

Casimir en Einstein

‘Hij kan al wat maar heeft nog slaag nodig’

DIRK VAN DELFT*

ABSTRACT

Casimir and Einstein

Hendrik Casimir knew Albert Einstein from the presentations he gave at Paul Ehrenfest's Leiden colloquiums in the late 1920s. As a student he witnessed Einstein's determined opposition to quantum mechanics, expressed in sharp thought experiments. After Ehrenfest's suicide they lost touch. Their scientific work, however, still proved to have a connection long after Einstein's death. Einstein's last great discovery of the Bose Einstein condensation of 1924 and the Casimir effect due to vacuum fluctuations of 1948 converge in modern physics research.

Keywords: Casimir; Einstein; Bose Einstein condensation; Casimir effect; Quantum mechanics

In zijn autobiografie *Het toeval van de werkelijkheid* stipt Hendrik Casimir een bezoek aan dat hij als directeur van het Philips Natuurkundig Laboratorium bracht aan het Institute for Advanced Study te Princeton (USA), de plek waar Albert Einstein in 1933 wetenschappelijk onderdak had gevonden. Einstein kende hij van voordrachten en van een Ehrenfest-colloquium in Leiden, eind jaren twintig. ‘Toen ik na de oorlog naar Princeton kwam heb ik geen contact met hem gezocht’, schrijft Casimir. En met ingehouden emotie: ‘De tragische dood van Ehrenfest had een bestaande verbinding verbroken, had een kloof doen ontstaan, en ik durfde het niet aan te trachten die te overbruggen.’¹

Hendrik Brugt Gerhard Casimir (1909–2000) was een leerling van Paul Ehrenfest (fig. 1). Zijn vader Rommert Casimir was rector op het Nederlands Lyceum in Den Haag en bijzonder hoogleraar pedagogiek aan de Leidse universiteit. Tot de kennissen van het gezin Casimir behoorden Paul en Tatiana Ehrenfest – de laatste was actief op het gebied van de didactiek van de meetkunde. Hendrik deed achtereenvolgens examen HBS-B en Gymnasium- α en meldde zich op zeventienjarige leeftijd in Leiden bij Paul Ehrenfest met

* Museum Boerhaave. E-mail: dirkvandelft@museumboerhaave.nl

1 H.B.G. Casimir, *Het toeval van de werkelijkheid. Een halve eeuw natuurkunde* (Amsterdam 1983) 367. Veel biografische informatie in dit artikel is ontleend aan deze autobiografie.



Fig. 1: Hendrik Brugt Gerhard Casimir (1909–2000), gefotografeerd in 1958. (Foto Nationaal Archief)

het voornemen om theoretische natuurkunde te gaan studeren. Die had van zijn bezoeken aan Den Haag onthouden hoe inventief de jonge Hendrik met blokken kon spelen en vroeg hem waarom hij geen architect wilde worden. Toen Hendrik bij natuurkunde bleef, raadde Ehrenfest hem aan in de vakantie alvast differentiaal- en integraalrekening te bestuderen en hij stuurde Casimir langs twee promovendi die ook in Den Haag woonden: Sem Goudsmit en George Uhlenbeck – een jaar eerder ontdekkers van de elektronspin.²

Pas na zijn kandidaatsexamen kwam de specialisatie theoretische natuurkunde in beeld, maar al in zijn eerste jaar sorteerde Casimir voor door lid te worden van een discussiegroep van het studentendispuut ‘de Leidsche Flesch’. Ook werd Casimir tot lid verkozen van het vermaarde dispuut ‘Christiaan Huygens’ en uitgenodigd tot het bijwonen van het woensdagavondcolloquium – een teken dat Ehrenfest hem tot zijn toekomstige studenten rekende. Toen Casimir in 1929 kandidaatsexamen deed en zich bij Ehrenfest meldde, nam deze hem direct mee naar een conferentie op het instituut van Niels Bohr in Kopenhagen. Collega-fysicus Léon Rosenfeld beschreef de entree van zijn landgenoten als volgt: ‘Ehrenfest kwam binnen en ging recht op Bohr af, gevolgd door een lange, blonde, roodwangige jongeling met een wat slungelige manier van lopen, die niet goed wist wat hij met zijn armen moest doen. ‘Ich bringe Dir diesen Knabe’ (ik breng je deze jongen), zei hij tegen Bohr, terwijl hij zijn hand vaderlijk op de jongen z’n schouder legde. ‘Er kann schon etwas aber er braucht noch Prügel’ (Hij kan al wat maar heeft nog slaag nodig).³

