

David Bodanis

$$E=mc^2$$

De biografie van de formule  
die de wereld veranderde

Vertaald door Jos den Bekker

AmbolAnthos  
Amsterdam

# Inhoud

---

Inleiding 7

Deel I: Geboorte

1. Het octrooibureau van Bern, 1905 13

Deel II: Voorlopers van  $E=mc^2$

2. 'E' staat voor 'energie' 21

3. '=' 33

4. 'm' staat voor 'massa' 37

5. 'c' staat voor 'celeritas' 47

6. <sup>2</sup> 64

Deel III: De begintijd

7. Einstein en de vergelijking 81

8. Het atoom in 100

9. 's Middags stil in de sneeuw 107

Deel IV: Volwassenheid

10. Duitsland aan zet 123

11. Noorwegen 140

12. Amerika aan zet 149

13. 08:16 uur boven Japan 168

Deel v: Tot het einde der tijden

14. Het vuur van de zon 177

15. De schepping van de aarde 187

16. Een brahmaan slaat zijn ogen ten hemel 198

Epiloog: Wat Einstein verder nog deed 207

Appendix: Hoe het met de andere sleutelfiguren afliep 225

Noten 243

Aanbevolen literatuur 319

Dankwoord 339

Index 343

Een tijdje terug las ik in het tijdschrift *Premiere* een interview met de actrice Cameron Diaz, waarbij de interviewer aan het eind vroeg of er nog iets was dat zij graag zou willen weten. ‘Ja,’ zei Diaz. ‘Wat betekent eigenlijk  $E=mc^2$ ?’ Ze schoten allebei in de lach, waarna Diaz mompelde: ‘Ik meen het.’ Daarmee was het interview afgelopen.

‘Denk je dat ze het echt meende?’ vroeg een van mijn vrienden toen ik het hardop had voorgelezen. Ik haalde mijn schouders op, maar iedereen in de kamer – architecten, twee programmeurs en zelfs een historicus (mijn vrouw!) – was zeer beslist. Zij wisten precies wat ze bedoelde: zij zouden ook wel eens willen weten wat die beroemde formule nou precies betekent.

Dat zette me aan het denken. Iedereen weet dat  $E=mc^2$  belangrijk is, maar weinigen weten wat het betekent. Dat is frustrerend, want de vergelijking is zo kort dat je zou denken dat je het moet kunnen begrijpen.

Er zijn een heleboel boeken waarin het wordt uitgelegd, maar wie kan met de hand op het hart zeggen dat hij het begrijpt? De meeste lezers zien alleen maar een hoop gekke tekeningen van treinen of raketten of flitslichten die volslagen duister zijn. Zelfs als het wordt uitgelegd, begrijp je het niet altijd, zoals Chaim Weizmann ondervond toen hij samen met Einstein in 1921 per schip de Atlantische Oceaan over-

stak: 'Einstein legde me elke dag zijn theorie uit,' schreef Weizmann, 'en ik was er algauw vast van overtuigd dat hij hem helemaal snapte.'

Ik realiseerde me dat er een andere benadering mogelijk is. De globale verklaringen van de relativiteitstheorie mislukken niet omdat ze slecht geschreven zijn, maar omdat ze te veel hooi op de vork nemen. In plaats van het zoveelste boek over de relativiteitstheorie of de zoveelste biografie van Einstein – dat zijn interessante onderwerpen, maar ze zijn uiten-treuren behandeld – moet ik me beperken tot  $E=mc^2$ . Dat kan, want het is een apart onderdeel van Einsteins theorie: tot op grote hoogte staat de formule op zichzelf.

Vanaf het moment dat ik er zo over begon te denken werd me duidelijk hoe ik het moest aanpakken. In plaats van over raketten en flitslichten te beginnen zou ik de biografie van  $E=mc^2$  moeten schrijven. Iedereen weet dat een biografie verhalen bevat over de voorouders, de kindertijd, de jeugd en het volwassen leven van de persoon in kwestie. Met deze vergelijking is het niet anders.

Het boek begint dan ook met de geschiedenis van elke term in de vergelijking – de symbolen  $E$ ,  $m$ ,  $c$ ,  $=$ , en  $^2$ . Voor elk van die termen – de 'voorouders' van de vergelijking – richt ik me op een bepaalde persoon of onderzoeksgroep die werk heeft verricht dat bijzonder belangrijk was voor ons huidige begrip van deze termen.

