

De Sitter en Einstein

‘Het lijkt mij dat Einstein hier een vergissing begaan heeft’

JAN GUICHELAAR*

ABSTRACT

De Sitter and Einstein

Willem de Sitter's interest in gravity was based on his work on celestial mechanics, in particular on the four big moons of Jupiter. His work on cosmology was based on the general theory of relativity of Albert Einstein. De Sitter published in 1917, on request of Arthur Eddington to inform the English astronomers, a series of four articles in *The Observatory* and the *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. Einstein developed his own cosmological models, containing mass. De Sitter found a different solution and described a universe without mass. Einstein could not accept De Sitter's model and they 'fought out' two controversies in their correspondence. In the end Einstein had to confess De Sitter was mainly right in his criticisms. In 1932 Einstein and De Sitter published an article on a new model, the so-called Einstein-De Sitter Model of the universe. So, De Sitter was able to do fundamental work in classical celestial mechanics as well as in the new cosmological theories.

Keywords: Cosmology; Einstein-De Sitter Universe; controversies

‘It is a strange chance that, of his most conspicuous contributions, one should relate to the Jovian system – first-fruits of the invention of the telescope – and the other to the remotest systems that the telescope has yet revealed’.

Arthur Eddington.¹

Bovenstaande woorden schreef Arthur Eddington (1882–1944) na de dood van Willem de Sitter in diens overlijdensbericht uit 1934. Hij wees daarmee op de klassieke zwaartekrachtstheorie van Newton, die de basis vormde van De Sitters dertigjarige studie van de vier

* Theoretisch fysisch (gepensioneerd), Universiteit van Amsterdam.
E-mail: j.guichelaar4@gmail.com.

¹ Arthur S. Eddington, ‘Obituary Prof. Willem de Sitter’, *Nature*, 134 (15 December 1934).

grootste manen van Jupiter, en tevens op de toen recente gravitatie-theorie van Albert Einstein (1879–1955). De drijvende kracht achter vrijwel al De Sitters wetenschappelijke werk is de zwaartekracht.

Zijn proefschrift in 1901 was het resultaat van zijn werk aan waarnemingen van de manen van Jupiter van Sir David Gill (1843–1914). Gill was directeur van de sterrenwacht op Kaap de Goede Hoop, toen De Sitter er twee jaren als leerling-astronoom doorbracht. De Sitter leverde later een bijdrage aan de theorie van de hemelmechanica: hij ontwikkelde een nieuwe analytische theorie voor de manen van Jupiter. Met deze nieuwe theorie plaatste De Sitter zich in de rij theoretici van de hemelmechanica: Pierre-Simon Laplace (1749–1827), Cyrille Souillard (1828–1898), George William Hill (1838–1914), François Félix Tisserand (1845–1896) en Henri Poincaré (1854–1912).

Zijn werk aan de kosmologie is gebaseerd op de gravitatie-theorie van Einstein. In het voorjaar van 1916 behandelde Hendrik Lorentz (1853–1928) op zijn maandagochtendcolleges in Leiden de toen net verschenen algemene relativiteitstheorie. De Sitter zat in de collegebanken en slaagde erin zich de theorie snel eigen te maken. Hij publiceerde al snel (in 1916 en 1917) vier invloedrijke artikelen, een in *The Observatory* en drie in de *Monthly Notices van de Royal Astronomical Society*. De Sitter was dus in staat om nieuw werk te doen in de klassieke hemelmechanica en ook in de moderne relativiteitstheorie. In deze combinatie heeft hij zijn gelijke niet gehad.²

Afkomst en opleiding

Willem de Sitter stamde uit een patriciërsfamilie, sinds begin achttiende eeuw woonachtig in Groningen. Willem, grootvader van de astronoom, bekleedde een groot aantal politieke en bestuurlijke functies. Als burgemeester van Groningen zorgde hij direct na Thorbeckes wet op het middelbaar onderwijs van 1863 voor de stichting van een Hoogere Burger School (HBS), die in 1864 startte. Grootvader Willem trouwde met een vrouw uit de Nederlandse adel: Wilhelmina Petronella, barones Rengers. Een van hun kinderen was Lamoraal Ulbo, de vader van de astronoom. Deze werd substituut-griffier en rechter van de arrondissementsrechtbank in Sneek. Hij trouwde met Catharine Bertling en in 1872 werd zoon Willem geboren. Later werd Lamoraal rechter te Rotterdam en ten slotte in Arnhem, waar hij uiteindelijk president van het gerechtshof werd.

Als kind was Willem de Sitter al geboeid door de sterren. In de tuin in Arnhem zette hij een kijkertje in elkaar. Hij mijmerde over de bouw van het heelal en fantaseerde over een

2 Voor de analyse van De Sitters bijdragen aan de relativiteitstheorie zijn de *Einstein Papers* van belang, in het bijzonder het werk van Michel Janssen, 'The Einstein-De Sitter-Weyl-Klein Debate', in: John Stachel [e.a.] (eds.), *Collected Papers of Albert Einstein*, vol. 8A (Princeton 1999) 351–357 (hierna aangehaald als CPAE). Online te vinden op: <http://einsteinpapers.press.princeton.edu>. Zie ook Janssens uiterst lucide bijdrage 'No Success Like Failure ... Einstein's Quest for General Relativity, 1907–1920', in: Michel Janssen & Christoph Lehner (eds.), *The Cambridge Companion to Einstein* (New York 2014). Online op: <http://philsci-archive.pitt.edu/4377/>. Belangrijk voor de receptie van Einsteins theorie is ook Stefan Röhle, *Willem de Sitter in Leiden – Ein Kapitel in der Rezeptionsgeschichte der Relativitätstheorien* [Dissertation; Johannes Gutenberg-Universität] (Mainz 2007). Bij mijn onderzoek als gast van de Sterrewacht Leiden in de jaren 2005–2008 heb ik veel steun gehad van David Baneke, die in die jaren het Sterrewachtarchief inventariseerde. Het archief ligt nu in de Universiteitsbibliotheek in Leiden. Veel van dit onderzoeksmateriaal heeft de basis gelegd voor mijn biografie over Willem de Sitter, waaruit ook materiaal gebruikt is voor dit artikel. Zie: Jan Guichelaar, *De Sitter, een alternatief voor Einsteins heelalmodel* (Amsterdam 2009).

geheel andere aarde.³ In 1885 werd Willem ingeschreven op het Stedelijk Gymnasium in Arnhem. Na die opleiding koos hij er in 1891 voor om wiskunde te gaan studeren in Groningen, waar hij lid werd van het Groninger Studenten Corps *Vindicat Atque Polit*. Willems toekomstige leermeester, de sterrenkundige Jacobus Kapteyn (1851–1922) was populair onder de studenten. In de almanak van 1893 kwamen diens colleges aan de orde: ‘De colleges in astronomie van professor Kapteyn waren ook dit jaar zeer interessant’, en ‘Over de lessen over astro-physics, die ZHG ons dit jaar zal geven, verheugen we ons reeds bij voorbaat’.⁴ Wellicht waren het de prachtige voordrachten van Kapteyn die Willem ertoe brachten een studentenbaan bij hem aan te nemen. Niet direct om sterrenkunde te gaan studeren, want ‘wiskundige’ worden bleef zijn doel. Maar eind 1896 kwam de astronoom Gill voor enkele dagen op bezoek bij zijn goede vriend Kapteyn. Dat zou Willems overzichtelijke studieplannen geheel overhoop gooien.

De Sitters leermeesters

Kapteyn werd geboren in Barneveld, waar zijn ouders een kostschool leidden met als voertaal Frans. Zijn eerste astronomische waarnemingen deed hij met een van zijn vader gekregen kijker. Hij was zeer getalenteerd en ging in 1868 in Utrecht wis- en natuurkunde studeren, waar hij in 1875 bij Cornelius Grinwis *magna cum laude* promoveerde op het proefschrift *Onderzoek der trillende platte vliezen*.⁵

Gill, afkomstig uit een familie van klokkenmakers in Schotland, studeerde in Aberdeen en volgde onder andere colleges van James Maxwell. Daarna leerde hij het vak van klokkenmaker en kwam hij bij zijn vader in de zaak. De beroepsnoodzaak om de tijd goed te meten bracht hem in aanraking met de astronomie. Dit werd zijn grote liefde en hij vervolgde zijn carrière in de sterrenkunde. Gill werd in 1879 Astronomeer Royal at the Cape of Good Hope. Met een camera, die met de sterrenhemel meedraaide, slaagde Gill erin om een foto van de ‘Grote Komeet’ uit 1882 te maken. Op die foto zag Gill ook grote hoeveelheden sterren. Het idee om met foto’s sterrenkaarten te maken, met plaatsen en helderheden, was daarmee geboren. Het arbeidsintensieve vastleggen tijdens het waarnemen van de posities van sterren zou zo kunnen verdwijnen. Gills mededeling hierover aan de Parijse Académie des Sciences markeerde het beginpunt van een nieuwe periode in de sterrenkunde. De eerste foto’s voor de sterrencatalogus voor de zuidelijke hemel, de *Cape Photographic Durchmusterung*, werden gemaakt in 1885. Kapteyn, die niet beschikte over een eigen telescoop om waarnemingen te doen, bood aan om alle platen uit te meten met een gezamenlijk te ontwikkelen instrument. Hun sterrencatalogus met de gegevens van ongeveer 450.000 sterren aan de zuidelijke sterrenhemel verscheen tussen 1895 en 1900.