2 G. Uhlenbeck & S. Goudsmit, ‘Ersetzung der Hypothese vom unmechanischen Zwang durch eine Forderung bezüglich des inneren Verhaltens jedes einzelnen Elektrons’, *Die Naturwissenschaften* 13:47 (Nov. 1925) 953–954.

3 De anekdote staat beschreven in het jubileumboekje *Institute for Theoretical Physics: The Niels Bohr Institute 1921–1971* (Copenhagen 1971), geciteerd in Casimir, *Het toeval van de werkelijkheid* (n. 1) 110.

Dat de knaap wat in zijn mars had bleek direct op de conferentie in Kopenhagen tijdens de voordracht van Sem Goudsmit. Negentien jaar oud, lanceerde Casimir tijdens de discussie met de zaal de gedachte dat de spin van het elektron niet moet worden opgevat als een permanent magneetje, maar als een meege dragen kringstroompje. De corresponderende berekening van de magnetische wisselwerking tussen elektronspin en kernspin in het geval het elektron quantummechanisch gesproken door de kern heen beweegt (verantwoordelijk voor de 21 cm waterstoflijn, na de Tweede Wereldoorlog de basis voor radiotelescopie), voltooidde Casimir binnen enkele dagen. Hij stuurde het resultaat naar Goudsmit, die het een jaar op zijn bureau liet liggen, met als gevolg dat de publicatie grote vertraging opliep en de Italiaanse natuurkundige Enrico Fermi hem in 1930 net voor was.⁴ Niettemin, Casimirs internationale reputatie was gevestigd.

Hét debat in de fysica tijdens Casimirs studentenjaren (1927–1931) was dat tussen Einstein en Bohr over de interpretatie van de quantummechanica.⁵ Die sprong voorwaarts in de quantumtheorie was in 1924 ingezet met de hypothese van Louis-Victor de Broglie dat deeltjes zich ook als golven kunnen voordoen – het omgekeerde (het bestaan van lichtdeeltjes of fotonen) was in 1905 al door Einstein ingebracht met zijn verklaring voor het foto-elektrisch effect. In 1925 kreeg het idee van De Broglie een vervolg met de matrixmechanica van Werner Heisenberg en de golfmechanica van Erwin Schrödinger. Deeltjes, aldus Schrödinger, worden gerepresenteerd door een golf functie die alle mogelijke toestanden waarin het kan verkeren in zich herbergt. De consequentie van die beschrijving, zo liet Max Born in 1926 zien, was de intrede van de *kansrekening*. Iedere toestand heeft zijn eigen kans bij een meting gerealiseerd te worden. Deze wending van de natuurkunde was aan Einstein niet besteed: ‘God dobbelt niet’. In 1927 ‘verergerde’ de situatie met Heisenbergs onzekerheidsrelaties: het is onmogelijk om én de positie én de impuls van een deeltje (of andere combinaties van eigenschappen) tegelijkertijd met onbeperkte precisie te kennen.⁶ In de ‘Kopenhaagse interpretatie’ van de quantummechanica van dat jaar stelden Bohr en Heisenberg dat bij een meting de golf functie ‘instort’ en het deeltje instantaan een mogelijke toestand aanneemt. Het zoeken naar een werkelijkheid achter deze golf functie zou zinloos zijn.

Einstein probeerde tegenstrijdigheden in deze Kopenhaagse interpretatie aan te wijzen door Bohr met scherpzinnige gedachtenexperimenten te bestoken. Op de Solvay-conferentie⁷ van 1927 lanceerde Einstein in de eetzaal van het hotel waar de deelnemers waren ondergebracht zijn eerste aanval.⁸ Heisenberg en Wolfgang Pauli schonken weinig aandacht

4 D. Polder, ‘Levensbericht H.B.G. Casimir’, *Verhandelingen van de Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen* (Amsterdam 2001) 13–22. Interview met Hendrik Casimir door Thomas S. Kuhn, Leon Rosenfeld, Aage Bohr en Erik Rudinger op 5 juli 1963, op het Institute for Theoretical Physics, te Kopenhagen. Online op www.aip.org/history-programs/niels-bohr-library/oral-histories/4550-1.