Als eenmaal duidelijk is wat de symbolen betekenen, wordt het tijd om te beginnen met de 'geboorte' van de vergelijking. Dan verschijnt Einstein op het toneel, en dan vertellen we over zijn leven als employé van het octrooibureau in 1905, wat hij gelezen had, waar hij over nadacht en hoe dat tot de symbolen leidde die hij samenvoegde in de vergelijking die in zijn brein ontstond.

Als de vergelijking en haar toepassingen in handen van Einstein alleen waren gebleven, dan zouden we het boek gewoon hebben kunnen voortzetten met zijn leven na 1905, maar al snel na die grote ontdekking richtte hij zijn belangstelling op andere onderwerpen. Zijn persoonlijke geschiedenis verdwijnt uit het boek en in plaats daarvan volgen we

andere fysici, meer empirisch ingestelde, zoals de bruisende, rugby spelende Ernest Rutherford, en de zwijgzame ex-krijgsgevangene James Chadwick, die samen de gedetailleerde structuren van het atoom aan het licht brachten die – in principe – gemanipuleerd konden worden om de grote krachten die in de vergelijking besloten lagen te voorschijn te halen.

In elke andere eeuw had het lang kunnen duren eer die theoretische ontdekkingen een praktische toepassing vonden, maar hoe Einsteins vergelijking precies gebruikt zou kunnen worden, werd al in de eerste helft van 1939 duidelijk, vlak voor het begin van de grootste oorlog in de twintigste eeuw. Een flink stuk van het middendeel van het boek is gewijd aan het tot wasdom komen van de vergelijking in de race op leven en dood tussen de wetenschappers van de Verenigde Staten en nazi-Duitsland, die allebei als eerste een bom wilden maken die de hele planeet in zijn greep gevangen kon houden. Vaak wordt in de geschiedenisboeken de indruk gewekt dat de Amerikanen wel moesten winnen omdat het land industrieel verder ontwikkeld was, maar nu blijkt dat Duitsland gevaarlijk dicht bij de overwinning was, dichters dan men vaak beseft. Zelfs op D-Day nog, in juni 1944, liet George Marshall, chef-staf van de Amerikaanse landmacht, verscheidene Amerikaanse eenheden die in Frankrijk waren geland met geigertellers uitrusten om te waken voor een mogelijke aanval van de nazi's met radioactieve wapens.

In het laatste deel van het boek keren we de oorlog de rug toe: de vergelijking is 'volwassen' geworden. Daar zien we hoe  $E=mc^2$  het hart is van veel medische instrumenten, zoals de PET-scanners die worden gebruikt voor het opsporen van tumoren. Maar ook in onze huishoudelijke apparaten is de werking van de formule te vinden, zoals in onze tv's en rookdetectors. Belangrijker echter nog is de kracht van de vergelijking die zich tot in de diepte van de ruimte uitstrekt en mede voor ons verklaart hoe sterren ontstaan, hoe onze planeet warm wordt gehouden, hoe zwarte gaten worden gecreëerd en hoe onze wereld zal eindigen. Aan het eind van het boek

staan gedetailleerde noten voor de lezers die meer wiskundige of historische diepte willen. Verdere achtergrondinformatie is beschikbaar op mijn website: [www.davidbodanis.com](http://www.davidbodanis.com).

De verhalen die onderweg verteld worden, gaan evenzeer over passie, liefde en wraak als over kille wetenschappelijke ontdekkingen. We komen Michael Faraday tegen, een jongen uit een arme familie in Londen, die wanhopig een mentor nodig had om hem te verheffen tot een beter leven. En Emilie du Châtelet, een vrouw die in de verkeerde eeuw werd geboren en die een plek voor zichzelf moest creëren waar ze niet bespottelijk werd gemaakt omdat ze haar verstand gebruikte. We vertellen het verhaal van Knut Haukelid en zijn groep jonge Noren, die gedwongen waren hun landgenoten te doden om een groter kwaad van de nazi's te voorkomen. We lezen over Cecilia Payne, een Engelse vrouw wier carrière verwoest werd omdat ze het lef had te kijken hoe de zon er na zes miljard jaar uit zou zien, en over een negentienjarige brahmaan, Subrahmanyan Chandrasekhar, die midden in de laaiende zomerhitte op de Indische Oceaan iets ontdekte wat nog angstaanjager was. Aan de hand van al deze verhalen – en episoden uit het leven van Isaac Newton, Werner Heisenberg en andere natuurkundigen – wordt de betekenis van elk element in de vergelijking verduidelijkt.

## Deel I: Geboorte

---



## 1. Het octrooibureau van Bern, 1905

---

Uit: *The Collected papers of Albert Einstein*, deel 1:

13 april 1901

Professor Wilhelm Ostwald  
Universiteit van Leipzig  
Leipzig  
Duitsland

Zeer geachte heer professor!

