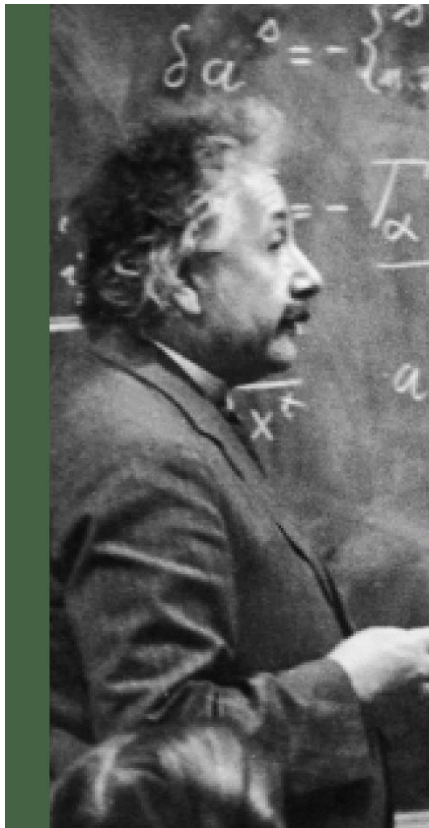


Bijlage bij het hoorcollege *Einstein*



EINSTEIN

EEN HOORCOLLEGE OVER
DE GRONDLEGGER VAN DE
MODERNE NATUURKUNDE

door Erik Lagendijk

Inhoudsopgave

[Erik Lagendijk](#)

[H1. Wie was Albert Einstein?](#)

[H2. Relaties](#)

[H3. Geboortjaar 1879](#)

[H4. Vormingsjaren: 1879-1905](#)

[H5. Het wonderjaar 1905](#)

[H6. De publicaties in het wonderjaar](#)

[H7. De gevolgen van het wonderjaar](#)

[H8. De weg naar wereldfaam: 1905-1919](#)

[H9. "Die glücklichste Gedanke meines Lebens"](#)

[H10. Golf-deeltje dualiteit](#)

[H11. "Der Herrgott würfelt nicht"](#)

[H12. De latere jaren: 1919-1955](#)

[Aanbevolen literatuur](#)

[Colofon](#)

Erik Lagendijk



Dr. Erik Lagendijk studeerde wis- en natuurkunde aan de Universiteit Leiden waar hij in 1977 promoveerde. Tot zijn pensioen in 2007 werkte hij als hoofddocent natuurkunde aan de TU Delft. Ook werkte hij daar jarenlang als opleidingsdirecteur Technische Natuurkunde. Voor het Hoger Onderwijs voor Ouderen in Leiden verzorgt hij nog regelmatig hoorcolleges.

Synopsis van het hoorcollege *Eerste Wereldoorlog*

H1. Wie was Albert Einstein?

Albert Einstein (Ulm 1879 – Princeton 1955) was een theoretisch natuurkundige. In 1905 (zijn “wonderjaar”) publiceert hij vijf baanbrekende artikelen. Een van die artikelen bevat de aanzet tot zijn beroemde formule $E=mc^2$, gevolg van zijn eveneens in dat jaar gepubliceerde speciale relativiteitstheorie. In een ander artikel, dat hij zelf “zeer revolutionair” noemt, stelt hij een wet voor het fotoelektrisch effect, op uitgaande van het bestaan van een zelfstandig lichtkwant. Voor deze wet zal hij in 1921 de Nobelprijs krijgen. In 1915 beleeft hij een tweede wonderjaar met de publicatie van zijn algemene relativiteitstheorie. Daarna volgen nog enkele belangrijke bijdragen aan de kwantummechanica en de kosmologie. Hij besteedt de rest van zijn leven vruchteloos aan een geünificeerde veldentheorie. Einstein was een vrije denker, verwant aan Spinoza en Schopenhauer. Hij gaf niet om uiterlijk vertoon, was materieel onthecht maar niet ascetisch, antimilitaristisch en antiautoritair. Men vond hem vriendelijk, toegankelijk en warmvoelend maar ook afstandelijk, verstrooid en (bijzonder) eigenwijs. Hij publiceerde meestal alleen en heeft geen promovendi gehad, laat staan een school gevormd. Hij was een verdienstelijk amateur violist. In de loop van zijn leven verklaarde hij zich steeds meer “lid van de joodse stam”. Hij verdedigde determinisme, realisme en lokaliteit van de natuur in strijd met de opvattingen van de moderne kwantummechanica.

