van de manen van Jupiter tot de getijden van de Thames-monding. Het zou tot 1905 duren, voordat de eerste pilaar onder het gebouw werd weggehaald.

Zelfs in Engeland kent men een revolutie en nog wel een glorieuze. Newton had zich van de troonsbestijging van Jacobus II niets aangetrokken, maar toen de *Principia* klaar was -Halley begeleidde de publicatie- mengde hij zich in een typisch universitair conflict. Jacobus II realiseerde zich dat het voor een her-katholisering van Engeland noodzakelijk was de intelligentsia van de universiteiten achter zich te krijgen. Hij stelde daarom een Benedictijnse monnik, Alban Francis, voor als Master of Arts aan de Universiteit van Cambridge. Nu was dat nooit eerder een probleem geweest. Twee jaar eerder had de koning de secretaris van de ambassadeur van Marocco voorgesteld en hoewel die islamiet was ging de universiteit zonder meer accoord. Maar een katholiek was iets anders! Newton mengde zich uitvoerig in het conflict, was waarschijnlijk ook verantwoordelijk voor de meest obstinate zinnen in de petitie aan de koning het mandaat in te trekken. Het was het begin van zijn politieke carrière. Hij werd gekozen in de delegatie, die de petitie tegenover 's konings (katholieke) raadgevers moest verdedigen. Het liep slecht af, de voorzitter van de delegatie werd van zijn universitaire ambt ontheven, de andere delegatieleden kwamen er met een schrobbering af. Ze waren door hun voorzitter misleid! Maar het conflict ziekte door. Alban Francis werd niet benoemd en er kwam pas een eind aan de kwestie toen begin november een jaar later (1688) onze Willem III met een legertje in Engeland landde. Jacobus vluchtte en met Kerstmis was de 'Glorious Revolution' een feit.

Wellicht als beloning voor zijn principiële houding werd Newton benoemd in het parlement. Het duurde maar anderhalf jaar en er is geen materiaal dat laat zien, dat hij ooit het woord voerde. Religie was erg belangrijk en zijn Ariaanse opvattingen hebben hem ongetwijfeld tot voorzichtigheid gemaand. Wel markeerde deze periode een zekere 'socialisering' van Newton. De publicatie van de *Principia* had zijn naam gevestigd. Hij behoorde tot de internationale wetenschappelijke wereld. Hij ontmoette Huygens, zijn vriend de Zwitserse wiskundige Fatio, John Locke en vele anderen van het natuurfilosofisch *establishment*.

Na zijn terugkeer in Cambridge werkte hij aan een tweede editie van zijn *Principia*, aan de nadere uitwerking van zijn differentiaal- en integraalrekening en aan de eerste versies van het boek *Opticks*, dat echter pas in 1704 gepubliceerd zou worden. 'Werking op afstand' bleef hem bezig houden. Was het een inherente eigenschap van materie, die bij de schepping door God gegeven was? Werd die zwaartekracht toch niet door iets gedragen, bijvoorbeeld door aether, een onstoffelijke materie, die alles in het heelal doordrong? Hij gaf het op en trok zich terug op de pragmatische stelling dat hij de duiding van de zwaartekracht aan zijn lezers overliet. Ook de alchemie en de theologie herkregen zijn belangstelling. Zij waren in die jaren aan elkaar verwant, zoals zijn natuurfilosofische bespiegelingen over de mechanica dat ook waren. Hij publiceerde nu veel over deze onderwerpen en begon aan een *Index Chemicus* van meer dan honderd bladzijden, die het voor die tijd ongelofelijke aantal van 879 stoffen beschreef. Dit werk maakte hij echter niet af en -zoals gezegd- de scheikunde heeft weinig of niets aan Newton te danken. Toch waren de *Principia* slechts een onderbreking van het alchemische werk geweest. Kennelijk wist het genie niet waar zijn eigen genialiteit lag. Of vond hij dat hij 'klaar' was met de mechanica? Dat andere -moeilijker- terreinen aan exploratie toe waren? In elk geval liet de alchemie zich niet in zo'n mooie mathematische formulering vangen als de mechanica.

Het grappige is dat zulks heden ten dage ook voor de scheikunde geldt. Het is wel een 'exact' vak, maar zo mooi, zo doorzichtig als de natuurkunde is het niet! Wel veel avontuurlijker! Dat is wellicht wat Newton aantrok, trachten in de chaos van alchemische verschijnselen orde aan te brengen. Het is hem, ondanks zijn inspanning, niet gelukt.

De universiteit van Cambridge was er in de jaren 90 van de zeventiende eeuw niet op vooruit gegaan. De professoraten waren sinecures geworden, les werd er nauwelijks meer gegeven. Bovendien zat het senioriteitssysteem Newton danig in de weg. Een aantal 'fellows', die hij van beduidend lagere kwaliteit dan zichzelf achtte, bleven zijn senioren en genoten alle voordelen van hun imaginaire functies, die voor Newton onbereikbaar waren. Bovendien was zijn anderhalf jaar in het parlement wel een erg onbeduidende beloning geweest voor zijn rol in de Glorious Revolution.