5 Zie hiervoor o.a. de biografieën van Abraham Pais: *Subtle is the Lord. The Science and the Life of Albert Einstein* (Oxford 1982) en idem, *Niels Bohr’s Times: in Physics, Philosophy, and Polity* (Oxford 1991). De term quantummechanica duikt voor het eerst op in een publicatie van Max Born, ‘Über Quantenmechanik’, *Zeitschrift für Physik* 26 (1924) 379–395.

6 Het bracht het bèta-cabaretduo Jan Beuving en Daan van Eijk in 2014 tot de volgende grap: ‘Rijdt een elektron op de snelweg. Wordt hij ingehaald door een politieauto. “Weet u wel hoe hard u rijdt?” roept de agent uit zijn raampje. ‘Honderdzesendertig!’@#*\$7&’, reageert het elektron. “Nu weet ik totaal niet meer waar ik ben!”.

7 Bijeenkomsten in het Brusselse Hotel Métropole waarop de crème de la crème van de internationale natuurkunde op initiatief van de Belgische industrieel Ernest Solvay de nieuwste ontwikkelingen in het vak bediscussieerde.

8 Pais, *Bohr’s Times* (n. 5) 318–319.

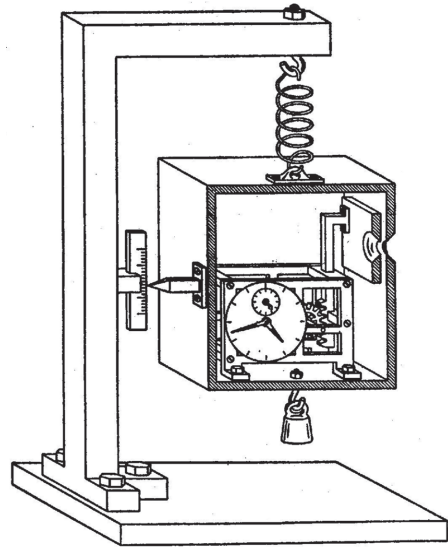


FIG. 8

Fig. 2: Tekening door Niels Bohr (1930) van Einsteins gedachtenexperiment. Uit: P.A. Schilpp (ed.), *Albert Einstein. Philosopher-Scientist* (New York 1949) 199.

aan het gesputter ('ach wat, het klopt gewoon') maar Bohr pakte de handschoen op, waarbij het hem weinig moeite kostte Einsteins redenering te weerleggen. In het colloquium volgend op de Solvay-conferentie deed Ehrenfest, die beide opponenten hoogachtte en graag zag dat ze hun geschil oplosten, van de schermutselingen verslag.

Op de volgende Solvay-conferentie van 1930 kwam Einstein met een nieuw gedachtenexperiment: het foton in de doos (Zie fig. 2 van de hand van Bohr).⁹ Een afgesloten doos gevuld met elektromagnetische straling bevat zowel een klok als een sluitersmechanisme waardoor één foton uit de doos kan ontsnappen. Einstein redeneerde als volgt. Een veer in combinatie met een wijzer geeft je het gewicht van de doos. Weeg de doos. Laat vervolgens een foton ontsnappen. Weeg na een tijdje de doos opnieuw. Uit het verschil in gewicht is via $E = mc^2$ de energie van het foton te herleiden. Het ontsnappingstijdstip komt van de klok. Niets staat een onbeperkte nauwkeurigheid in deze bepalingen in de weg. Terwijl een onzekerheidsrelatie van Heisenberg zegt dat tijd en energie op fundamenteel niveau niet beide tegelijk met onbeperkte nauwkeurigheid bekend kunnen zijn. Kortom, de theorie faalt. Een bom voor Bohr.