H2. Relaties

Albert Einstein werd geboren uit een familie van joodse kooplieden. Hij was zeer gesteld op zijn ouders en zijn zuster Maja. Kort na het einde van zijn studietijd trouwt hij in 1903 met zijn studiegenote Mileva Marić. Zij hebben dan al een onecht kind, Lieserl, waarvan het lot onbekend is. Na het huwelijk krijgen zij nog twee kinderen, Hans Albert en Eduard. Zij scheiden in 1914 van tafel en bed en in 1919 definitief. Einstein heeft vanaf 1912 een relatie met zijn nicht Elsa Einstein. Zij trouwen in 1919. Er waren nog andere vrouwen in Einstein’s leven. De twee kinderen van Elsa uit een eerder huwelijk, Ilse en Margot worden adoptiefkinderen van Albert. Hij onderhield een aantal levenslange vriendschappen, vooral met vakgenoten, en hij voerde met hen en met anderen een uitgebreide correspondentie.

H3. Geboortejaar 1879

In Einsteins geboortejaar wordt ook Franz von Papen geboren, de katholieke diplomaat die Hitler aan de macht zal helpen. In 1879 overlijdt James Clerk Maxwell de natuurkundige die de wetten van het elektromagnetisch veld opstelde waar Einstein op voort zal bouwen. Antoon Lorentz, die door Einstein zijn wetenschappelijke vader genoemd wordt, is een jaar hoogleraar theoretische natuurkunde in Leiden. De industriële revolutie werpt zijn vruchten af, vooral in de elektrotechniek. De natuurkunde berust in 1879 op drie pijlers. De eerste pijler zijn de mechanicawetten van Newton en zijn wet van de universele gravitatie. Zij hebben een onaantastbare status. De tweede pijler zijn de wetten van het elektromagnetisch veld opgesteld door Maxwell. Zij zijn relatief nieuw en dus nog geen gemeengoed in 1879. De derde pijler zijn de hoofdwetten van de thermodynamica opgesteld door Joule, Kelvin, Clausius e.a. Ze leiden tot een efficiënte stoommachine en die veroorzaakt een eerste industriële revolutie. Het atoombegrip is een geaccepteerde werkhypothese in de chemie maar aan het bestaan van atomen wordt nog volop getwijfeld, ondanks succesvolle pogingen van Maxwell en Boltzmann om macroscopische verschijnselen te verklaren uit de bewegingen van atomen en moleculen (kinetische gastheorie, statistische mechanica).

H4. Vormingsjaren 1879-1905

In het begin is er twijfel aan Albert's verstandelijke ontwikkeling: hij praat nauwelijks. Op de katholieke Volksschule blijkt hij vaak de beste van de klas, vooral als het op rekenen aankomt. Op de middelbare school, een katholiek gymnasium, blinkt hij opnieuw uit in de exacte vakken. Hij leert zichzelf onder andere de differentiaal- en integraalrekening, het begin van een autodidactisch bestaan. Hij ontwikkelt een sterke afkeer van het Duitse autoritaire onderwijssysteem en van alle vormen van autoriteit, zoals religieuze. Hij verlaat voortijdig de school en volgt zijn ouders naar Italië die daar hun elektrotechnisch bedrijf voortzetten. In 1896 begint hij een studie voor leraar wis- en natuurkunde aan de Polytechnische School in Zürich (de latere Eidgenössische Technische Hochschule – ETH). Zijn studieprestaties zijn van wisselend niveau. De theoretische natuurkundetentamens haalt hij met glans, maar hij heeft moeite met de laboratoriumpraktijk. Van hogere wiskunde heeft hij geen hoge dunk. Het is dankzij de minutieuze dictaten van zijn studievriend Marcel Grossmann dat hij in 1900 met de hakken over de sloot afstudeert. Tijdens zijn studie gaat hij een intieme relatie aan met een medestudente, Mileva Marić, met wie hij later zal trouwen. Zijn banenjacht is tevergeefs totdat Grossmann hem attent maakt op een baan als patentdeskundige bij het Zwitserse patentbureau in Bern. Hij krijgt een onecht kind bij Mileva (lot onbekend) en trouwt met haar in 1903. In 1904 krijgen zij een zoon, Hans Albert. Tussen 1902 en 1905 publiceert hij vijf niet opzienbarende artikelen over statistische mechanica en thermodynamica.