Werken bij David Gill en promotie bij Kapteyn

Begin oktober 1896 ontmoette Gill in Groningen voor het eerst de dan 24-jarige student De Sitter, die als rekenaar Kapteyn ondersteunde. Hij zag hem aan het werk in het sterrenkundig laboratorium van Kapteyn en werd getroffen door de ernst en capaciteiten van De Sitter.

3 Elonora de Sitter-Suermondt, *Een menschenleven* (Haarlem 1948).

4 Groninger studenten-almanak (Groningen 1893).

5 Zie voor meer informatie de biografie door Pieter C. van der Kruit, *Jacobus Cornelius Kapteyn. Born Investigator of the Heavens* (Cham Switzerland 2015).

Hij bood hem een baan aan als computer, rekenaar, op het observatorium op de Kaap, zeker ook met het doel om hem in de praktische astronomie in te wijden.

Na zijn doctoraal examen vertrok De Sitter, aan boord van de *Hawarden Castle*, op 7 augustus 1897 vanuit Southampton naar Kaapstad. Daar bood Gill begin 1898 aan diens heliometerwaarnemingen te gebruiken om de baangegevens van de manen van Jupiter en de massa van de planeet te bepalen, zodat De Sitter daarover zijn dissertatie kon schrijven. Met een heliometer, oorspronkelijk bedoeld om de variaties in de doorsnede van de zon te meten, hadden Gill en zijn assistent William Finlay (1849–1924) in 1891 waarnemingen verricht aan de manen van Jupiter. Hoewel Gill bij dit aanbod Kapteyn niet had geraadpleegd, voelde deze zich in het geheel niet gepasseerd. Deze juichte het plan zelfs toe: ‘Hij [De Sitter] is een gelukkige jongen, zoals hij zelf heel goed beseft’.⁶ Dit aanbod om zijn waarnemingen te gebruiken was een meesterzet van Gill. Wanneer De Sitter nog een toekomst als wiskundige voor zich had gezien, was er nu voor hem geen weg meer terug. Hij werd astronoom. De manen van Jupiter zouden hem meer dan dertig jaar bezighouden.

De Sitter had de tijd van zijn leven op de Kaap, zeker nadat hij Eleonora Suermondt had ontmoet. Zij was de dochter van koffieplanter Benjamin Alexander Suermondt uit het toenmalige Nederlands-Indië. Haar grootvader van moeders kant was de beruchte Jacobus van der Wiel. In 1852, na ontslag uit zijn functie als opziener 1^e klas van waterstaat te Surakarta had deze man besloten voor zichzelf te beginnen als zeerover. Hij ‘werkte’ in de straat Madura onder de naam Monseigneur de Mérode. Na De Sitters huwelijk zou een oom uit de familie zeggen nooit te wanhopen wanneer je kinderen een weg gingen bewandelen die je niet zou aanstaan, immers een kleindochter van de zeerover was nu getrouwd met een befaamd sterrenkundig hoogleraar te Leiden.⁷

Tussen Willem en Eleonora was het liefde op het eerste gezicht en zij trouwden in december 1898 in Kaapstad. Eind 1899 kregen zij in Zuid-Afrika een zoontje, naar zijn grootvader Lamoraal Ulbo genoemd, en met weemoed keerden zij net voor de eeuwwisseling, met de baby en een forse stapel heliometerwaarnemingen, naar Nederland terug. Daar ging het echtpaar begin 1900 naar Groningen.

Toen moest het werken aan De Sitters proefschrift pas echt beginnen. Promotor Kapteyn gaf hem alle ruimte om aan de manen van Jupiter te gaan rekenen. Voor zijn eigen werk had Kapteyn dus minder aan hem, maar hij vond toch dat hij zich geen betere assistent kon wensen.⁸ De promotie werd vastgesteld op 17 mei 1901. Op zijn proefschrift *Discussion of Heliometer-Observations of Jupiter’s Satellites* promoveerde De Sitter *cum laude* tot doctor in de wis- en sterrenkunde.⁹ Een uur later promoveerde hij op 26 stellingen ook tot doctor in de wis- en natuurkunde.

Gill was heel tevreden met de analyse van de resultaten. In het bijzonder was hij enthousiast over het feit dat De Sitter waarschijnlijk de zogeheten Laplacelibratie had gevonden.¹⁰ Dit verschijnsel is gebaseerd op de bijzondere verhouding, commensurabiliteit, van de omlooptijden van de binnenste drie grote manen Io, Europa en Ganymedes (1 : 2 : 4). De

6 University Library Cambridge, archive Royal Greenwich Observatory (hierna aangehaald als RGO), 15/128, Box 2, januari 1898, 3 februari 1898.

7 Annemie Mac Gillavry, *Want ik heb uw vader gekend* (Bussum 1978) 172.

8 RGO 15/128, Box 2, 9 maart 1900.

9 W. de Sitter, *Discussion of Heliometer-Observations of Jupiter’s Satellites, made by Sir David Gill K.C.B. and W.H. Finlay M.A.* (Groningen 1901).

10 RGO, 15/130 5 juni 1901 (ontvangen 10 juni).

Sitter zou deze specifieke verhouding later ook gebruiken voor een nieuwe analytische theorie van de vier grote manen van Jupiter. Maar eerst moest hij werken aan zijn carrière. Op 1 oktober 1901 hield hij zijn openbare les als privatdocent aan de Universiteit van Groningen. Er moest nu flink gepubliceerd worden om ooit ergens in aanmerking te komen voor een professoraat.

Hoogleraar in Leiden en de ongrijpbare gravitatie

In 1908 kwam er een kans op een leerstoel. Hendricus van de Sande Bakhuyzen (1838–1923) zou vanwege het bereiken van de 70-jarige leeftijd met emeritaat gaan. Er volgde echter een wat verwarrende tijd, waarbij meerdere opties voor de opvolging passeerden. Na veel onduidelijkheid werd de leerstoel sterrenkunde gesplitst: Ernst van de Sande Bakhuyzen (1848–1918) werd directeur van de Leidse Sterrewacht en zou als hoogleraar de praktische sterrenkunde doceren, terwijl De Sitter werd benoemd tot hoogleraar theoretische sterrenkunde. Voor De Sitter pakte dit alles goed uit. Hij kon zich ongestoord aan zijn theoretisch werk wijden. Hij zou een zeer productief decennium tegemoet gaan. In zijn Leidse oratie ging De Sitter onder meer in op de gravitatie:

De gravitatiewet is nog steeds onaangetast, heeft nog geene bevredigende verklaring gevonden. [...] De gravitatie is niet onderworpen aan absorptie, niet aan breking, geen voortplantingssnelheid is geconstateerd, op alle lichamen werkt zij gelijkelijk zonder onderscheid, overal en altijd vinden wij haar terug in denzelfden strengen en eenvoudigen vorm, waarop al onze pogingen om in haar innerlijk mechanisme door te dringen afstuiten.¹¹