Vergeeft u alstublieft een vader die de euvele moed heeft zich tot u, geachte heer professor, te wenden in het belang van zijn zoon.

Laat ik beginnen met u te zeggen dat mijn zoon Albert 22 jaar oud is, dat... hij diep ongelukkig is over het feit dat hij geen positie heeft, en dat met de dag het denkbeeld sterker postvat dat zijn carrière is ontspoord en dat hij stuurloos is geworden. Daarnaast bedrukt het hem dat hij ons, mensen met bescheiden middelen, tot last is.

...Ik heb de vrijheid genomen mij [tot u] te wenden met het nederig verzoek... hem, indien mogelijk, een paar woorden van aanmoediging te schrijven, opdat hij weer vreugde in zijn leven en werk kan vinden.

Als u hem bovendien, voor nu of voor de komende herfst, een positie als assistent kon bezorgen, zou mijn dankbaarheid geen grenzen kennen.

...Ik neem tevens de vrijheid u mede te delen dat mijn zoon niet op de hoogte is van mijn ongebruikelijke stap.

Ik verblijf, zeer gewaardeerde heer professor, uw toegewijde dienaar,

Hermann Einstein

Een antwoord van professor Ostwald werd nooit ontvangen.

De wereld van 1905 lijkt nu veraf, maar er waren veel overeenkomsten met de huidige. In de Europese kranten werd geklaagd dat er te veel Amerikaanse toeristen waren, terwijl de Amerikanen klaagden dat er te veel immigranten waren. In de hele wereld klaagde de oudere generatie dat de jongeren geen respect meer hadden, en de Europese en Amerikaanse politici maakten zich zorgen over de onrust in Rusland. Er was iets nieuws: *aerobics* en er was een modieus vegetarisch genootschap, en de roep om seksuele vrijheid weerklonk (tegengegaan door de traditionalisten, die pal stonden voor het gezin als hoeksteen van de samenleving) en nog veel meer.

1905 was ook het jaar waarin Einstein een aantal artikelen schreef die voor altijd onze kijk op het heelal zouden veranderen. Oppervlakkig gezien leidde hij tot dat moment een rustig en plezierig leven. Als kind was hij geïnteresseerd geweest in natuurkundige raadsels en nu was hij pas afgestudeerd en niet te verlegen om veel vrienden te hebben. Hij was met een briljante medestudente getrouwd en verdiende zijn brood met een baantje bij het octrooibureau, terwijl hij de avonden en de zondagen doorbracht met cafébezoek of lange wandelingen – maar vooral had hij veel tijd om na te denken.

De brief van zijn vader had geen resultaat gehad, maar de vader van een studievriend, Marcel Grossman, fungeerde als kruiwagen om Einstein in 1902 aan zijn baantje bij het octrooibureau te helpen. De hulp van Grossmans vader was

niet zozeer nodig omdat Einsteins studieresultaten aan de universiteit beneden de maat waren – door hard blokken op de altijd bruikbare collegeaantekeningen van Grossman had Einstein net gemiddeld 4,96 uit een maximum van 6 gehaald, en dat was een behoorlijk resultaat – maar omdat een professor, die woedend was op Einstein omdat hij had gespijbeld en moppen had zitten vertellen, uit wraak slechte referenties over hem had geschreven. Er waren meer docenten geweest die zich aan zijn ongehoorzaamheid hadden geërgerd, met name de leraar Grieks van Einsteins middelbare school, Joseph Degenhart, die zich onsterfelijk heeft gemaakt met de woorden: ‘Van jou komt nooit iets terecht.’ Toen Einstein argeloos protesteerde antwoordde Degenhart: ‘Louter jouw aanwezigheid hier ondermijnt het respect van de klas voor mij.’

Einstein gedroeg zich zelfverzekerd en hij spotte tegen vrienden dat het wel leek of alle gezagsdragers eropuit waren hem te kleineren. Een jaar eerder, in 1904, had hij gevraagd bevorderd te worden van Octrooiklerk derde klas tot Octrooiklerk tweede klas. Zijn chef, dr. Haller, had het verzoek afgewezen en in zijn rapport stond dat Einstein weliswaar ‘enkele zeer goede prestaties’ had verricht, maar dat hij nog moest wachten ‘totdat hij volledig volleerd is in de werktuigbouw’.