Met deze paradox, tijdens het diner door Einstein gepresenteerd, had Bohr heel wat meer moeite. Léon Rosenfeld herinnerde zich hoe Bohr erdoor van zijn stuk was gebracht. Zenuwachtig klampte hij die avond de ene na de andere collega aan met de opmerking dat het niet waar kon zijn, dat dit het einde van de natuurkunde zou betekenen mocht Einsteins redenering stand houden.¹⁰ Bij het vertrek naar het hotel had een zelfverzekerde Einstein een ironisch lachje rond de lippen terwijl Bohr onverminderd in alle staten verkeerde. De volgende morgen waren de rollen omgedraaid: Bohr had een gat

⁹ N. Bohr in: P.A. Schilpp (ed.), *Albert Einstein. Philosopher-Scientist* (New York 1949) 199.

¹⁰ L. Rosenfeld, *Proceedings of the 14th Solvay Conference* (New York 1968) 232; Pais, *Bohr's Times* (n. 5) 425–430.

in Einsteins gedachtenexperiment weten te schieten, nog wel met behulp van een wapen van zijn tegenstander: de algemene relativiteitstheorie uit 1915. Het wegen van de doos, aldus de verdediging van Bohr, gaat samen met een verschuiving in het zwaartekrachtsveld. Dus leidt een onzekerheid in de positie van de wijzer tot een onzekerheid in de energie. Ook de klok komt in een ander zwaartekrachtsveld en tikt daardoor iets anders. Aldus kon Bohr aantonen dat bij het foton in de doos wel degelijk aan de onzekerheidsrelatie voor energie en tijd was voldaan. Casimir, die gedurende de herfst van 1930 in Kopenhagen op het instituut van Bohr vertoefde, herinnerde zich hoe opgetogen hij en zijn mede-postdocs George Gamov, Lev Landau en Piet Hein op de overwinning van hun held reageerden: ze lieten in de werkplaats van het instituut een robuust model van de klok in de doos bouwen.¹¹

Tijdens een Ehrenfest-colloquium in de winter van 1931–1932 kwam Einstein op de paradox van het foton in de doos terug. Casimir, toen assistent bij Ehrenfest, had de opdracht de discussie te openen. Ditmaal begon Einstein niet over tegenstrijdigheden in de quantummechanica en ook gaf hij toe dat de theorie uiterst vruchtbaar was. Maar een volledige natuurbeschrijving gaf zij niet en het laatste woord kon het dus niet zijn. In zijn voordracht begon Einstein opnieuw over zijn foton in de doos gedachtenexperiment van 1930. Ditmaal was zijn punt dat na de ontsnapping van het foton door de sluiters het besluit van de waarnemer nog open staat om de klok af te lezen of de doos te wegen. Zonder het foton te storen kunnen we kiezen de energie te bepalen dan wel te meten wanneer het van een ver verwijderde spiegel terugkeert. De redenering is een voorloper van het gedachte-experiment dat Einstein in 1935 met Boris Podolsky en Nathan Rosen voorstelde: de beroemde EPR-paradox.¹² Op zijn beurt kwam John Bell in 1964 met een theorema dat experimentele toetsing van de EPR-paradox mogelijk maakte.¹³ Recentelijk heeft de groep van Ronald Hanson van de Technische Universiteit Delft in een veelbesproken experiment het ongelijk van Einstein definitief aangetoond: ook de aanval uit 1935 snijdt geen hout.¹⁴ Einstein mocht de quantummechanica ‘onverteerbaar’ vinden, de natuur ziet het anders.

Na zijn promotie bij Ehrenfest op 3 november 1931, op een proefschrift met de titel *Rotation of a Rigid Body in Quantum Mechanics*, vertrok Casimir naar Zürich, waar hij assistent werd van Wolfgang Pauli. In Leiden viel Ehrenfest ten prooi aan steeds diepere depressies en in het voorjaar van 1933 haalde hij Casimir terug naar Leiden: ‘Ach Caasje, setze deine breiten Schuldern unter den Karren der Leidener Physik.’¹⁵ Augustus dat jaar trouwde Casimir met Josina Jonker,¹⁶ die als experimentele natuurkundige op het Kamerlingh Onnes Laboratorium onder leiding van directeur Wander de Haas onderzoek deed

11 Casimir, *Toeval* (n. 1) 366.

12 A. Einstein, B. Podolsky & N. Rosen. ‘Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality be Considered Complete?’, *Physical Review* 47 (10) 777–780.