H5. Het wonderjaar 1905

1905 is het geboortjaar van Graf von Stauffenberg, Albert Speer, Greta Garbo en Jean Paul Sartre. De eerste wereldoorlog werpt zijn schaduw vooruit. Sinn Fein wordt opgericht en in Rusland breekt de eerste revolutie uit. Beeldende kunstenaars en componisten (Klee, Picasso, Schönberg, Strawinski) slaan nieuwe wegen in. De gebroeders Wright blijven een half uur met een vliegtuig in de lucht. Freud publiceert essays over het orgasme van de vrouw en de emancipatie vindt in Emmeline Pankhurst een militante vertegenwoordigster. In de natuurkunde heeft Newton nog steeds onaantastbare status, al rust er een smetje op: een onverklaard deel van de periheliumbeweging van Mercurius. Maxwell heeft Newtoniaanse status gekregen door het werk van Hertz, Heaviside en Lorentz. Een belangrijk onderdeel hiervan is de bevestiging van Maxwell's vermoeden dat licht een elektromagnetisch golfverschijnsel is. Het veronderstelde medium waarin het licht golft, de ether, onttrekt zich echter aan de waarneming, zoals o.a. blijkt uit het experiment van Michelson en Morley. Lorentz construeert een theorie waarin lengtecontractie en tijddilatatie voorkomen om dit te verklaren. Planck gebruikt de theorie van Boltzmann om de stralingsdichtheid van een zwarte straler te verklaren. Hij heeft nog een hypothese nodig: de energie-uitwisseling tussen straling en materie is discreet. Daarmee is het kwant geboren. Er worden nieuwe soorten straling ontdekt (kathodestrallen, röntgen (X)stralen, alpha-, bèta-, gammastralen). En de patentklerk 3e klas Albert Einstein publiceert vijf baanbrekende artikelen.

H6. De publicaties in het wonderjaar

Van de vijf publicaties van het wonderjaar 1905 zijn er twee bedoeld om het bestaan van atomen (meer) aannemelijk te maken. Einstein gebruikt daarvoor de thermodynamica en de statistische mechanica. Nieuw is zijn fluctuatietheorie en de toepassing daarvan op vloeistoffen. Hij leidt waarden af voor het getal van Avogadro en de diameter van moleculen. Hij doet een voorspelling over de beweging van microscopisch zichtbare gesuspendeerde deeltjes ("brownse beweging") ten gevolge van fluctuaties in de botsingsdichtheid van (veronderstelde want niet zichtbare) moleculen.

In een volgende publicatie geeft hij het Plankse stralingskwant een onafhankelijke status op grond van een statistisch mechanische vergelijking tussen een deeltjesgas en straling. Daarmee leidt hij een wet af voor het foto-elektrisch effect. De twee andere publicaties hebben betrekking op het relativiteitsbeginsel in samenhang met de constantheid van de lichtsnelheid (speciale relativiteitstheorie). Hij laat zien dat uit deze twee principes de formules van Lorentz voor lengtecontractie en tijddilatatie volgen zonder tussenkomst van een ether. Hij toont aan dat de Maxwellvergelijkingen aan deze principes voldoen, maar dat de vergelijkingen van Newton aangepast moeten worden. Hij doet een voorspelling over de bewegingen van snelbewegende geladen deeltjes in elektrische en magnetische velden. Het laatste artikel van het wonderjaar is een gevolg van het vorige en bevat de aanzet tot $E=mc^2$.