De noodzaak door te dringen tot het mechanisme van de zwaartekracht werd versterkt door het nog steeds niet afdoende opgeloste probleem van de extra verschuiving van 43 boogseconden per eeuw in de periheliumverschuiving van Mercurius. Urbain le Verrier (1811–1877) had de oplossing voor deze extra verschuiving gezocht in de hypothese van een nog onbekende planeet, door hem ‘Vulcanus’ genoemd, die zou bewegen binnen de baan van Mercurius. Hugo von Seeliger (1849–1924) daarentegen dacht aan een verklaring waarin stofwolken een rol speelden. De best passende en daarmee definitieve verklaring werd eind 1915 gegeven door de algemene relativiteitstheorie van Einstein. In 1905 had Einstein de speciale relativiteitstheorie gepubliceerd. De Sitter zette zich aan het rekenen om uit te vinden wat diens theorie betekende voor zijn werk in de praktische astronomie, onder andere voor zijn werk aan de manen van Jupiter. Ook probeerde hij het effect te berekenen op de periheliumdraaiing van Mercurius. In een artikel voor de *Monthly Notices van de Royal Astronomical Society* beschreef De Sitter in 1911 een aantal van zijn resultaten.¹² Volgens hem zou het perihelium volgens het relativiteitsprincipe al gaan draaien wanneer er twee lichamen bij betrokken waren. Dat zou dan ook invloed kunnen hebben op de periodieke oplossingen van het drie- en vierlichamenprobleem uit de hemelmechanica. Met dat laatste was De Sitter bezig om zijn nieuwe theorie van de manen van Jupiter te ontwikkelen. Hij stelde zich twee doelen: welke krachtwet komt in de plaats van de klassieke gravitatiewet van Newton? En hoe kunnen bewegingen in één coördinatenstelsel omgewerkt worden naar een ander

11 Willem de Sitter, *De nieuwe methoden in de mechanica der hemellichamen* [oratie Leiden] (Groningen 1908).

12 W. de Sitter, ‘On the bearing of the Principle of Relativity on Gravitational Astronomy’, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* (hierna afgekort als *MNRAS*) 71:5 (1911) 388–415.

stelsel? Voor de extra periheliumdraaiing van Mercurius vond hij 7,15 boogseconden. Veel te weinig dus, maar duidelijk was dat Einsteins theorie invloed had op zijn werk. Hij moest er terdege rekening mee houden.

Een ander punt was de mogelijke absorptie van de zwaartekracht: bij een maansverduistering zou de zwaartekracht van de zon op de maan wellicht kleiner zijn vanwege absorptie. De fluctuaties in de lengte van de maan waren door de Canadees-Amerikaanse sterrenkundige Simon Newcomb (1835–1909) uit oude waarnemingen berekend, maar konden niet verklaard worden met de gangbare theorieën. De Sitter, uitgaande van de theorie dat de absorptie evenredig was aan de massa van de aarde tussen zon en maan in, besteedde er uitgebreide berekeningen aan. De vergelijking van zijn resultaten met de beschikbare waarnemingen bracht hem tot de conclusie dat de overeenkomsten redelijk waren voor een aantal kortere periodes in de afgelopen eeuwen. Maar voor andere perioden bleven er, na aftrek van de resultaten van de berekeningen, nog afwijkingen over in de lengte van de maan. Deze nog onverklaarde verschillen zouden volgens De Sitter een andere oorzaak moeten hebben. Uiteindelijk concludeerde hij dat er geen redenen waren om absorptie aan te nemen.

Een ander aspect van de speciale relativiteitstheorie was de constantheid van de lichtsnelheid voor elke waarnemer. In 1912 hield Paul Ehrenfest (1880–1933), benoemd als opvolger van Lorentz, zijn oratie over de crisis van de etherhypothese. Een van de punten in zijn rede ging over een *experimentum crucis*, een beslissend experiment om te kiezen tussen de theorie van Einstein of de emissietheorie van Walter Ritz (1878–1909): ofwel was de waargenomen snelheid van het licht voor elke waarnemer gelijk, of afhankelijk van de snelheid van de zender. Het idee was verbazend eenvoudig: neem twee lichtbronnen, een in rust ten opzichte van de waarnemer en de ander er snel naartoe bewegend. Beiden zenden een lichtsignaal uit en de waarnemer meet of ze even snel een buis voor zijn oog doorlopen. Op aarde kon dit experiment echter niet met de beschikbare meetnauwkeurigheid uitgevoerd worden. De Sitter begreep dat de astronomie wellicht dit experiment kon leveren door te kijken naar dubbelsterren. Bij dubbelsterren, die met grote snelheden om elkaar heen draaien (soms wel met $v = 100$ km/s) en op afstanden van de aarde staan van bijvoorbeeld enkele tientallen lichtjaren, lopen de lichtstralen met snelheid $c-v$ (één van de twee sterren beweegt van de aarde af) een vertraging op en die met $c+v$ (deze ster beweegt naar de aarde toe) komen eerder aan dan lichtstralen met snelheid c , aangenomen dat de aarde in het baanvlak van de dubbelster staat. Zo zouden deze stralen tegelijkertijd kunnen arriveren. Maar niets wees daarop. Hier had De Sitter het *experimentum crucis*. Uit alle beschikbare waarnemingen aan dubbelsterren kwam namelijk een gewone Keplerse baan van de twee sterren. Dus kon het principe van Ritz niet waar zijn en moest de lichtsnelheid constant zijn voor elke waarnemer. De Sitter had zijn idee snel uitgewerkt en bood op 14 februari 1913 al een kort artikel aan het *Physikalische Zeitschrift* aan.¹³

Eerste correspondentie met Einstein

De oplossing van het gravitiemysterie werd uiteindelijk gegeven door Einsteins algemene relativiteitstheorie. Gekromde ruimte was uiteindelijk de basis van Einsteins nieuwe theorie. Hij zou gebruik maken van de complexe niet-Euklidische wiskunde, ontwikkeld door

13 W. de Sitter, 'Ein astronomischer Beweis für die Konstanz der Lichtgeschwindigkeit', *Physikalische Zeitschrift* 14 (1913) 429.

de Duitse wiskundige Bernhard Riemann (1826–1866). Einsteins vriend, de wiskundige Marcel Grossmann (1878–1936), hielp hem met het toepassen van deze wiskunde om de gravitatieproblemen op te lossen: ‘Grossmann, je moet me helpen, anders word ik gek,’ zei Einstein tegen hem.¹⁴

Een gebeurtenis in de ruimte-tijd ligt vast door vier coördinaten x_μ ($\mu = 0, 1, 2, 3$, met 1, 2, 3 voor de ruimte en 0 voor de tijd). De kromming van de 4-dimensionale ruimte-tijd werd door Einstein en Grossmann beschreven met de zogenoemde metriek $g_{\mu\nu}$ ($\mu, \nu = 0, 1, 2, 3$) bestaande uit $4 \times 4 = 16$ functies van de plaats-tijd x_μ . De metriek of metrische tensor beschrijft de gekromde ruimte-tijd. De wiskunde was al moeilijk genoeg. Maar waardoor werd de metriek nu bepaald? Het is duidelijk dat de vulling van de ruimte, de massa’s, de energie en de snelheden of impuls die zij hebben invloed hebben op de ruimte die zij innemen en ook op de ruimte er omheen. Het kan zo gezegd worden: de energie-impuls bepaalt de kromming (metriek) van de ruimte en de metriek bepaalt op zijn beurt de beweging van de massa’s en lichtstralen. Dat gebeurt natuurlijk volgens vaste wetten. Het waren deze wetten en vergelijkingen waarnaar Einstein op zoek was.

Einstein publiceerde eind 1915 zijn definitieve veldvergelijkingen. Het linkerlid $G_{\mu\nu}$ ($\mu, \nu = 0, 1, 2, 3$) bevatte de metriek $g_{\mu\nu}$. Het rechterlid bevatte de diverse componenten van de massa’s, de energie en de impuls in de ruimte (de zogenaamde energie-impulstensor $T_{\mu\nu}$). Zeer schematisch: $G_{\mu\nu} = -\kappa T_{\mu\nu}$. De constante κ verbindt linker- en rechterlid, ruimtekromming en materie. Er geldt: $\kappa = 8\pi G/c^4$ met G de gravitatieconstante van Newton en c de lichtsnelheid. Einstein zelf berekende eind november 1915 met zijn nieuwe theorie de missende draaiing van het perihelium van Mercurius. Hij vond 43 boogseconden per eeuw, binnen de meetnauwkeurigheid de juiste waarde. Het was het eerste succes van zijn algemene relativiteitstheorie. Einstein was er dagen van ondersteboven.