Engeland had een probleem met zijn munten in die dagen. Onder Karel II was besloten op machinaal geproduceerde geldstukken over te gaan. Tot die tijd waren ze met de hand geslagen, onregelmatig van vorm en ze vroegen er om gesnoeid te worden. Met de machinale methode, die tevens een randschrift invoerde, kwam daar een eind aan. Maar de oude geldstukken behielden hun waarde! Niemand nam dus oude munten als wisselgeld voor nieuwe aan, want die hadden tenminste hun volle gewicht. Bovendien kon men de gesmolten munten naar het vaste land van Europa exporteren, waar het zilver meer opbracht dan het als munten kostte. Vandaar dat in de negentiger jaren slechts een half procent van het in omloop zijnde geld uit nieuwe munten bestond! Voor de andere 99,5% behield men zich met de oude. Er moest wel een genie komen om aan deze situatie een einde te maken. In 1696 accepteerde Newton -die over het probleem was geconsulteerd- zijn benoeming als muntmeester van Engeland. Hij was toen 53 jaar. Het tekent de Universiteit van Cambridge dat hij nog vijf jaar als professor eraan verbonden bleef. In die vijf jaar is hij er eenmaal, een week, geweest.

Ik zal hier de beschrijving van Newtons levensloop beëindigen, het wordt de hoogste tijd dat we onze genialiteitscriteria toepassen en daarvoor hebben we meer dan voldoende materiaal.

Heeft Newton iets nieuws bedacht? Wis en zeker. In eerste instantie de gravitatie, maar het kan niet ontkend worden dat anderen ook al tot een kracht hadden geconcludeerd die varieerde als het inverse kwadraat van de afstand. Newton veralgemeniseerde het begrip. Het echte nieuwe was de wet van de traagheid, de eerste wet van Newton. Dat brak met alle traditie. Het feit, dat een lichaam eenmaal in beweging gebracht, zonder uitgeoefende krachten altijd maar door zou bewegen, was geheel nieuw. Samen met de tweede wet kon het vrijwel alle observaties aan het heelal en aan de getijden verklaren. En Newtons vakgenoten waren het er mee eens! Er waren eerst nog wel dissidenten, Hooke beweerde zelfs het ook al allemaal bedacht te hebben, maar dat laatste is natuurlijk het ultieme compliment! Er is geen twijfel aan, op grond van de *Principia* alleen al was Newton een genie. Laat staan als we daaraan zijn ontdekking van de integraal- en differentiaalrekening toevoegen, om niet te

spreeken van zijn theorie van de kleur. Een drievoudig genie? Er was ook nog zoveel te ontdekken!

Dat gold niet voor de volgende kandidaat voor genialiteit: Albert Einstein. Hij werd op 14 maart 1879 in Ulm geboren in de goed-burgerlijk joodse, maar bijna geïntegreerde, familie van Hermann en Pauline Einstein. Hij was wel gezond, maar niet sterk. Zijn grootmoeder vond dat hij een veel te groot achterhoofd had! Hij groeide normaal op, praatte misschien wat laat. Beroemd is het waarschijnlijk apocriefe verhaal, dat zijn eerste woorden waren: "Die Suppe ist zu heisz". Iedereen vroeg meteen, waarom hij niet eerder had gesproken, waarop het antwoord volgde: "Bis jetzt war es in Ordnung".

Zijn zuster verhaalde later dat hij zich op z'n vijfde of zesde jaar zeer verbaasde over een kompas. Hoe wist die naald waar het Noorden was? Wellicht zijn eerste verbazing over 'werking op afstand'?

Een jaar na zijn geboorte was de familie naar München verhuisd waar Albert na de lagere school het Luitpold gymnasium (nu het Einstein gymnasium) bezocht. In tegenstelling tot de legende was hij een goede leerling, alhoewel de autoritaire sfeer van de school hem tegen stond. Toen de familie naar Milaan en vervolgens naar Pavia verhuisde bleef Albert achter in München om de school af te maken. In die periode stuurt hij een opstel over de toestand van de aether in aanwezigheid van een magneetveld naar zijn oom Caesar Koch in België. De aether zal hem blijven boeien.

De school bleef hem echter tegen staan, bovendien begon hij de kans te lopen in militaire dienst te moeten. Hij breekt zijn opleiding af en gaat in het voorjaar van 1895 naar zijn ouders in Pavia. In de herfst van dat jaar probeert hij het toelatingsexamen van de Eidgenössische Technische Hochschule (ETH) in Zürich, maar zakt. Na een jaar op een hem bevallende school in Aarau in Zwitserland wordt hij wel tot de ETH toegelaten, waar hij natuurkunde gaat studeren onder leiding van professor Weber, zelfs voor die tijd niet een van de modernste fysici. Het curriculum liet hem veel tijd over, die hij vulde met het bestuderen van modernere fysische literatuur. Ook het practicum vond hij niet of nauwelijks interessant, hij wilde wel experimenten doen maar dan echte, te weten die waarvan het resultaat niet van te voren reeds vaststond. Toch behaalde hij in vier jaar met goede tot uitstekende cijfers zijn bevoegdheid als leraar, die hem ook toestond aan een universiteit verder te werken in een baan als assistent. Weber nam hem echter niet en ook andere universiteiten hadden geen belangstelling voor hem, Leiden niet, Berlijn niet en Leipzig ook niet. Daar werkten de grote fysici van die tijd, Kamerlingh Onnes, Planck en Ostwald. Maar Albert Einstein was genoodzaakt tijdelijke baantjes aan te nemen als leraar in Winterthur en Schaffhausen.

In zijn vrije tijd schreef hij een dissertatie over de kinetische gastheorie. In oktober 1901 leverde hij het proefschrift in bij de Universiteit van Zürich, maar het werd van onvoldoende gehalte bevonden. Deze tegenslag, samen met het verlaten van het Luitpold Gymnasium en zijn falen voor het toelatingsexamen van de ETH, hebben waarschijnlijk tot het verhaal geleid dat Einstein op school een slechte leerling was.