H7. Gevolgen van het wonderjaar

De artikelen over de statistische mechanica van vloeistoffen vinden algemeen instemming en overtuigen een aantal sceptici van het bestaan van atomen. Perrin bevestigt in 1909 Einstein's voorspellingen over de Brownse bewegingen volledig. Het idee van een zelfstandig bestaand lichtkwant vindt echter nauwelijks aanhang ondanks de schitterende bevestiging van de wet van het foto-elektrisch effect door Millikan in 1916. Voor die wet krijgt Einstein daarom in 1921 de Nobelprijs. Het bestaan van een deeltjesachtig lichtkwant wordt pas in 1923 door Compton overtuigend aangetoond. Aanvankelijk is Einstein teleurgesteld over de reactie op zijn artikel over het relativiteitsbeginsel. Later vindt hij vooral in Planck rond 1907 een warme medestander. Nadat er enige twijfel is aan de juistheid van zijn voorspellingen van bewegingen van geladen deeltjes, bevestigen latere experimenten rond 1908 de juistheid van zijn theorie, die dan nog de Lorentz-Einstein theorie heet. Minkowski geometriseert de relativiteitstheorie van 1905 en dat blijkt de opmaat tot de algemene relativiteitstheorie die Einstein in 1915 publiceert. Deze theorie breidt het relativiteitsbeginsel uit tot versnelde stelsels en geeft een geometrische verklaring van de zwaartekracht. De equivalentie van massa en energie ($E=mc^2$) wordt in 1932 bevestigd door Cockcroft en Walton.

H8. De weg naar wereldfaam 1905-1919

In 1907 publiceert Einstein een quantumtheorie van de soortelijke warmte die experimenten verklaart die niet verklaard kunnen worden door de "klassieke" statistische mechanica van Boltzmann. Hij krijgt zijn "glücklichste Gedanke": voor wie vrij valt, bestaat geen zwaartekracht. In 1908 wordt hij docent aan de universiteit van Bern en werkt hij aan zijn "Maschinen". Hij voorspelt de buiging van lichtstralen en de roodverschuiving van uitgezonden licht in een zwaartekrachtveld. In 1909 wordt hij assistent-professor aan de universiteit van Zürich en neemt hij ontslag bij het patentbureau. In 1910 wordt zijn tweede zoon Eduard (Tete) geboren. In 1911 wordt hij hoogleraar aan de Duitse universiteit van Praag. In 1912 wordt hij hoogleraar aan de ETH Zürich en begint hij een studie van niet-euclidische "gekromde" ruimtes in samenwerking met Grossmann. In 1913 wordt hij hoogleraar in Berlijn op voorspraak van Planck e.a. Daar woont zijn nicht Elsa met wie hij sinds 1912 een verhouding heeft. In 1914 keert Mileva met de kinderen terug naar Zürich. Bij het uitbreken van WO1 openbaart Einstein zich als pacifist en internationalist. In 1915 publiceert hij zijn definitieve versie van de algemene relativiteitstheorie. De theorie dringt via Lorentz en De Sitter door in Engeland, waar Eddington een expeditie voorbereidt om Einsteins voorspelling over de lichtafbuiging te testen tijdens een zonsverduistering. Einstein voorspelt gravitatiegolven en laat zien dat zijn theorie kosmologische gevolgen heeft. Hij introduceert het mechanisme van gestimuleerde emissie van straling, het basisprincipe van de laser. In 1919 scheidt hij van Mileva en hertrouwt met Elsa. De expeditie van Eddington in 1919 bevestigt de voorspelling van zijn algemene relativiteitstheorie en dit bezorgt hem wereldfaam.

H9. “Die glücklichste Gedanke meines Lebens”