De theoretisch fysici in Leiden, in het bijzonder Lorentz, Ehrenfest en De Sitter volgden de ontwikkeling van de algemene relativiteits theorie nauwkeurig, ook al toen Einstein een ontwerptheorie in januari 1914 publiceerde.¹⁵ In die maand maakte De Sitter naar aanleiding van een lezing van Lorentz bij Teylers genootschap, enkele aantekeningen over Einsteins voorlopige gravitatie-ideeën in een studieschrift. Hij vond enkele zaken ‘absoluut onbegrijpelijk’ en vroeg zich af: ‘Maar is dit Einsteins laatste woord?’¹⁶

Eind november 1915 publiceerde Einstein de definitieve covariante versie van de veldvergelijkingen van zijn algemene relativiteitstheorie. De Sitter berekende eind december al de periheliumdraaiing van Mercurius en kwam tot de conclusie dat van de ‘stofwolken’ theorie van Seeliger ‘niets over blijft’.¹⁷ De Sitter stortte zich met zijn hele mathematisch-astronomische ziel op de algemene relativiteits theorie en correspondeerde er veel met Lorentz over. Hij maakte ook veel fouten en schreef: ‘Ik geloof dat weinig mensen zooveel vergissingen maken als ik – het verbeteren van deze kost mij gewoonlijk minstens even veel tijd als de berekeningen zelf’.¹⁸

Op 24 juni 1916 presenteerde De Sitter een artikel aan de Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen over ‘De planetenbeweging en de beweging van de maan volgens

14 A. Pais, *Subtle is the Lord. The science and the life of Albert Einstein* (Oxford 1982; 2005²) 212.

15 A.J. Kox, ‘Einstein, Lorentz, Leiden and general relativity’, *Classical and Quantum Gravity* 10 (1993) 187–191.

16 Universiteitsbibliotheek Leiden, archief Willem de Sitter (hierna aangehaald als AWdS), Studieschrift, januari 1914.

17 AWdS, Studies S 12.

18 Noord-Hollands Archief, Haarlem, archief Lorentz, inv. nrs. 364–371.

de theorie van Einstein.¹⁹ De Sitter vond voor de periheliumverschuiving van Mercurius 42,9 boogseconden per eeuw, na enige acceptabele benaderingen, op een eenvoudiger wijze dan Einstein. Hij waagde zich ook aan de maan, die beweegt in het zwaartekrachtsveld veroorzaakt door zon en aarde. Hij vond voor de maan een seculaire (steeds doorlopende en niet periodieke) beweging van het perigeum (punt het dichtste bij de aarde) van 1,91 boogseconden per eeuw. Het moet hem veel genoeg hebben gedaan om zo snel al een vereenvoudigde afleiding van de periheliumverschuiving van Mercurius berekend te hebben en ook met de storingsrekening een resultaat gevonden te hebben voor de maan, hoewel de meetbaarheid daarvan toen nog onduidelijk was. De Sitter had de metrische tensor die hij gebruikt had per brief aan Einstein gestuurd, die hem op 22 juni 1916 onder meer antwoordde, dat hij nieuwsgierig was naar de maanbeweging en het hem verblijdde dat De Sitter zo veel genoeg beleefde aan de algemene relativiteit.²⁰ Iets later schreef De Sitter aan Einstein dat hij doende was met een verhandeling voor de maandelijkse berichten van de Royal Astronomical Society over de nieuwe gravitatie-theorie en haar astronomische consequenties: 'Uw theorie schijnt in Engeland nog vrijwel onbekend te zijn.'²¹

In juni en juli 1916 liet Eddington aan De Sitter weten dat hij en anderen zeer geïnteresseerd waren in de nieuwe theorie, maar dat nog niemand de originele artikelen had kunnen lezen.²² De oorzaak hiervan was de Eerste Wereldoorlog, die het wetenschappelijk verkeer tussen Duitsland als centrale mogendheid en de geallieerde landen vrijwel tot stilstand had gebracht. Nederland was neutraal en kon als *trait-d'union* fungeren. De Sitter was al sinds 1909 geassocieerd lid van de Royal Astronomical Society en vanwege zijn overige werk en publicaties een in Engeland bekend en gewaardeerd astronoom. Hij had al over meerdere aspecten en problemen van de oude gravitatie-theorie en over de speciale relativiteitstheorie gepubliceerd. Hij zette zich maar al te graag aan de arbeid om in de Engelse taal te berichten over de nieuwe gravitatie-theorie om de Engelstalige wetenschappelijke gemeenschap op de hoogte brengen. De Sitters eerste publicatie voor de Engelse wetenschappers verscheen in oktober 1916 in *The Observatory*.²³ Het is een artikel waarin hij, vrijwel zonder formules, de wezenlijke aspecten van de algemene relativiteitstheorie behandelde.

Nog in hetzelfde jaar verscheen het eerste van zijn drie beroemde artikelen in de *Monthly Notices van de Royal Astronomical Society*.²⁴ De Sitter leidde de nieuwe theorie af vanuit eerste beginselen, waarbij hij schreef dat veel van de resultaten afkomstig waren van een serie voordrachten in het begin van 1916. Hij noemde Lorentz niet, hoewel het zonder twijfel de maandagochtendcolleges waren. Hij noemde wel uitdrukkelijk ook zijn discussies met Lorentz, Ehrenfest en Johannes Droste (1886–1963). In de tweede helft van het artikel analyseerde hij het gravitatieveld van de zon, de roodverschuiving van lichtstralen, afkomstig van het oppervlak van de zon, de zeer kleine invloed op het gravitatieveld als gevolg van

19 W. de Sitter, 'De planetenbeweging en de beweging van de maan volgens de theorie van Einstein' *Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen. Verslag gewone vergadering* 25 (24 juni 1916) 232–245. Ook gepubliceerd in het Engels als 'Planetary motion and the motion of the moon according to Einstein's theory', *Proceedings KNAW* 19:2 (1917) 367–381.

20 CPAE, 8A, document 227.

21 Ibidem, document 243.

22 Ibidem; Röhle, *De Sitter* (n. 3).

23 W. de Sitter, 'Space, Time and Gravitation', *The Observatory* 39 (1916) 412–419.

24 W. de Sitter, 'On Einstein's Theory of Gravitation, and its Astronomical Consequences. First Paper', *MNRAS* 76 (1916) 699–728.

de rotatie van de zon en de beweging van een kleine planeet rond de zon. Uit deze laatste berekeningen leidde hij wijzigingen in de wetten van Kepler af en tenslotte opnieuw de periheliumdraaiingen van de planeten.

Het tweede artikel voor de Royal Astronomical Society schreef De Sitter in september-oktober in Leiden.²⁵ Naast de al in het eerste artikel genoemde collega's en vrienden, noemde hij het grote voorrecht enkele malen met Einstein in Leiden gesproken te hebben. De Sitter behandelde nu in eerste instantie het gravitatieveld van n lichamen, op basis van een artikel van Droste. Het doel was om de beweging van één lichaam onder invloed van de andere lichamen te berekenen. In een coördinatenstelsel met oorsprong in de zon berekende hij de effecten op de maanbaan. Deze waren de som van drie delen. Het eerste was het tweelichamenprobleem maan-aarde sec, waaruit dan een verdraaiing van het perigeum volgde van 0,06 boogseconden per eeuw. Theoretisch een mooi resultaat, maar zeer klein. Het tweede deel behandelde de invloed van de zon, waarbij de som of superpositie, van de twee velden aarde en zon genomen werd alsof de ander niet bestond, en het derde behandelde de gevolgen van de 'interferentie' van de twee velden op de maan. De interferentie-effecten leverden slechts extreem kleine oscillaties in de beweging van het perigeum op, die verwaarloosd konden worden.

Het effect van de superpositie van de twee velden van aarde en zon leverde een waarde van 1,91 boogseconden per eeuw op, waarbij de waarde van het tweelichamenprobleem van 0,06 boogseconden opgeteld moest worden. Binnen de nauwkeurigheid van de bestaande waarnemingen aan de maan konden deze waarden niet als bewijs voor of tegen Einsteins theorie gebruikt worden. Voor de maan had De Sitter hier de zogenaamde geodetische precessie uitgerekend. De definitieve bevestiging van dit effect is verkregen door metingen met de satelliet Gravity Probe B, gelanceerd in 2004.

Eerste controverse tussen De Sitter en Einstein: de verre massa's

De Sitter en Einstein ontmoetten elkaar voor het eerst in september 1916.²⁶ Einstein was op uitnodiging van Paul Ehrenfest naar Leiden gekomen. In Leiden startte hun twee jaar durende discussie over de fundamenteën van de kosmologie. In zijn studieschrift schreef De Sitter een verslag van een gesprek met Einstein, Ehrenfest en Gunnar Nordström (1881–1923) op 28 september 1916 over de relativiteit van rotatie.²⁷ Over deze en/of andere bijeenkomsten met Einstein thuis in De Sitters studeerkamer, zou zijn vrouw later in haar boek schrijven: 'beneden hoorde ik een onophoudelijk heen en weer lopen en heftig redeneren' (*fig. 1*).²⁸ Einstein wilde de hypothese van de 'afgeslotenheid der wereld'. Hij hield vol dat er in het oneindige (op mathematisch eindige afstand, maar verder dan al het waarneembare) massa's zijn, zo dat de waarden van de metrische tensor g_{uv} in elk coördinatenstelsel dezelfde zijn. Echter, dat kon zeker niet voor alle stelsels. Einstein was bereid de volkomen vrijheid van transformaties op te geven en ze te beperken tot die met één tijd- en drie ruimtecoördinaten. Kon dit niet (wat De Sitter en Ehrenfest dachten), dan was de hypothese van de afgeslotenheid onwaar. Kon het wel, dan nog vond De Sitter het in strijd met het relativiteitsprincipe.