Door bemiddeling van de vader van een vriend (Marcel Grossmann) kreeg hij in 1902 een tijdelijke aanstelling als technisch expert derde klasse aan het patentbureau in Bern. Die functie zou hij tot 1909 vervullen, zij leidde tot de

meest productieve jaren van Einstein. Hij ontmoette in Bern Maurice Solovine en Konrad Habicht, welk drietal de oprichters en enige leden waren van de Akademie Olympia. Ze lazen en bediscussieerden van alles: Spinoza, Hume, Mach, Sophocles, Racine, Cervantes en Poincaré. Met name het recente geschrift *La Science et l'Hypothèse* van de laatste hield hen, naar Solovine's eigen woorden: "wekenlang ademloos".

Een probleem in de natuurkunde van die tijd was de afleiding van de tweede hoofdwet der thermodynamica uit de statistische mechanica. Dat klinkt deftiger dan het is, men kan het ook zo fraseren: hoe kan men bewijzen, dat de tijd maar één kant uit gaat? Het wordt altijd later, nooit vroeger. De wet was al zo'n vijftig jaar experimenteel bekend, maar de theoretische afleiding ervan liet nog te wensen over.

In een serie van vijf artikelen in *Annalen der Physik* behandelde hij dit probleem uitvoerig en kwam tot een bevredigende oplossing.

Maar toen werd het 1905! Het is ongelooflijk wat Einstein in dat jaar presteerde. Achter elkaar kwamen in verbluffend korte tijd een viertal artikelen klaar, die het 'gezicht van de natuurkunde' voorgoed veranderden: op 17 maart over de lichtquant hypothese (Nobelprijs), op 1 april de interpretatie van de Brownse beweging (de dissertatie), op 30 juni het eerste stuk over speciale relativiteit en op 27 september het geschrift over de massa-energie equivalentie.

Het is hier niet de plaats om uitvoerig op deze doorbraken in te gaan, maar omdat Newton eerder aan de orde was is het wellicht interessant iets over relativiteitstheorie te schrijven.

Het probleem was de aether. Deze was gepostuleerd omdat men vond, dat er toch iets moest trillen als licht zich voortplantte. Voor geluid was het de lucht die trilde, dan moest er voor licht toch ook wel iets zijn. Maar die aether was moeilijk aan te tonen. Er werden steeds meer oscillerende verschijnselen gevonden, niet alleen licht, maar ook warmte, electriciteit en magnetisme. Elk verschijnsel leek zijn eigen aether te vragen. Door toedoen van Maxwell werd het eenvoudiger. Hij wist al deze verschijnselen in één stelsel vergelijkingen te vangen. Terug naar één aether dus. Die moest dan wel stil staan, in rust zijn want anders zou men, kijkende naar de sterren, als de aarde aan de ene zijde van de zon was, iets anders zien dan aan de andere. Het probleem van de absolute rust liet de fysica nog niet los, ook Newton moest die wel tot het eind van zijn leven verdedigen. Maar dan moest de aarde wel door die aether bewegen en dan zou men verwachten, dat licht met die beweging van de aarde mee gezonden een lagere snelheid zou hebben dan ertegen in.

Michelson en Morley hadden al in 1887 experimenteel aangetoond dat dit niet zo was. Welke kant het licht ook op ging, 't ging altijd even snel. Weliswaar was er kritiek geweest op hun proeven, maar de resultaten klonken toch wel erg overtuigend. Er moest iets mis zijn met de theorie. Nu kwam de tijd voor speculaties. Fitzgerald postuleerde dat dingen kleiner werden als hun snelheid de lichtsnelheid benaderde. Lorentz had al op theoretische gronden zulke effecten voorspeld door middel van de beroemde (later zogenoemde) Lorentz transformaties. Poincaré in 1905, vrijwel gelijktijdig met Einstein, kwam het dichtste bij de oplossing. Hij vroeg zich af wat gelijktijdigheid eigenlijk betekent, als het tijd kost de informatie daarover te communiceren. Hij speculeerde zelfs dat de lichtsnelheid een 'limiet' zou zijn, dat objecten nooit sneller zouden kunnen gaan. Hij induceerde zelfs 'gravitatiegolven'. Maar het was niet af. De echte verheldering (en simplificatie) zou voorbehouden blijven aan een jonge

man in een Zwitsers patentbureau, die nog maar net zijn dissertatie had ingeleverd.

En het was eenvoudig, heel eenvoudig:

1) De wetten van de natuurkunde hebben dezelfde vorm, ongeacht de (eenparige) snelheid waarmee een systeem zich voortbeweegt.

2) De snelheid van het licht is altijd hetzelfde, of het licht nu uitgezonden wordt door een bron in rust of door een bron in beweging. In één klap: weg aether, weg absoluut rustpunt, ze waren beiden niet meer nodig. Het zoeken ernaar was verkeerd bestede moeite geweest.

Als men naar de data kijkt waarop de artikelen klaar kwamen, lijkt het alsof het Einstein niet eens veel moeite had gekost zijn twee wetten te formuleren. Maar dat is bedrieglijk. Al in het opstel, dat hij begin 1895 aan zijn oom Koch in België stuurde is hij bezig met de aether en het effect van een magneetveld daarop. En in oktober van hetzelfde jaar vroeg hij op school in Aarau zich af wat er zou gebeuren als je 'hardlopend' het licht zou inhalen. En de discussies in de Akademie Olympia, in het bijzonder over het Poincaré-geschrift, hadden natuurlijk ook het hunne bijgedragen. Men kan gevoeglijk aannemen dat hij al een tiental jaren met het probleem bezig was.