Vanaf 1907 doet Einstein pogingen zijn speciale relativiteitstheorie uit te breiden naar versnelde systemen en zoekt hij naar een relativistische theorie van de zwaartekracht. Beide problemen blijken oplosbaar als hij zich realiseert dat een toestand van vrije val in een zwaartekrachtveld equivalent is met een niet versnelde toestand. Directe gevolgen zijn afbuiging van licht in een gravitatieveld en verlaging van de frequentie van licht dat uit een zwaartekrachtveld ontsnapt (“roodverschuiving”). Einstein laat zien dat massa’s (en equivalent daarmee energie) elkaar niet op afstand beïnvloeden door een Newtonse zwaartekracht maar doordat zij de geometrie van de ruimte beïnvloeden waardoor een testmassa gaat afwijken van zijn rechte lijn. De geometrie van de ruimte is in de aanwezigheid van massa/energie niet-euclidisch. Daarbij moet ook de tijd betrokken worden als een vierde coördinaat, naast de drie ruimtelijke coördinaten. Dit idee had Minkowski al uitgewerkt voor niet versnelde “inertiaal” stelsels. De wiskundige theorie van deze “gekromde” ruimtes was al bekend door het werk van Riemann e.a. Na een aantal valse starts publiceert Einstein in 1915 de definitieve versie van zijn algemene relativiteitstheorie. Een eerste triomf is de verklaring van de abnormale periheliumbeweging van Mercurius. Een tweede triomf is de bevestiging door Eddington van de voorspelde lichtafbuiging bij de zon. De theorie voorspelt het bestaan van gravitatiegolven, die indirect zijn aangetoond. De theorie is van toepassing op de kosmos als geheel. Verschijnselen als de uitdijning van het heelal (Big Bang theorie) en het bestaan van “zwarte gaten” worden erdoor verklaard.

H10. Golf-deeltje dualiteit

Na de introductie in 1905 van een lichtkwant dat onafhankelijk van de materie bestaat past Einstein in 1907 de kwantumtheorie van Planck toe op de soortelijke warmte van vaste stoffen. Hij verklaart daarmee de waargenomen afwijking van de wet van Dulong en Petit. In 1909 past hij zijn fluctuatietheorie toe op de energie van straling. Hij komt tot de conclusie dat er twee bijdragen zijn: een die correspondeert met straling als golfverschijnsel en een andere die je deeltjesachting zou kunnen noemen. Hiermee introduceert hij de golf-deeltje dualiteit in de natuurkunde. Na de voltooiing van zijn algemene relativiteitstheorie komt hij in 1916 met het begrip gestimuleerde emissie als een van de drie mechanismen waarmee straling wisselwerkt met deeltjes. Hij geeft daarmee een nieuwe afleiding van de stralingswet van Planck en hij rechtvaardigt het idee van de bohrse kwantumsprongen. Maar het is ook het begin van zijn “Unbehagen”: speelt het toeval een onontkoombare rol in elementaire processen? In 1924 haakt hij in op een idee van Bose, die een nieuwe statistiek introduceert voor deeltjessystemen. Hij past dit idee toe op het ideale kwantumgas en toont aan in het voetspoor van De Broglie dat er sprake is van deeltje-golf dualiteit. Dit is een belangrijke inspiratiebron voor Schrödinger’s golfmechanica.

H11. “Der Herrgott würfelt nicht”

Bohr en Born geven de golf functie van Schrödinger een waarschijnlijkheidsinterpretatie. Het kwadraat van de golf functie is de waarschijnlijkheidsdichtheid om het deeltje op een bepaalde plaats en tijd aan te treffen. Dit is onderdeel van de “Kopenhagen interpretatie” van de kwantummechanica, waar ook de ineenstorting van de golf functie bij meting en de onzekerheidsrelaties van Heisenberg toe behoren. Determinisme, causaliteit en realiteit gaan verloren. Dit leidt tot de Einstein-Bohr debatten op de Solvay congressen van 1927 en 1930. Einstein geeft uiteindelijk toe dat de kwantummechanica intern consistent is, maar hij weigert te aanvaarden dat het de ultieme theorie is en vestigt zijn hoop op een geünificeerde veldentheorie. In 1935 toont hij met Rosen en Podolski aan dat de kwantummechanica, uitgaande van een bepaalde definitie van fysische realiteit, niet compleet is. Dit vestigt de aandacht op een andere eigenaardige eigenschap van de kwantummechanica: de niet-lokaliteit (“spooky actions at a distance”). Het is mogelijk deeltjes in “verstrengelde” toestanden te brengen waarin de meting aan een deeltje onmiddellijk de

toestand van het ander deeltje vastlegt ook al zijn zij lichtjaren van elkaar verwijderd, zonder dat de toestanden vooraf als realiteit bestaan.