25 W. de Sitter, Assoc. R.A.S., 'On Einstein's Theory of Gravitation, and its Astronomical Consequences. Second Paper', *MNRAS* 77 (1916) 155–184. Het 'Third Paper' verscheen in: *MNRAS* 78 (1917) 3–28.

26 D. van Delft, 'Albert Einstein in Leiden', *Physics Today* (April 2006) 57–62.

27 AWdS, Studieschrift S 12.

28 De Sitter-Suermondt, *Een mensenleven* (n. 3) 33.



Fig. 1: 'The big five' in Leiden. *Staan*d: Albert Einstein, Paul Ehrenfest en Willem de Sitter. *Zittend*: Arthur Eddington en Hendrik Lorentz. Foto gemaakt in 1923 door De Sitters zoon Ulbo. (Archief De Sitter, UB Leiden)

Dit wezenlijke punt in de discussies van De Sitter met Einstein handelt over de verwoede pogingen van Einstein de generalisatie van het relativiteitsprincipe te implementeren. In deze discussie is al duidelijk dat Einstein daar uiteindelijk niet volledig in zou slagen. In de notities uit De Sitters studieschrift S 12 staat het als volgt: 'Hij is dan ook bereid de volkomen vrijheid van transformaties op te geven, en b.v. de transformaties te beperken tot zodanige waarbij altijd één tijdscoördinaat en drie ruimtecoördinaten zijn, en waarbij ook niet een ruimte-as tijdas wordt etc.'²⁹

Deze discussie staat bekend als de eerste controverse, die over de verre massa's. De Sitter zou over de door Einstein aangedragen oneindige waarden in de metrische tensor schrijven dat het middel erger was dan de kwaal. Einstein verwierp de absolute ruimte van Newton, maar hij dacht nog wel de 'verre massa's' nodig te hebben om de traagheid te verklaren. De Sitter bood op 30 september 1916 een artikel aan de Koninklijke Akademie aan over de relativiteit van de rotatie in de theorie van Einstein. Over de verre massa's nam hij de handschoen op tegen Einstein met de opmerking 'Het lijkt mij dat Einstein hier een vergissing

²⁹ AWdS, Studies S 12.

begaan heeft'.³⁰ De noodzaak voor het bestaan van verre massa's kwam voort uit de wens om het zwaartekrachtveld in het oneindige nul te laten zijn in elk coördinatenstelsel. Met een precieze analyse van een rotatie-experiment toonde De Sitter aan dat de eis het zwaartekrachtveld nul te laten zijn in het oneindige deel is van het concept van een absolute ruimte en in een relativiteitstheorie geen fundering heeft. De controverser zou maar enkele maanden duren. Einstein nam er uiteindelijk afstand van.

Tweede controverse: de kosmologiemodellen A en B

Einstein zou begin 1917 tot de conclusie komen dat er een alternatieve weg was om tot een eindig heelal te komen, en ook nog eens een zonder de massa's in het oneindige. Hij schreef op 2 februari 1917 aan De Sitter, dat hij van de terecht door De Sitter bestreden ontaarding van de g_{uv} (de oneindige waarden) afgestapt was en vroeg zich af wat De Sitter zou vinden van zijn wat fantasische nieuwe idee.³¹ Door te kiezen voor een ruimtelijk gesloten heelal, was er geen oneindige meer en waren er dus ook geen randcondities. Verre massa's waren niet meer nodig. Het heelal was eindig, in zichzelf gekromd en gesloten, maar onbegrensd. Ter vergelijking kan een ééndimensionale wereld gekromd tot een cirkel gedacht worden: eindig maar onbegrensd. Dan geeft de ontwikkeling in de tijd in de derde dimensie een cilinder: het cilindermodel. In een later toegevoegde notitie van mei 1917 over zijn gesprekken in september 1916 in zijn studieschrift schreef De Sitter dat hij geen bezwaar had tegen eindigheid zonder begrensdheid.³² Twee dagen later zou Einstein Ehrenfest schrijven over zijn nieuwe idee. Hopelijk hadden ze geen gekkenhuis in Leiden, want dan zouden ze hem daar wel opsluiten zodra hij op bezoek zou komen.³³ Einstein publiceerde zijn nieuwe resultaten in februari 1917 via de Königlich Preussische Akademie der Wissenschaften.³⁴

Bij zijn analyse was Einstein tegen een geweldige moeilijkheid opgelopen. Het heelal was niet stabiel en zou door zijn eigen zwaartekracht imploderen. De uitweg was het toevoegen van een term λg_{uv} aan de vergelijkingen. Er belandde zo in de vergelijkingen de nieuwe constante λ , die de kosmologische constante is gaan heten. Deze kosmologische constante leverde in zekere zin de tegenkracht op, om te voorkomen dat het heelal onder invloed van zijn eigen massa in elkaar zou storten (fig. 2). Hij kon nu de gekozen metriek wel invullen in zijn vergelijkingen en tot een oplossing geraken. Daarbij kwam hij tot een paar gelijkheden tussen de groottheden: $\lambda = 1/R^2$ en $\lambda = \kappa \cdot \rho / 2$. De groottheid ρ was daarin de (gemiddelde) massadichtheid in het heelal. Door nu de ρ , overigens zeer ruw, te schatten uit de beschikbare gegevens (10^{-22} g.cm⁻³), kon Einstein de waarde van λ benaderen en vervolgens met de andere formule de straal van het heelal berekenen. Deze inschatting leverde een straal van het heelal op van tienmiljoen lichtjaar, hetgeen veel groter was dan het toen zichtbare heelal van tienduizend lichtjaar. De dichtheid was bepaald met gegevens uit onze eigen Melkweg, in die tijd het zichtbare heelal, en gaf dus een te grote waarde. De straal van het heelal kwam daarom te klein uit. Einstein schreef over 'zijn luchtkasteel' aan De Sitter. Hij twijfelde en nam zichzelf nog niet helemaal serieus: 'Nu genoeg daarover, anders lacht u me

30 W. de Sitter, 'On the relativity of rotation in Einstein's theory', *Koninklijke Nederlandsche Akademie van Wetenschappen. Proceedings*, 19-I (1917) 527–532.

31 CPAE 8A, document 293, 2 februari 1917.

32 AWdS, Studies S 12.

33 CPAE 8A, document 294, 4 februari 1917.

34 A. Einstein, 'Kosmologische Betrachtungen zur allgemeinen Relativitätstheorie', *Königlich Preussische Akademie der Wissenschaften. Sitzungsberichte* (1917) 142–145.

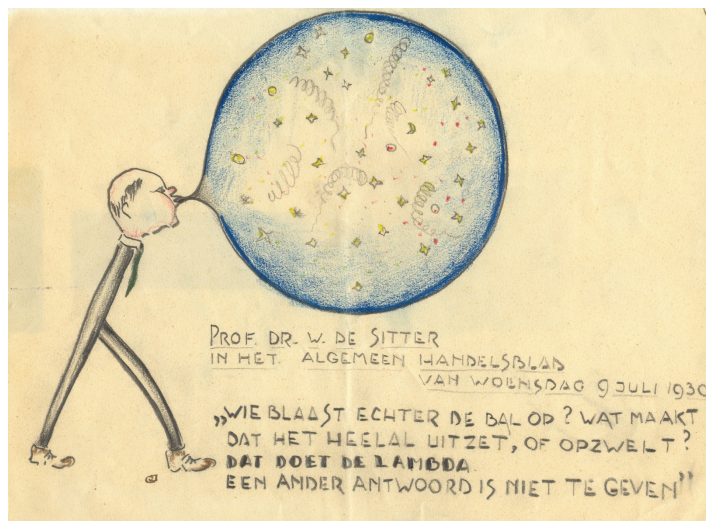


Fig. 2: Cartoon naar aanleiding van een artikel in het *Algemeen Handelsblad* van 9 juli 1930: De Sitter als de kosmologische constante λ die het heelal doet uitzetten. (Archief De Sitter, UB Leiden)

uit³⁵ Einstein was blij dat hij zijn model had kunnen doorrekenen zonder op tegenspraken te stuiten. ‘Of het met de werkelijkheid overeenkomt, is een andere vraag.’ De Sitter antwoordde op 15 maart 1917 met een kaartje, waarin hij schreef het resultaat te bewonderen, maar blij was dat Einstein het niet aan de werkelijkheid wilde opdringen.³⁶