Toch moet op een bepaald ogenblik het idee hebben geklikt. Einstein vertelde het zelf in een beroemde autobiografische lezing in Kyoto (1922) aldus:

"De invariantie van de lichtsnelheid was in conflict met de regel voor het samenstellen van vectoren, die we zo goed kenden uit de mechanica. Onverwachts hielp toen een vriend in Bern mij. Het was een prachtige dag toen ik hem opzocht en als volgt met hem begon te praten: 'Ik had laatst een probleem, dat ik moeilijk vond om te begrijpen. Dus kwam ik hier vandaag om over die vraag te twisten.' Nadat ik veel met hem gediscussieerd had begreep ik het probleem ineens helemaal. De volgende dag zocht ik hem weer op en zei, zonder hem te groeten: 'Bedankt, ik heb mijn probleem opgelost.'"

Als dit niet het fraaiste Nederlands is, moet U het de schrijver dezes maar vergeven. Het is vanuit Einsteins Duits in het Japans vertaald, toen in het Engels en nu dus in het Nederlands. Het citaat laat echter duidelijk zien, hoe het concept van de invariante lichtsnelheid er eerst was, hoe dat concept echter met de Newtonse mechanica overeen kwam was hem tot het bezoek aan zijn vriend duister. Maar tijdens dat bezoek vielen de laatste stukjes van de puzzel op hun plaats. Ineens, maar er was natuurlijk wel het een en ander aan voorafgegaan!

Nu begreep hij echter dat voor de samenstelling van snelheden veel kleiner dan die van het licht er weer het Newtonse resultaat uitkwam. De nieuwe theorie 'omvatte' de oude! De oude theorie was een speciaal geval van de nieuwe, gold slechts onder beperkende voorwaarden.

Zoals gezegd, Einstein publiceerde de resultaten van zijn radicale overwegingen in het tijdschrift *Annalen der Physik* (17, (1905) 891 en 18, (1905) 639), een van de toonaangevende en daarom veelgelezen publicaties. Hij verwachtte dan ook veel reacties op zijn werk, oppositie en scherpe kritiek. Niets van dat al, de natuurkundige wereld zweeg. Pas na enige maanden schreef de beroemde Planck een brief waarin hij over een paar punten om verduidelijking vroeg. Iemand had tenminste zijn stuk gelezen en niet zo maar iemand, maar een van de beroemdste geleerden ter wereld! Planck was ook de eerste

andere fysicus dan Einstein, die over de speciale relativiteitstheorie publiceerde (*Verh. Deutsch. Phys. Ges.* 4 (1906) 136) en die in 1907 de eerste dissertatie over het onderwerp begeleidde. Met zo'n beroemd man als adept duurde het niet lang voordat de hele theoretisch natuurkundige wereld er zich mee bemoeide en in 1908 was de kennis ervan en het vertrouwen erin al wijd verspreid, zeker nadat Minkowsky de theorie op een nog steviger mathematische basis had gestoeld.

Toch was de theorie bepaald niet af. Bovendien was zij moeilijk experimenteel te bewijzen. Filosofisch gezien was het natuurlijk zeer bevredigend dat de kwesties van het bestaan van de aether en het absolute rustpunt uit de weg waren geruimd, maar natuurkunde eist empirische bewijzen, en die waren nog niet voorhanden. De theorie hield onder andere in dat geladen deeltjes, door middel van hoge spanningen tot grote snelheden gebracht, zich afwijkend zouden gedragen van hun langzamer soortgenoten. Abraham en Kaufmann in Göttingen en later Planck in Berlijn, hadden weliswaar daarover experimenten verricht maar die waren niet echt voldoende als bewijs, er waren ook andere interpretaties van de resultaten mogelijk. Einstein zelf vond het nauwelijks interessant. Hij vond het erg mooie proeven die men had gedaan, maar achtte de alternatieve interpretaties van de resultaten erg onwaarschijnlijk. Hij was zelf al verder. De 'harde' experimentele bewijzen voor de speciale relativiteitstheorie zouden pas tien jaar later komen.

Maar behalve dat experimentele bevestigingen ontbraken, vertoonde de speciale relativiteitstheorie nog een andere tekortkoming. De theorie was alleen geldig voor eenparig bewegende systemen, voor objecten, die ten opzichte van elkaar met een constante snelheid bewegen. Om echter zo'n snelheid te bereiken moeten ze, in elk geval een tijdje, worden versneld, hun snelheden moeten ten opzichte van elkaar per tijdseenheid (per seconde, per uur, per dag) een tijd lang steeds toenemen. Maar voor objecten met een versnelling gold de speciale theorie niet!

Einstein realiseerde zich dat al in 1907 toen hij "die Glücklichste Gedanke meines Lebens" had. Dat was het beroemde verhaal van de man in de lift. Stel dat je van heel erg grote hoogte in een lift naar beneden valt, en er is geen enkele manier om naar buiten te kijken. Dan zal je in 't geheel niet bemerken dat je je in een zwaartekrachtsveld bevindt. Alles om je heen valt net zo hard als jezelf en dat wil zeggen dat het ten opzichte van jezelf zweeft. Sterker, niets valt langzamer dan jezelf, er is dus geen experiment mogelijk dat je vertelt dat je je in een gravitatieveld bevindt.