13 John Bell, ‘On the Einstein Podolsky Rosen Paradox’, *Physics* 1:3 (1964) 195–200.

14 B. Hensen, H. Bernien, A.E. Dréau, A. Reiserer, N. Kalb, M.S. Blok, J. Ruitenbergh, R.E.L. Vermeulen, R.N. Schouten, C. Abellán, V. Amaya, V. Pruneri, M. W. Mitchell, M. Markham, D.J. Twitchen, D. Elkouss, S. Wehner, T.H. Taminiou & R. Hanson, ‘Loophole-free Bell inequality violation using electron spins separated by 1.3 kilometres’, *Nature* 526 (2015) 682–686.

15 Casimir, *Toeval* (n. 1) 174.

16 Josina Jonker (1911–2011) was de zus van de sociologe dr. Helma Verwey-Jonker, voorvechtster van vrouwenemancipatie. Tot een promotie op haar metingen is het niet gekomen. W.J. de Haas, beoogd promotor, trok in zijn begeleiding assistenten van het mannelijke geslacht voor vanwege hun positie als kostwinner.

naar supergeleiding.¹⁷ Ze kenden elkaar van het dispuut Christiaan Huygens. Na de tragische dood van Ehrenfest nam Casimir de leiding van de afdeling theoretische natuurkunde in Leiden zo goed en zo kwaad als het ging over, om na een jaar het stokje opgelucht over te dragen aan H.A. Kramers. Intussen was zijn belangstelling voor experimenteel onderzoek gegroeid. Hij hielp zijn vrouw bij het meten en samen met C.J. Gorter werkte hij aan de thermodynamica van supergeleiders (de zogeheten twee-vloeistoffentheorie). In 1936 vroeg De Haas Casimir conservator te worden van het Kamerlingh Onnes Laboratorium. Het leiden van een onderzoeksgroep en het ontwerpen van toestellen gaf hem veel plezier maar toezicht op aankoop, onderhoud en beheer van instrumenten ging hem minder goed af. In 1939 werd hij in Leiden benoemd tot bijzonder hoogleraar. Tussen de bedrijven door verbleef Casimir enkele keren in het lage temperatuurlaboratorium in Cambridge en gaf hij college in Utrecht en in Eindhoven op het NatLab van Philips.

Dat laatste contact kwam van pas toen na de bezetting door de Duitsers, mei 1940, de verhouding met de veelal afwezige De Haas verslechterde. April 1942 nam Casimir in Leiden ontslag, om bij Philips zijn loopbaan te vervolgen.¹⁸ In 1946 trad hij toe tot de directie van het NatLab, in 1956 werd hij lid van de Raad van Bestuur van Philips. De overstap naar het bedrijfsleven wekte bij sommige collega's verwondering – Wolfgang Pauli sprak Casimir ('nicht ganz dumm') voortaan spottend aan met 'Herr Direktor'. Maar Casimir had weinig reden om Eindhoven de rug toe te keren: gedurende de naoorlogse jaren waren de voorzieningen op het Philips NatLab – waar een academische ambiance werd nagestreefd – beduidend beter dan die op de Nederlandse universiteiten. En zijn bijzondere leerstoel in Leiden kreeg hij terug.

Dat Casimir in Eindhoven voor de wetenschap niet verloren was, mag blijken uit zijn werk aan wat later het Casimir-effect is gedoopt. Op het NatLab werd ook onderzoek aan colloïden gedaan en toen experimentele uitkomsten de theorie weerspraken pakte Casimir het probleem op. Daarbij maakte hij gebruik van de toen nog jonge quantumelektrodynamica. Op basis daarvan leidde Casimir een formule af voor de wisselwerkingsenergie E tussen twee atomen met polariseerbaarheid α_1 en α_2 op onderlinge (grote) afstand R . De uitkomst luidde: $E = 23\hbar c \alpha_1 \alpha_2 / 4\pi R^7$, terwijl de oude theorie een evenredigheid met R^{-6} liet zien (\hbar is de constante van Planck gedeeld door 2π ; c is de lichtsnelheid in vacuüm). Volgens Casimir school de schoonheid van de nieuwe formule met name in het getal 23: niet eerder was in een fundamentele natuurkundige betrekking zo'n groot priemgetal opgedoken!¹⁹ Om zijn formule inzichtelijk te maken, paste Casimir hem toe in de situatie van twee evenwijdige, elektrisch perfect geleidende (maar neutraal geladen) platen op korte afstand van elkaar. Zulke platen blijken elkaar aan te trekken: het Casimir-effect. Voor de grootte van