Vijf dagen later schreef De Sitter vanuit Leiden een brief, die Einstein erg verontrustte.³⁷ De Sitter had zijn eigen oplossing gevonden van de nieuwe vergelijkingen met de kosmologische constante. Maar ‘zonder materie’, twee woorden die hij onderstreepte. Het rechterlid van de vergelijkingen werd dus nul: $G_{\mu\nu} - \lambda g_{\mu\nu} = 0$. De door hem gekozen metrische tensor kreeg in het oneindige een waarde met louter nullen en was daar dus invariant voor alle transformaties. In onze nabijheid ging de tensor over in die van de oude relativiteitstheorie. Hij kreeg voor de straal van zijn heelal $\lambda = 3/R^2$ en voor de massadichtheid dus $\rho = 0$. Ook De Sitters heelal, hij sprak over Einsteins heelal als Model A en over zijn eigen als Model B, kon als eindig beschouwd worden, waarbij een simpele geometrische voorstelling niet een cilinder werd maar een hyperboloïde. De Sitter had zijn werk op 31 maart gereed.³⁸ In een voetnoot meldde hij dat Ehrenfest hem enkele maanden daarvoor op het spoor had gezet van deze nieuwe oplossing. Einstein antwoordde vrijwel per omgaande.³⁹ Hij gaf een aantal technisch-mathematische bezwaren, waaruit hij afleidde dat De Sitters Model B geen fysische mogelijkheid kon beschrijven. Het was voor Einstein onbevredigend dat er een heelal zonder materie zou kunnen zijn. De tweede controverse was geboren. De Sitter schreef op

35 CPAE 8A, document 311, 12 maart 1917.

36 Ibidem, document 312, 15 maart 1917.

37 Ibidem, document 313, 20 maart 1917.

38 W. de Sitter, ‘Over de relativiteit der traagheid: Beschouwingen naar aanleiding van Einstein’s laatste hypothese’, *Koninklijke Nederlandsche Akademie van Wetenschappen. Verslag van de gewone vergadering der wis- en natuurkundige afdeling*, 25-II (1916–1917) 1268–1287. In het Engels verschenen als ‘On the relativity of inertia. Remarks concerning Einstein’s latest hypothesis’, *Proceedings KNAW* 19 (1917) 1217–1225.

39 CPAE 8A, document 317, 24 maart 1917.



Fig. 3: Briefkaart van Einstein aan De Sitter, gestempeld 14 april 1917, met – onder andere – opmerkingen over de grootte en meetbaarheid van de nieuw ingevoerde kosmologische constante λ . Einstein besluit met de zin: “Überzeugung ist eine gute Triebfeder, aber ein schlechter Richter”. (Archief De Sitter, UB Leiden)

1 april terug.⁴⁰ Hij oefende kritiek uit op de constante massadichtheid die in Model A de ruimte vult, terwijl uit alle waarnemingen bleek dat deze juist buitengewoon inhomogeen was. Einstein vond dat hij de bestaande inhomogene materie wel als gemiddelde in zijn oplossing mocht invoeren en dat het dus niet niet-waarneembare bovennatuurlijke materie was, zoals De Sitter gesuggereerd had (zie ook fig. 3).⁴¹ In juli kwam Einstein met het idee dat aan de ‘equator’ van De Sitters heelal, een bijzonder oppervlak in zijn model massa’s zich zouden kunnen ophopen.⁴² Er zou daar dan van een singulariteit sprake zijn. Zo dacht Einstein een ‘brug’ gevonden te hebben tussen de modellen: Model B met alle materie aan de equator geconcentreerd en Model A met alle materie gelijkelijk verdeeld. Maar De Sitter wilde er niet aan. ‘Dat zouden toch [in Model B] weer verre massa’s zijn’.⁴³ Bovendien zou die massa waarschijnlijk oneindig groot moeten zijn. Het zou volgens hem *materia ex machina* zijn om ‘Mach’s dogma’ te redden. Daarmee doelde hij op het volgende: Ernst Mach (1838–1916), fysicus en filosoof, had in 1883 in *Die Mechanik* geschreven over de ontwikkeling van de mechanica vanaf Archimedes tot en met Newton. Daarin had hij kritiek geuit op de Newtonse concepten van massa, ruimte en beweging. Mach accepteerde geen begrippen die niet uit de tastbare ervaring kwamen. Sindsdien wordt aan Mach het volgende principe toegeschreven: Alle verschijnselen die er op lijken dat ze zijn toe te schrijven aan absolute ruimte en tijd (bijvoorbeeld de traagheid) moeten worden gezien als effecten van de grootschalige verdeling van materie in het universum.

Als reactie publiceerde Einstein begin 1918 een artikel over de principiële uitgangspunten van zijn algemene relativiteitstheorie. Het Machse principe noemde hij nu expliciet, naast het relativiteitsprincipe en het equivalentieprincipe. Het expliciet benoemen van Machs stelling (en niet impliciet als onderdeel van het relativiteitsprincipe) was nodig om duidelijk te maken dat de traagheid teruggevoerd moest worden op de wisselwerking tussen

40 Ibidem, document 321, 1 april 1917.

41 Ibidem, document 351, 14 juni 1917.

42 Ibidem, document 363, 22 juli 1917.

43 Ibidem, document 370, 8 augustus 1917.

de lichamen.⁴⁴ Tevens publiceerde hij een kritische beschouwing over het De Sitterheelal, waarin hij veronderstelde dat het uiteindelijk niet een massaloos heelal is, maar één waar alle massa geconcentreerd was op het genoemde oppervlak.⁴⁵ De Sitter antwoordde met een briefje, waarin hij schreef (nog) niet te weten of die massa er in zijn model was, of niet.⁴⁶

Einstein werd gesteund in zijn mening door de Duitse wiskundige Hermann Weyl (1885–1955), die een bewijs voor Einsteins veronderstelling gegeven dacht te hebben.⁴⁷ Maar Felix Klein (1849–1925), kwam De Sitter te hulp. In enkele brieven aan Einstein toonde hij aan dat het singuliere gedrag aan de equator van het De Sitterheelal slechts door een specifieke wiskundige substitutie kwam en niets te maken had met massa ter plekke. In juni 1918, na begin juni Klein nog de oplossing van Weyl geschreven te hebben, antwoordde Einstein aan Klein, dat hij helemaal gelijk had en dat het De Sitterheelal zonder materie geen singulariteiten bevatte. Maar, voegde Einstein er aan toe, men zou deze wereld als fysieke mogelijkheid zeker niet mogen beschouwen.⁴⁸ Aan Ehrenfest schreef hij dat hij hoopte dat De Sitter, die net benoemd was als directeur van de Sterrewacht weer snel beter zou worden en dat zijn kritiek slechts gedeeltelijk waar was, 'wat mij nu bijzonder spijt'.⁴⁹ Daarmee kwam er een einde aan Einsteins mathematische verzet tegen Model B van De Sitter. Inhoudelijk, als beschrijving van de reële wereld, wilde hij er nog steeds niet aan. Begrijpelijk, want wat is een wereld zonder massa?

In november 1917 verscheen De Sitters derde artikel van zijn trilogie voor de Royal Astronomical Society. Daarin voert hij Einsteins heelal A en zijn eigen oplossing B ten tonele, waar geen wereldmaterie in voorkomt. De modellen zijn in de vorige paragraaf beschreven. De Sitter zou De Sitter niet zijn, als hij niet de waarnemingsgegevens zou relateren aan zijn theoretische model. Hij wees op het feit dat in zijn model de frequentie van lichttrillingen afnemen naarmate de afstand tot de oorsprong (r) groter wordt. Dat leidt tot een grotere trillingstijd T en een grotere golflengte λ . Als wij die waarnemen, zien we een roodverschuiving. Van een aantal sterren was in de waarnemingen inderdaad een systematische roodverschuiving waargenomen. De Sitter wees erop dat deze roodverschuiving bestaat uit twee delen. Een deel dat veroorzaakt wordt doordat het licht vanuit het zwaartekrachtveld van de ster verzonden is, en een deel dat komt doordat de waarde van de component g_{44} van de metrische tensor voor grote r kleiner is. Het tweede deel is dus afkomstig van de keuze van De Sitters metriek voor zijn Model B. In Model A van Einstein is dit tweede deel nul. Een tweede punt was dat uit De Sitters formules voor de snelheid van materiële voorwerpen volgde dat we voor zeer grote afstanden een groter deel van de hemellichamen met grote radiële snelheden konden verwachten. Ook radiële snelheden geven door het Dopplereffect een rood- of violetverschuiving van de spectraallijnen. De Sitter liet het in het midden of het snelheden van ons af of naar ons toe waren. Hij haalde er de laatste waarnemingen bij. Van drie spiraallevels, die waarschijnlijk hoorden tot de verste objecten, was door meer

44 A. Einstein, 'Prinzipielles zur allgemeinen Relativitätstheorie', *Annalen der Physik*, 55 (1918) 241–244.

45 A. Einstein, 'Kritisches zu einer von Hr. De Sitter gegebenen Lösung der Gravitationsgleichungen', *Königlich Preussische Akademie der Wissenschaften, Sitzungsberichte* (1918) 270–272.