Tegenwoordig kunnen we dat op de televisie zien. Astronauten in een satelliet 'vallen' om de aarde. Ze hebben een forse voorwaartse snelheid gekregen, maar de zwaartekracht werkt en dus vallen ze. Maar ze gaan zo hard in voorwaartse richting dat tijdens het vallen de aarde door zijn bolvorm van ze wijkt, en als je het goed uitmikt draaien ze om de aarde. Dan vallen ze net zo hard als ze vooruit gaan, en blijven daarom op constante afstand van de aarde. Zo'n satelliet is dus net zo'n ding als Einsteins vallende lift. En we weten allemaal dat Wubbo Ockels zweefde in dat ding. Als hij geen raampjes had gehad om naar buiten te kijken had hij helemaal geen reden gehad om te veronderstellen dat hij zich in een zwaartekrachtsveld bevond. Maar zijn collega op aarde vond dat wel. Communicatie tussen die twee zou geleid hebben tot verwarring. Wubbo's natuurkundige wetten zouden anders zijn dan die van zijn

collega en dat was in de speciale relativiteitstheorie al onwenselijk geacht. Kon die theorie uitgebreid worden naar versnelde systemen?

Dat kon, maar het kostte erg veel moeite, de wiskunde ervoor was nog niet, of nog maar net, voorhanden. Pas in november 1915, na acht jaar proberen, wiskunde leren, valse starts en veel falen kon de theorie wiskundig bevredigend worden geformuleerd en in maart 1916 aan de redacteurs van *Annalen der Physik* in manuscriptvorm worden aangeboden.

Het is mij niet mogelijk ook maar enigszins duidelijk te krijgen, laat staan te maken, wat deze algemene theorie allemaal inhoudt. Laat het voldoende zijn, dat sinds 1916 de ruimte niet meer 'recht' is maar gekromd. Dat in deze kromme ruimte alle spontane bewegingen volgens het principe van Fermat gaan, dat wil zeggen langs de lijn van de kortste afstand tussen twee punten. Als er ergens massa is leidt die tot kromming van de ruimte en dan ziet de beweging er voor een, niet aan die beweging deelnemende, waarnemer er als een versnelde beweging uit. Zoals er geen absolute snelheden zijn, zo zijn er ook geen absolute versnellingen.

Zelfs Newton tobde al over de gelijkheid van trage en zware massa. Trage massa uit zich als de bewegingsenergie die een object bezit als het beweegt, zware massa door de kracht die het in een zwaartekrachtsveld ondervindt. Zijn deze twee soorten massa gelijk? Experimenten met een slinger doen daarover een uitspraak. In het laagste punt is er beweging (trage massa) in het hoogste punt staat hij stil, maar is er een kracht (zware massa). Als hij slingert, worden deze steeds in elkaar omgezet. Proeven van Newton en vele anderen toonden geen onderscheid aan, en de algemene relativiteitstheorie loste de vraagstelling op. Volgens deze leidde niet alleen massa tot gravitatie, en niet alleen energie, maar ook impuls, het product van massa en snelheid, dat wil zeggen beweging. De speciale relativiteitstheorie had al tot een fundamentele equivalentie van de eerste twee geleid, de algemene voegde daar de derde aan toe. Massa, energie (waaronder de gravitatie-energie) en impuls leidden tot gravitatie, tot kromming van de ruimte.

Laten we een poging doen de twee experimenten te beschrijven, die de bevestiging van de algemene relativiteitstheorie brachten. De speciale relativiteitstheorie had al geleid tot de voorspelling dat licht massa had. Immers, licht is energie en energie is massa. Te verwachten viel, dat licht door de zon van zijn rechtlijnige voortplanting wordt afgebogen. Je zou dat kunnen waarnemen door naar een ster te kijken die vlak 'naast de zon staat', dat wil zeggen wier licht vlak langs de zon gaat. De plaats van die ster zou je dan moeten vergelijken met zijn normale plaats. Als het licht afgebogen was in de eerste meting zouden die plaatsen verschillen. Hoeveel? De speciale relativiteitstheorie gaf een waarde van 0,0875 boogseconden. Dat heette de Newtonse waarde, want sinds zijn tijd was alleen maar toegevoegd dat licht massa had en die werd dan ook volgens hem door de zon aangetrokken. Volgens de algemene relativiteitstheorie was de waarde van de massa twee keer zo groot. Immers ook impuls (beweging) leidt tot gravitatie en aangezien impuls en energie voor licht in relativistische eenheden gelijk zijn, zou de afbuiging het dubbele zijn: 0,175 boogseconden.

Nu kan je normaal geen ster zien die vlak 'naast de zon staat'. Je wordt verblind door de zon, en je kijker ook. Je moet dus wachten op een zonsverduistering als de maan zich tussen zon en aarde schuift.

Einstein had zijn berekening in 1915 gepubliceerd, maar Europa was in oorlog en het artikel bleef gedeeltelijk onopgemerkt. Toch kwam een exemplaar

ervan via Nederland in handen van Eddington, hoogleraar astronomie in Cambridge. Op 29 mei 1919 zou zich vanaf de evenaar een geschikte zonsverduistering voordoen. Midden in het oorlogsgeweld besloot in 1917 de koninklijke astronoom Dyson twee expedities uit te rusten om op de evenaar waarnemingen te verrichten. Een naar Brazilië en een naar West-Afrika. Beide expedities werden ten tijde van de totale verduistering, die maar vijf minuten duurde, door bewolking geplaagd, maar toch kon Eddington op 6 november 1919 in de Royal Astronomical Society verklaren dat hun waarnemingen de algemene relativiteitstheorie bevestigden. Over het oorlogsrumor heen hadden een Duitse en een Engelse wetenschappelijk onderzoeker elkaar verstaan.