17 W.J. de Haas & J.M. Casimir-Jonker, 'Penetration of magnetic field into superconductive alloys', *Koninklijke Akademie van Wetenschappen te Amsterdam. Proceedings* 38:1 (1935) 2–7 [=Communication No. 233c from the Kamerlingh Onnes Laboratory (Leiden 1935)].

18 In juni 1942 nam Casimir ook ontslag als hoogleraar. Daarmee voegde hij zich bij de meerderheid van Leidse hoogleraren voor wie het ontslag van de jurist R. Kranenburg als hoogleraar door de bezetter (omdat hij in een boek over administratief recht de nationaalsocialistische component geen aandacht had geschonken) reden gaf zelf ook ontslag te nemen. Zie ook Dirk van Delft, 'Tegen de roef: het Kamerlingh Onnes Laboratorium in oorlogstijd', *Gewina* 30 (2007) 247–264.

19 H.B.G. Casimir & D. Polder, 'The Influence of Retardation on the London-van der Waals Forces', *Physical Review* 73:4 (1948) 1976–1981. <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRev.73.360>.

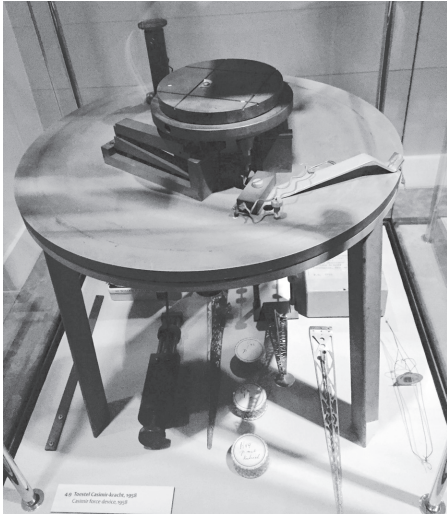


Fig. 3: Toestel van Sparnaay uit 1957 voor de bepaling van de Casimir kracht. (Museum Boerhaave, Leiden)

die aantrekkingskracht leidde Casimir de volgende betrekking af: $F = \pi^2 \hbar c / 240 d^4$. Hierbij is F de aantrekkende kracht en d de afstand tussen de platen.²⁰

Het gaat hier om een universele kracht: de eigenschappen van de metalen platen doen er niet toe (zolang het maar ideale geleiders zijn). Dat de platen elkaar aantrekken komt omdat het vacuüm in de quantumwereld allesbehalve leeg is. Het krioelt er van de deeltjes en anti-deeltjes die in paren uit het niets ontstaan en binnen een oogwenk elkaar weer vernietigen. Die opeenvolging van creatie en annihilatie is toegestaan zolang de onzekerheidsrelatie van Heisenberg voor energie en tijd maar niet wordt geschonden. Omdat tussen de platen de dichtheid van die virtuele deeltjes lager is dan erbuiten (deeltjes zijn ook golven en alleen golven die tussen de platen ‘passen’ doven elkaar niet uit) ontstaat een netto aantrekkende kracht.

Het was Hans Sparnaay (1923–2015), een collega van Casimir op het NatLab, die er in 1957 in slaagde de Casimirkracht experimenteel te bepalen.²¹ Sparnaay plaatste metalen platen van staal en chroom in vacuüm op een afstand van enkele micrometers van elkaar en bepaalde met een uiterst gevoelige veerbalans de aantrekkende kracht F als functie van de afstand d .²² De overeenstemming tussen experiment en theorie was alleszins bevredigend – de karakterisering ‘Casimir’s relation [...] was not contradicted’, zoals het *Nature* artikel stelde, was te bescheiden. Nobelprijswinnaar Peter Debye liet zich lovend over het resultaat uit.²³ Na het overlijden van Sparnaay kreeg het toestel met toebehoren een plekje in de collectie van Museum Boerhaave.²⁴ Op de tentoonstelling ‘Einstein & Friends’ verraste het de kenners (fig. 3).