H12. De latere jaren 1919-1955

Na 1920 ontpopt Einstein zich als zionist. Hij onderneemt diverse promotieactiviteiten onder andere voor de stichting van de Hebreeuwse Universiteit van Jeruzalem. Hij reist veel naar verre oorden. Zijn beroemdheid neemt mythische proporties aan. In 1933 verlaat hij Duitsland vanwege de opkomst van Hitler en hij vestigt zich in Princeton, USA, als medewerker van het nieuw opgerichte Institute for Advanced Studies. In 1936 sterft Elsa. Hij blijft achter met Elsa's dochter Margot en zijn secretaresse Helen Dukas. In 1939 voegt zijn zuster Maja zich bij dit gezelschap. In dat jaar ondertekent hij op initiatief van Szilard en Wigner een brief aan president Roosevelt om hem te waarschuwen voor het gevaar van een nucleaire bom. Gedurende de oorlog adviseert hij de Amerikaanse marine over torpedoafweer. Na de Tweede Wereldoorlog zal hij zijn internationalisme opnieuw uitdragen. Hij pleit voor een wereldregering met een monopolie op wapengeweld. Hij keert zich fel tegen de anticommunistische hetze van McCarthy c.s. Al die tijd vanaf 1920 werkt hij aan zijn geünificeerde veldentheorie, zonder blijvend resultaat. Hij negeert daarbij de nieuwe ontwikkelingen rond deeltjes en krachten in de kwantumtheorie, tot frustratie van zijn collega's. In 1950 wordt een aneurysma van de buikaorta ontdekt waaraan hij in 1955 overlijdt.

Aanbevolen literatuur

Er zijn veel Einstein biografieën, goede en slechte. Mijn favorieten zijn:

- Abraham Pais, *'Subtle is the lord...'* *The Science and the Life of Albert Einstein*, Oxford University Press, 1982

Een wetenschappelijke biografie bedoeld voor lezers met een natuurwetenschappelijke achtergrond. Geschreven door een vooraanstaand natuurkundige die Einstein persoonlijk heeft gekend.

- Walter Isaacson, *Einstein His Life and Universe*, Simon & Schuster, 2007. De laatste (?) in een lange reeks van semi-populaire biografieën.
- Albrecht Fölsing, *Albert Einstein* (vertaald en bewerkt in het Engels door Ewald Osers), Penguin Books Ltd, 1998

Ook semi-populair. De auteur is een fysisus. Naar mijn mening iets beter dan Isaacson.

Over de theorieën en ideeën van Einstein zijn zeer veel boeken verschenen, van kinderboeken tot wetenschappelijke monografieën. Leerzaam zijn de boeken die hijzelf geschreven heeft voor een groter publiek:

- Albert Einstein, *Einstein: mijn theorie. Over de speciale en de algemene relativiteitstheorie*, Spectrum, 1997. Uitleg voor "leken" door de meester zelf.
- Albert Einstein, *Ideas and Opinions*, Crown Publishers, 1954, 1982.
Een verzameling van algemeen werk van Einstein (essays, toespraken, etc.)

Colofon

Home Academy geeft hoorcolleges uit voor thuis en onderweg. Direct te downloaden of onbeperkt te beluisteren in de Home Academy Club. Interessante onderwerpen, van geschiedenis tot natuurwetenschappen, voorgedragen door boeiende sprekers. Zo kan je kennis opdoen in de auto, in de trein, op de fiets of thuis op de bank. Download de Home Academy app voor het beluisteren van onze hoorcolleges op een mobiel of tablet.

Kijk verder op www.home-academy.nl

Uitgave Home Academy Publishers
Middelblok 81
2831 BK Gouderak
Tel: 0182 – 370001
E-mail: info@home-academy.nl

Opname	Sandro Ligtenberg (Rotterdam, september 2010)
Stem Inleiding	F.C. van Nispen tot Sevenaer
Muziek Intro	Cok Verweij
Mastering	Frits de Bruijn
Vormgeving	Floor Plikaar

© Hoorcollege Copyright 2011 Home Academy Publishers B.V.
ISBN 978 90 8530 922 2
NUR 924, 77, 78

Alle rechten voorbehouden. Behoudens de in of krachtens de Auteurswet van 1912 gestelde uitzonderingen, mag niets uit deze uitgave worden vervoelvoudigd, uitgeleend, verhuurd, uitgezonden, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door (foto)kopieën, opnamen of enig andere manier, zonder voorafgaand schriftelijk toestemming van de uitgever.