Het andere experimentele bewijs werd door Einstein zelf gevonden in de perihelium precessie van Mercurius. Het perihelium van een planeet is het punt waar deze in een excentrische baan het dichtst bij de zon staat. Volgens Newton is de baan van een planeet het gevolg van een met het inverse kwadraat van de afstand variërende kracht door de zon uitgeoefend. Ook andere planeten oefenen Newtonse gravitatiekrachten op de planeet uit. Die maken dat het perihelium niet altijd op dezelfde plaats staat, maar 531 boogseconden per eeuw om een punt draait. De waarneming leerde echter dat het 574 boogseconden per eeuw waren. De ontbrekende 43 boogseconden werden jarenlang toegeschreven aan een nog onbekende planeet ('Vulcanus'), waar dan ook -zonder resultaat overigens- druk naar gezocht werd.

De algemene relativiteitstheorie kon het echter uitleggen. Als Mercurius dicht bij de zon komt neemt zijn snelheid, zijn impuls toe, evenals zijn gravitatie-energie. Beide leiden tot gravitatie en dat betekent dat de kracht tussen de zon en Mercurius toeneemt. In tegenstelling tot de Newtonse gedachte varieert de kracht niet exact met het inverse kwadraat van de afstand, maar spelen impuls en de zwaartekrachtsenergie zelf ook een rol. De effecten zijn maar klein; echter net voldoende om binnen een procent de ontbrekende 43 boogseconden op te leveren. Waarlijk, een triomf!

Einstein stond op het toppunt van zijn kunnen. Hij was 37 jaar oud, patent deskundige en professor in Zürich geweest, nu professor in Berlijn en directeur van het Kaiser Wilhelm Instituut voor natuurkunde, dat overigens nog vorm gegeven moest worden. Hij was in één slag wereldberoemd geworden. De metingen van de afbuiging van het sterrelicht hadden grote aandacht van de media getrokken en dat de sterren wellicht niet stonden waar men zag dat ze stonden (omdat hun licht door vooralsnog onbekende hemellichamen afgebogen kon zijn) werd als een wonder van de hoogste klasse beschouwd. Dat licht 'gewicht' zou hebben, dat de ruimte gekromd zou zijn en dat die ruimte dan ook nog vier-dimensionaal was, waren begrippen die zo sterk afweken van de alledaagse werkelijkheid dat ze wel nieuwswaarde moesten hebben. Bovendien, het ging over de sterren en die hadden natuurlijk altijd al een grote mystieke betekenis gehad. De publiciteit was dan ook enorm, ondanks het feit dat in Einsteins eigen woorden er slechts twaalf (!) mensen op de aardbol waren die zijn theorie konden begrijpen.

Toch was de wetenschappelijke wereld nog niet echt overtuigd. Gehrke had een andere theorie gepubliceerd voor de beweging van het perihelium van Mercurius, er was nog altijd een experimentele controverse over de metingen van de Eddington expedities, en de ook door Einstein voorspelde gravitationele roodverschuiving was nog steeds niet overtuigend aangetoond.

In de moderne tijd hebben we een soort objectieve maat voor 'genialiteit': de Nobelprijs. Deze wordt verleend door de Zweedse Akademie van Wetenschappen op voorstel van een commissie, die jaarlijks de 'wetenschappelijke wereld' (oud-prijswinnaars, geselecteerde andere natuurkundigen, faculteiten van geselecteerde universiteiten, et cetera, et cetera) raadpleegt. Einstein was sinds 1910 een serieuze kandidaat geweest. Vrijwel elk jaar was hij door gezaghebbende geleerden voorgesteld, maar altijd was er wel weer een ander aan wie men de voorkeur gaf. De controverses betreffende de algemene relativiteitstheorie hielpen natuurlijk niet. Maar in 1922 was de druk op de Zweedse Akademie zo hoog opgelopen dat ze wel moesten. Einstein krijgt de Nobelprijs (die van 1921, toen was hij uitgesteld). Niet voor de relativiteitstheorie, maar voor zijn interpretatie van het foto-electrisch effect (een artikel uit 1905) waarin hij voor de eerste keer het lichtquant voorstelde. Men nam zelfs de moeite in de considerans relativiteit uit te sluiten.

De controverses zijn weggeëbd. Ook de algemene relativiteitstheorie is door de natuurkundige wereld geaccepteerd. De hoeveelheid bewijsmateriaal is zeer groot geworden. Maar toch was en is de theorie niet af. Ook Einstein begreep dat. Naast gravitatie, waarvoor Einstein een bevredigend formalisme had opgesteld, was er electromagnetisme, dat al door James Clerk Maxwell (nog een genie) in 1865 van een stevige wiskundige basis was voorzien. Beide krachten werkten tot op oneindig grote afstanden, beide varieerden ze met het inverse kwadraat van de afstand. Het grote verschil was dat de gravitatie altijd aantrekkend was en de elektrische krachten zowel aantrekkend als afstotend konden zijn. Zonder dat er nu experimentele aanwijzingen waren lag toch de vraag voor de hand of gravitatie en electromagnetisme niet manifestaties van één theorie waren. Einstein heeft er veel van de rest van zijn wetenschappelijke leven aan besteed, maar het probleem (als het dat al is) ligt er nog net zo als omstreeks 1920. Inmiddels zijn er zelfs twee fundamentele krachten bijgekomen. De zwakke kracht en de sterke kracht, beide van zeer kleine reikwijdte, die dan ook eigenlijk alleen in atoomkernen een rol spelen. De zwakke kracht en electromagnetisme zijn inmiddels op één oorsprong teruggebracht, maar de sterke kracht en de gravitatiekracht leiden, naast die twee verenigde, nog steeds een onafhankelijk bestaan.