46 CPAE 8B, document 501, 10 april 1918.

47 Ibidem, document 506, 15 april 1918.

48 Ibidem, document 567, 20 juni 1918.

49 Ibidem, document 664, 6 december 1918.

dan één waarnemer de snelheid bepaald. Het gemiddelde was 600 km/s.⁵⁰ Op basis van drie waarnemingen had dit natuurlijk weinig waarde, zoals De Sitter opmerkte. Maar als verre nevels bij voortgezette waarnemingen, systematisch positieve radiële snelheden zouden hebben, zou dat ervoor pleiten zijn Model B te accepteren. Zo niet, dan zou dat wijzen in de richting van Model A, of van Model B met veel grotere R . Ondanks de op dat ogenblik minimale observationele gegevens over radieel bewegende nevels, voelde De Sitter aan dat hij iets op het spoor was. In juni 1917 schreef hij Kapteyn om raad over de meetbaarheid van de roodverschuivingen, maar deze kon niet echt veel duidelijkheid geven over de ‘zware noten’, die hem door De Sitter ‘te kraken’ waren gegeven.⁵¹ Hij was de eerste die een, zij het zeer voorzichtig, verband legde tussen verwijderende nevels en zijn kosmologische theorie. Van een uitdijend heelal was nog geen sprake, omdat ook De Sitters Model B een statisch model was. Het zou tot 1922 (Friedman) en 1927 (Lemaître) duren alvorens niet-statische modellen als oplossing gevonden werden.

De Sitter vergeet zijn heelal tien jaar

Na het overlijden van Ernst van de Sande Bakhuyzen, begin 1918, werd De Sitter in 1919 benoemd tot directeur van de Leidse Sterrewacht (fig. 4). Zijn eigen benoemingsprocedure, de hoognodige reorganisatie van de Sterrewacht en de benoeming van onderdirecteuren, alle moeizame processen, vergden in 1918 en 1919 al zijn, inmiddels afnemende, energie.⁵² Daarna verbleef hij bijna anderhalf jaar in een sanatorium in Arosa, waar hij wel de tijd had om veel te rekenen aan kosmologie en aan de nieuwe theorie van de manen van Jupiter. De Sterrewacht, bestuurlijke universitaire en internationale functies (o.a. voorzitter van de International Astronomical Union) verhinderden De Sitter in het volgende decennium veel aan kosmologie te doen. Al deze activiteiten worden hier niet besproken. De kosmologie kwam pas weer in beeld in 1929. Eddington zou later zeggen dat De Sitter zijn heelal vergeten was.

In 1929 hield de British Association for the Advancement of Science opnieuw zijn jaarvergadering in Zuid-Afrika. De Sitter was er in 1905 op uitnodiging van Gill geweest en liet de kans om zijn geliefde Zuid-Afrika weer eens op te zoeken niet voorbijgaan. Na alle bestuurlijke verplichtingen van de laatste jaren in de senaat en als president van de International Astronomical Union had hij wat rust gekregen en een wetenschappelijke reis was precies wat hij nodig had. Hij had voor zijn vertrek contact gehad met zijn Engelse vrienden om gezamenlijk te reizen. Gezamenlijk reizen gaf de mogelijkheid om in alle rust wetenschappelijke problemen te bespreken. Zo vertrok De Sitter eind juni, samen met onder meer Frank Watson Dyson (1868–1939), William Greaves (1897–1955), Arthur Eddington, Harold Knox-Shaw (1885–1970), en Ernest Rutherford (1871–1937), aan boord van de Nestor voor een reis van bijna drie maanden naar Kaapstad.⁵³ Zij noemden zich de Astronomical Society

50 Snelheden van spiraalnevels in 1917 (bepaald door meer dan één waarnemer):

Andromeda (3 waarnemers) – 311 km/s

N.G.C. 1068 (3 waarnemers) + 925 km/s

N.G.C. 4594 (2 waarnemers) + 1185 km/s

(N.G.C. staat voor de *New General Catalogue*, een catalogus van verre voorwerpen in de ruimte, gestart in 1880.

51 Kapteyn aan De Sitter, 28 juni 1917: AWdS, 40.7.

52 Zie over deze benoemingsprocedure David Baneke, “Hij kan toch moeilijk de sterren in de war schoppen”. De afwijzing van Pannekoek als adjunct-directeur van de Leidse Sterrewacht in 1919’, *Gewina* 27 (2004) 1–13.

53 Reisverslag Zuid-Afrika. AWdS, 43.6 (N264).

of the Atlantic.⁵⁴ De Sitter had aan boord lange discussies met Eddington en de anderen, over de *arrow of time* en irreversibiliteit, over de variabele sterren van Ejnar Hertzsprung (1873–1967), over sterstromen en het heelal van Kapteyn, over dat van Harlow Shapley (1885–1972) en Jan Hendrik Oort (1900–1992), en ook over spiraalnevels. Eddington voelde nog steeds veel voor het De Sitterheelal uit 1917, dat mogelijkheden bood om de verwijderende nevels te verklaren. Dyson adviseerde hem niet door te gaan met de manen van Jupiter. Aan boord kwam het bericht dat Rutherford, De Sitter en enkele anderen een eredoctoraat van de universiteit van Kaapstad zouden ontvangen. De Sitter hield enkele lezingen in Zuid-Afrika, waaronder over spiraalnevels, de manen van Jupiter en fundamentele declinaties.

Het toenemende aantal metingen van zich met grote snelheden van ons af bewegende sterrenstelsels maakte de vraag naar theoretische verklaringen steeds urgenter. De vraag waarom De Sitter zo lang niet gewerkt heeft aan kosmologie is niet gemakkelijk te beantwoorden. Eddingtons opmerking dat De Sitter een heelal had uitgevonden en het daarna vergeten was, is niet voldoende.⁵⁵ Ook De Sitters ziekte, de reorganisatie van de Sterrewacht en de bestuurlijke functies, kortom tijdgebrek, geven maar een gedeeltelijke verklaring. Na De Sitters overlijden zei Oort hier treffend over dat als er geen relatie was met waarnemingen, De Sitter niet erg in wiskundige speculatie geïnteresseerd was. In 1917 had De Sitter slechts de gegevens van drie nevels tot zijn beschikking. Pas later, toen de grote verwijderende snelheden van veel nevels gemeten waren, zou zijn belangstelling terugkeren.⁵⁶

De Belgische astronoom Georges Lemaître (1894–1966), die een jaar bij Eddington gestudeerd had, had in 1925 een kritisch artikel over het De Sittermodel gepubliceerd,⁵⁷ en in 1927 een met een kosmologisch model met een toenemende straal, dat tevens een verklaring gaf voor de radiële snelheden van de extra-galactische nevels.⁵⁸ Daarin voerde Lemaître de term *expansion de l'espace* in, door De Sitter later uitdijing van het heelal genoemd.⁵⁹ Dit belangrijke artikel was Eddington en De Sitter enige jaren ontgaan. Begin 1929 publiceerde Edwin Hubble (1889–1953) zijn artikel, waarin hij op basis van waarnemingen met de grote Mount Wilsontelescoop de lineaire afstand-snelheidsrelatie bekendmaakte, hoewel hij daarover nog met reserve schreef.⁶⁰

In 1930 was De Sitter aanwezig op twee bijeenkomsten van de Royal Astronomical Society in Londen. In februari sprak De Sitter over de radiële snelheden van de galactische nevels en over de mogelijkheid deze theoretisch te verklaren met behulp van zijn oude kosmologische Model B.⁶¹ Het verslag van deze bijeenkomst deed Lemaître in de pen klimmen om Eddington erop te wijzen dat hij de oplossing van het probleem al had gegeven in zijn artikel uit 1927. Het is verbazingwekkend dat dit artikel enige jaren niet door Eddington en De Sitter is opgemerkt. Het was weliswaar verschenen in de wat obscure Brusselse *Annales de la Société Scientifique*, maar Lemaître was aanwezig in 1928 op het congres van de International Astronomical Union te Leiden en had de gelegenheid om Eddington en De Sitter een

54 Hertzsprung aan De Sitter, 28 juni 1929: AWdS, 46.6 (N32).

55 A.S. Eddington, 'Obituary Prof. Willem de Sitter', *Nature* 134 (1934) 924–925.

56 J.H. Oort, 'Obituary Willem de Sitter', *The Observatory* 57 (1935) 22–27.

57 G. Lemaître, 'Note on De Sitter's Universe', *Journal of Mathematics and Physics* 4:1 (1925) 188–192.

58 G. Lemaître, 'Un Univers Homogène de Masse Constante et de Rayon Croissant, Rendant Compte de la Vitesse Radiale des Nébuleuses Extra-Galactiques', *Annales de la Société Scientifique de Bruxelles* 47 (1927) 49–59.