Het gebrek aan succes begon echter aan hem te knagen. Einstein en zijn vrouw hadden hun eerste kind, een dochter die geboren werd voor ze trouwden, ter adoptie afgestaan, en nu probeerden ze een tweede kind groot te brengen met het salaris dat Einstein bij het octrooibureau verdiende. Hij was zesentwintig. Hij had zelfs geen geld om een hulp in de huishouding te betalen zodat zijn vrouw weer kon gaan studeren. Was hij echt zo slim als zijn jongere zus Maja zei, die hem bewonderde?

Hij slaagde erin een paar wetenschappelijke artikelen geplaatst te krijgen, maar veel indruk maakten ze niet. Hij mikte altijd op grote verbanden – in zijn allereerste artikel, gepubliceerd in 1901, had hij geprobeerd aan te tonen dat de krachten die een vloeistof in een rietje naar boven stuwden in

Albert Einstein op de middelbare school  
in Aarau, Zwitserland  
ETH, Zürich

principe dezelfde waren als de zwaartekracht van Newton. Maar hij slaagde er niet in die grote verbanden geloofwaardig te maken en hij kreeg vrijwel geen reactie van andere fysici. Hij schreef aan zijn zus dat hij zich afvroeg of hij het ooit zou maken.

Ook het rooster op het octrooibureau zat tegen. Als hij 's avonds thuiskwam van kantoor was de enige wetenschappelijke bibliotheek van Bern meestal gesloten. Hoe zou hij ooit een kans maken als hij zelfs niet op de hoogte kon blijven van de nieuwste vakliteratuur? Overdag maakte hij in de schaarse vrije momenten notities op blaadjes die hij in een la van zijn bureau bewaarde – die noemde hij schertsend zijn afdeling theoretische fysica. Maar Haller hield zijn werknemers scherp in de gaten en dus bleef de la na 1901 meestal dicht. Einstein raakte merkbaar achter op zijn vrienden van de universiteit. Hij sprak tegen zijn vrouw over weggaan uit Bern en proberen leraar te worden op een middelbare

school. Maar zelfs daarvan kon hij niet zeker zijn, want nog maar drie jaar tevoren had hij het ook geprobeerd – tevergeefs.

En toen, op een dag die Einstein zich later herinnerde als een mooie lentedag in 1905, ging hij met zijn beste vriend Michele Besso ('Ik mag hem erg graag,' schreef Einstein, 'omdat hij zo scherpzinnig en zo eenvoudig is') een lange wandeling buiten de stad maken, zoals ze zo vaak deden. Op die wandelingen praatten ze meestal gewoon maar wat over het werk op het octrooibureau en over muziek, maar die dag was Einstein onrustig. In de afgelopen maanden waren een heleboel van zijn ideeën vaste vorm gaan krijgen, en hij had het gevoel dat hij erg dicht bij een oplossing was, zonder te weten wat dat was. Die avond slaagde Einstein er nog steeds niet in alle draden aan elkaar te knopen, maar de volgende dag werd hij plotseling wakker met een gevoel 'van de grootste opwindings'.

Het kostte hem maar vijf of zes weken om de eerste versie van zijn artikel van ruim dertig bladzijden te schrijven. Dat was het begin van de relativiteitstheorie. Hij stuurde het artikel op voor publicatie in de *Annalen der Physik*, maar een paar weken later realiseerde hij zich dat hij iets had weggelaten. Al gauw kreeg het natuurkundetijdschrift een supplement van drie bladzijden toegestuurd. Hij bekende aan een andere vriend dat hij niet helemaal zeker wist of het supplement wel accuraat was: 'Het idee is aardig en aantrekkelijk, maar of God lacht en me een streek heeft gelapt – dat weet ik niet.' De eerste zinnen van het artikel klinken echter heel zelfverzekerd: 'De resultaten van een elektrodynamisch onderzoek, onlangs door mij in dit tijdschrift gepubliceerd, leiden tot een interessante conclusie die ik in het hiernavolgende zal afleiden.' En vervolgens, vier alinea's voor het eind van het supplement, schreef hij het uit.

$E=mc^2$  was geboren.



Eerste druk 2001  
Elfde druk 2017

ISBN 978 90 263 3134 3

© 2000 David Bodanis

© 2001, 2003 Nederlandse vertaling AmbolAnthos *uitgevers*,

Amsterdam en Jos den Bekker

Oorspronkelijke titel *E=mc<sup>2</sup>. A Biography  
of the World's Most Famous Equation*

Oorspronkelijke uitgever Walker & Company, New York

Omslagontwerp Studio Jan de Boer

Omslagillustratie © ullstein bild/Granger, NYC

Verspreiding voor België:  
Veen Bosch & Keuning uitgevers nv, Antwerpen