Naast zijn werk aan de algemene veldentheorie werd Einstein een figuur van politiek formaat. Hij speelde een rol in de Volkenbond, trad op als pacifist, zelfs als 'moreel' zionist, kortom nam deel aan het woelige politieke leven van de Weimar republiek. Reeds in 1920 had hij tijdens een lezing aan de Berlijnse Universiteit te maken gekregen met anti-semitische demonstraties. Hij maakte er geen probleem van, was anderzijds ook niet bereid zijn joodse afkomst te verhullen. In december 1932 verlieten hij en zijn vrouw Duitsland voor een reis naar de Verenigde Staten. Hij heeft zijn vaderland nooit weergezien. Na een kort verblijf in België maakte hij gebruik van een aanbod één van de professors van het nieuw gevormde Institute for Advanced Studies in Princeton in New Jersey te worden. Hij is er tot zijn dood (in 1955) gebleven.

Twee genieën hebben we besproken. Voldoen ze aan de criteria?

Ging het over iets nieuws? Zonder twijfel. Ze formuleerden volstrekt nieuwe theorieën. Newton met zijn bewegingswetten, zijn concept van kracht en het

gravitatieveld en Einstein met zijn invariantie van de natuurwetten in bewegende systemen. Voor hun tijd had niemand deze concepties zo geformuleerd.

Kregen ze gelijk? Volstrekt. Newton met zijn afleiding van de experimentele wetten van Kepler en Einstein met zijn interpretatie van de beweging van het perihelium van Mercurius.

Vonden ze erkenning bij hun vakgenoten? Zeker. Weliswaar overheerste in beide gevallen eerst de (gezonde) scepsis, maar na enige tijd was de instemming algemeen. We behoeven er niet aan te twifelen dat zij genieën waren!

Hebben ze nog meer gemeen? Ja. Beide leverden ook andere bijdragen aan de natuurkunde. Newton met zijn optica, Einstein met zijn quantumpostulaat en zijn analyse van de Brownse beweging. Beiden maakten zij gebruik van nieuwe wiskunde. Newton bijna stiekem, alhoewel hij de integraal- en differentiaalrekening ontdekt had, paste hij die niet toe in zijn *Principia*. Hij gaf er de voorkeur aan zijn argumenten te ontleen aan de veel oudere geometrie. Maar er hoeft geen twijfel over te bestaan dat zijn formuleringen eigenlijk gebaseerd waren op de infinitesimaalrekening, maar de geometrische waren in die tijd voor anderen meer toegankelijk.

Einstein had zijn wiskunde niet zelf ontdekt, maar maakte -aan de hand van zijn vriend Grossmann- zeer uitvoerig gebruik van de wiskunde, die vrijwel gelijktijdig ontdekt werd door Hilbert. Wat valt nog meer op? Beide waren zij politiek geïnteresseerd. Newton als Ariaan en tegenstander van Jacobus II, Einstein als overtuigd pacifist en tegenstander van elke dictatoriale macht.

Hadden zij invloed? Ja, allebei. Newton in zijn rol als hervormer van het Engelse muntsysteem, Einstein met zijn brief aan Roosevelt, waarin hij aandrong op constructie van de atoombom omdat hij wist dat Hitler daarmee bezig was. Interessant is dat beiden religieus waren, zij het niet aan enig kerkgenootschap verbonden. Beiden kwamen ook hun eigen falen tegen. Newton in de alchemie en Einstein in de algemene veldentheorie. Beiden hebben er vele lange jaren aan besteed. Ze waren ook allebei harde werkers. Newton tot op het punt dat hij zichzelf verwaarloosde, maar ook Einstein vertoonde die afstandelijkheid, die kenmerkend is voor iemand die altijd met iets anders bezig is. Gevraagd hoe hij aan zijn relativiteitstheorie was gekomen antwoordde hij: "Door alsmatuur over het probleem na te denken". Ook van Newton zijn vergelijkbare uitingen bekend. 'Family men' waren zij beiden bepaald niet. Newton is nooit getrouwd, en ook Einstein schreef na de dood van zijn tweede vrouw aan een collega dat hij zich thuis beter voelde dan ooit.

Zijn er ook verschillen? Zeker. Newton 'stapte er uit', toen hij muntmeester werd, Einstein heeft zich tot op zijn sterfbed met fysica bezig gehouden. Wellicht is dat de invloed van de veel grotere welstand die de VS bereikt hadden vergeleken met het Engeland van de achttiende eeuw. Men kon het zich permitteren Einstein in Princeton te laten. Een ander groot verschil vindt men in hun natuurkundige werkzaamheden. Newton was ook een experimentator en van hoog kaliber. De nauwkeurigheid, die hij met de eenvoudige apparatuur van zijn tijd bereikte, is nog steeds verbazingwekkend. Einstein had wel belangstelling voor experimenten, ze gaven per slot van rekening bevestiging of ontkenning van zijn theoretische beschouwingen, maar zelf experimenteerde hij niet. Hier komt duidelijk de later opgetreden specialisatie in de natuurkunde naar voren. 'Theoretisch fysicus' was al een beroep in Einsteins tijd. Newton was nog een 'natuur-filosoof', en dat hield zowel theorie als praktijk in. Zelfs de wiskunde kon daartoe worden gerekend.

Maar genieën waren het. Daar hoeft geen twijfel over te bestaan. Ze zijn niet de enigen in de natuurwetenschap. Op veel Nobelprijs winnaars is het epitheton van toepassing. Maar ook voor de uitreiking daarvan begon (1901) zijn er al velen geweest, mijn lijst aan het begin van dit stuk kan nog heel ver worden uitgebreid.