59 C.H. Hins, 'In Memoriam W. de Sitter', *Hemel en Dampkring* 33 (1935) 3–18.

60 E. Hubble, 'A Relation Between Distance and Radial Velocity Among Extra-Galactic Nebulae', *Proceedings of the National Academy of Sciences* 15 (1929) 168–173.

61 'Proceedings of the Meeting of the Royal Astronomical Society', *The Observatory* (February 1930) 37–39.



Fig. 4: Sterrewacht te Leiden, gebouwd in 1860 voor Frederik Kaiser en later in de negentiende eeuw uitgebreid (Photo Museum Boerhaave).

overdrukje ter hand te stellen. Misschien hadden de grote twee te weinig tijd voor de jonge Belgische priester. Maar na het bericht van Lemaître in 1930 schrok Eddington, omdat hij het artikel van Lemaître enkele jaren ongelezen had laten liggen. De Sitter ontving bericht van Eddington en schreef Lemaître op 25 maart, dat hij het artikel met de grootste bewondering had gelezen. Hij had zelf naar een soortgelijke oplossing gezocht, maar deze niet gevonden. In de junivergadering van de Royal Astronomical Society spraken Eddington en De Sitter opnieuw over het probleem en gaven het hun inmiddels bekende artikel van Lemaître alle eer.

Het Einstein-De Sitterheelal

Jarenlang had De Sitter de wens gekoesterd om de Verenigde Staten te bezoeken, een land met veel vrienden en prachtige telescopen. Door zijn invloed had al een groot aantal jonge astronomen er korte of lange tijd gewerkt. Uiteindelijk werd het eind 1931. Hij begon in Boston en hield daar de Lowell Lectures, later in druk verschenen als *Kosmos*.⁶² Na een lange reis langs vele vrienden en observatoria kwamen De Sitter en zijn vrouw eind december in Pasadena bij Los Angeles aan, waar de grootste telescoop ter wereld stond op Mount Wilson. Voor oudjaar arriveerden ook Hubble en Einstein. Het echtpaar De Sitter bracht de

62 W. de Sitter, *Kosmos* (Cambridge Massachusetts 1932).

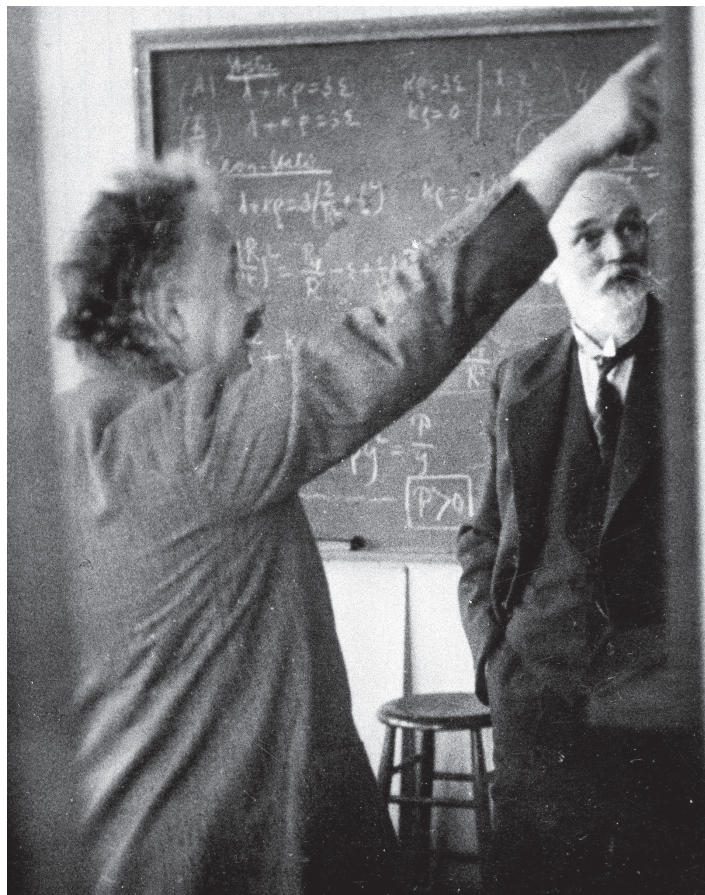


Fig. 5: Einstein en De Sitter op 8 januari 1932 in Pasadena, Californië, tijdens een lezing van De Sitter. De foto verscheen op de voorpagina van *Der Welt Spiegel* te Berlijn op 31 januari 1932.

hele maand januari in Californië door. Op 9 januari had De Sitter de gelegenheid om door de grote telescoop op Mount Wilson onder andere Jupiter te zien. Hij sprak veel met Hubble en Milton Lasell Humason (1891–1972). Laatstgenoemde had net met een expositietijd van 19 uur een nevel waargenomen, die met een snelheid van 25.000 km/s van de aarde af bewoog. Ook de afmetingen van het melkwegstelsel waren een onderwerp van discussie. Een doorsnede van 100.000 lichtjaren leek aannemelijk. Betreffende de afstanden van de nevels was er ook nog steeds veel onduidelijkheid.

In Pasadena hield De Sitter een korte serie van drie lezingen, de Hitchcock Lectures. Terwijl de Lowell Lectures meer historisch en voor een groot publiek waren, sprak De Sitter in januari louter over de astronomische aspecten van de relativiteitstheorie en in het bijzonder over het uitdijende heelal. Einstein zat in ieder geval bij de laatste lezing in het publiek (fig. 5). De Sitter kreeg een lange ovatie, het was de laatste lezing tijdens zijn reis. Einstein was vol bewondering. ‘So etwas hab’ ich noch nie gehört,’ vertelde hij aan zijn vrouw.⁶³ De

63 De Sitter-Suermondt, *Een menschenleven* (n. 3).

Einsteins en de De Sitters hadden hotelkamers naast elkaar en de twee werkten meerdere dagen intensief samen.

Een punt in hun gesprekken was hoe het heelal zich verder zou ontwikkelen. Zou de gravitatie overwinnen en het heelal uiteindelijk van expansie overgaan in krimp? Of zou de expansie eeuwig doorgaan? Dit zou afhangen van de materiedichtheid. Einstein en De Sitter schreven over deze discussie samen een kort artikel.⁶⁴ In de eerste plaats rekenden Einstein en De Sitter af met de kosmologische constante, die vanwege de expansie niet meer noodzakelijk was. Verder stelden zij dat uit de meetgegevens (de expansie en de dichtheid, beide met een forse onzekerheid) de grootte en het teken van de kromming van het heelal niet waren af te leiden. Bij een positieve kromming hoorde een heelal dat weer zou gaan krimpen, bij een negatieve een heelal dat oneindig lang zou expanderen. Bij een kritische waarde van de dichtheid $\rho_c = 3.H^2/8.\pi.G$ zou het heelal geen kromming hebben, net niet gaan contraheren en dus steeds langzamer expanderen (H is de constante van Hubble, toen geschat op 500 km/s per miljoen parsec, tegenwoordig ruwweg tien keer zo klein; G is de gravitatieconstante van Newton). Gezien het feit dat de geschatte dichtheid van de melkwegstelsels in het waarneembare deel van het heelal toen een dichtheid gaven die de kritische waarde benaderde, zou dit heelal volgens Einstein en De Sitter een mogelijkheid zijn. Het is het 'Einstein-De Sitterheelal' gaan heten. Na de twee controverses van meer dan een decennium geleden waren de vrienden het eens.

64 A. Einstein & W. de Sitter, 'On the Relation between the Expansion and the Mean Density of the Universe', *Proceedings of the National Academy of Sciences* 18 (1932) 213–214.