Maar hoe vergelijken zij met de anderen? Met de historici, de politici, de filosofen, de schilders en de dichters? Onze criteria gaan niet meer op. Zoals al eerder betoogd, een dichter kan geen 'gelijk' krijgen, zelfs een historicus niet. Hoe competent Huizinga ook de Middeleeuwen beschreef, een gelijk bestaat er niet. Anderen konden het later nog weer eens anders beschrijven. En voor een politicus bestaat 'gelijk' alleen uit de bevestiging van macht. Of het anders had gekund zal altijd onbekend blijven. Want *ceteris paribus* gaat niet op voor de mensenmaatschappij. Natuurwetten lijken onveranderlijk te zijn, maar wetten van en over mensen zijn dat niet. Daarom raken onderzoeksgebieden in de natuurwetenschap 'uitbestudeerd'. Niemand zal de wetten van Newton, of zelfs de veel recentere algemene relativiteitstheorie, nog eens gaan toetsen. Men kan het in een leerboek vinden. Maar wie zal nu beweren dat het laatste woord over de Gouden Eeuw is gesproken? Of over de rechtsstaat, de economie? De mogelijkheden tot verdere beschouwingen blijven legio, en dat betekent dat een bijdrage nooit uniek kan zijn. Dat waren de wetten van Newton wel, en de relativiteitstheorie ook. Wellicht hadden anderen ze later ook kunnen ontdekken, maar toen ze gevonden waren was de bijdrage tot de natuurwetenschap uniek. Het hoefde eigenlijk nooit meer over.

Ik wordt er helemaal warm van. Genialiteit is beperkt tot de natuurwetenschap! Maar dan hoor ik de eerste strofen van een strijkkwartet van Schubert, en ik kom in verwarring. Hoezo, gelijk krijgen? Dat bestond voor hem ook niet. En toch is zijn genialiteit onmiskenbaar. En zo komt de hele lijst van het begin weer langs. Stuk voor stuk waren zij genieën, ieder op zijn eigen, maar wel unieke manier. Misschien is dat het wel, ze waren uniek. Maar dat bent U ook, lezer. Ieder mens is uniek. Nou, dat kan wel zijn, maar geef mij Mozart maar.

Wellicht onbekende genieën:

Georges Eugène baron de Haussmann (1809-1893), prefect van het département Seine, die het initiatief tot de grote stedenbouwkundige doorbraken nam, waardoor het karakter van het huidige Parijs werd bepaald.

Hendrik Anton Lorentz (1853-1928), Nederlands natuurkundige, die veel bijdroeg aan de theorie van optische en elektrische verschijnselen in bewegende stelsels, vanaf 1877 hoogleraar theoretische natuurkunde te Leiden, Nobelprijs 1903.

Niels Henrik David Bohr (1885-1962) Deens natuurkundige, vanaf 1920 directeur van het Instituut voor Theoretische Natuurkunde te Kopenhagen. Hij droeg veel bij tot het inzicht in de structuur van atomen, waarvoor hij in 1922 de Nobelprijs ontving.

Karl Friedrich Gauss (1777-1855), Duits wiskundige, astronoom en geometer, vanaf 1807 hoogleraar-directeur van de sterrewacht te Göttingen. Grondlegger van de getallentheorie en delen van de kansrekening.

Eduard Maurits Meyers (1880-1954), Nederlands rechtsgeleerde, hoogleraar te Leiden, ontwerper van het nieuw Nederlands Burgerlijk Wetboek, groot civilist en rechtshistoricus.

Leonard Euler (1707-1783), Zwitsers wiskundige, hoogleraar te St. Petersburg en Berlijn, grondlegger van de variatierekening, baanbrekende bijdragen aan de differentiaal- en integraalrekening.

Linus Carl Pauling (1901), Amerikaans chemicus, hoogleraar California Institute of Technology, grote bijdragen aan begrip van molecuul- en kristalstructuren, met name wat betreft eiwitten. Vroege voorvechter van kernontwapening. Nobelprijs voor scheikunde 1954, Nobelprijs voor de vrede 1963.

George Gabriel Stokes (1819-1903) Engelse wis- en natuurkundige, hoogleraar te Cambridge, bijdragen aan de wiskunde, de theorie van het licht en aan de hydrodynamica.

Karl Schwarzschild (1873-1916), Duits astronoom, hoogleraar te Göttingen, vooraanstaande bijdragen aan de astronomie.

Joseph Louis Lagrange (1736-1813) Frans mathematicus en astronoom, hoogleraar Turijn, Berlijn en Parijs (Ecole Polytechnic). Uitvinder van de naar hem genoemde multiplicatoren om nevenvoorwaarden in rekening te brengen, vele andere bijdragen aan de wiskunde.

Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716), Duits filosoof en wiskundige in dienst van de keurvorst van Mainz. Herontdekker (na Newton) van de differentiaal- en integraalrekening.

Dimitri Ivanovitch Mendelejew (1834-1907); Russisch scheikundige, hoogleraar te St. Petersburg, eerste opsteller van het Periodiek Systeem der Elementen.

Walther Hermann Nernst (1864-1941), Duits natuur- en scheikundige, hoogleraar te Göttingen en Berlijn. Grondlegger van de zogenaamde derde Hoofdwet der Thermodynamica, Nobelprijs voor scheikunde 1920.

Mozes ben Maimon Maimonides (1135-1204) Joods filosoof en schriftgeleerde, lijfarts van de sultan van Egypte.

Bibliografie

Pais, A., *"Subtle is the Lord"* (Oxford 1982).

Schwinger, J., *'Einstein.... en daarna'* (Maastricht en Brussel 1988).

Westfal, Richard S., *Never at Rest, a Biography of Isaac Newton* (Cambridge 1980).