20 H.B.G. Casimir, ‘On the attraction between two perfectly conducting plates’, *Koninklijke Akademie van Wetenschappen te Amsterdam. Proceedings* 51 (1948) 793–795.

21 M.J. Sparnaay, ‘Attractive Forces between Flat Plates’, *Nature* 180 (1957) 334–335.

22 M.J. Sparnaay, ‘Measurements of Attractive Forces between Flat Plates’, *Physica* 24 (1958) 751–764.

23 Correspondentie Sparnaay met auteur (toen chef redactie wetenschappen *NRC Handelsblad*) 18 januari 1997.

24 Via bemiddeling door Ruud Tromp en Frans Saris.

Het Casimireffect brengt ons weer terug bij Einstein, en wel bij zijn laatste grote ontdekking: die van de Bose-Einsteincondensatie uit 1924. Beide effecten zijn in samenhang onderwerp van hedendaags onderzoek. 'Bose Einstein condensation and Casimir effect of trapped ideal Bose gas in between two slabs', luidt bijvoorbeeld de titel van een recent artikel gepubliceerd in *The European Physical Journal D*.²⁵ Bose-Einsteincondensatie is een nieuwe toestand (fase) van de materie die ontstaat bij temperaturen vlak boven het absolute nulpunt (-273 graden Celsius). Het was in 1924 de Indiase fysicus Satyendra Nath Bose die de consequenties van het quantummechanische golfgedrag voor een verzameling deeltjes doordacht. Toen hij zijn artikel niet gepubliceerd kreeg, stuurde hij het voor commentaar naar Einstein. Die onderkende de wetenschappelijke waarde en hielp Bose bij het publiceren.

Intussen was Einstein ook zelf met het onderwerp aan de gang gegaan en hij voorzag bij voldoende lage temperatuur de vorming van een condensaat waarbij alle deeltjes dezelfde quantum-grondtoestand aannemen en als het ware een groot 'superatoom' vormen. Het leidde in 1924 tot een publicatie onder de titel 'Quantentheorie des einatomigen idealen Gases'.²⁶ In deel 2 van dat artikel komt Einstein tot zijn baanbrekende voorspelling – zijn laatste grote wetenschappelijke inzicht. In 2005 dook het manuscript op in de huisbibliotheek van Paul Ehrenfest: kennelijk had Einstein het in 1924, toen hij als gasthoogleraar aan de Leidse universiteit bij Ehrenfest logeerde, uit Berlijn naar Leiden meegenomen en het na het corrigeren van de drukproeven in de Witte Rozenstraat achtergelaten (fig. 4).²⁷ Einstein maakte de experimentele bevestiging van het bestaan van Bose-Einsteincondensaten niet meer mee, Casimir wel: in 1995 waren Eric Cornell en Carl Wiemann op de University of Colorado in Boulder de eersten. Hun Bose-Einsteincondensatie van rubidiumatomen had een temperatuur van 170 nanokelvin.²⁸

Na zijn pensionering in 1972 toonde Casimir zich in kringen van wetenschap en cultuur onverminderd actief. In 1973 werd hij benoemd als eerste president van de Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen, hij was redacteur van het literaire tijdschrift *De Gids* en een veelgevraagd spreker op internationale congressen en bij plechtige of feestelijke gelegenheden. Veel voordrachten gingen over de relatie tussen natuurkunde en industrie, wetenschap en samenleving of universitair en industrieel onderzoek. Zijn gedachten over zulke onderwerpen mondden uit in het essay 'De wetenschap-technologie spiraal', opgenomen in *Het toeval van de werkelijkheid*. Technologie maakt onmiskenbaar gebruik van vooruitgang in de wetenschap, en andersom is wetenschappelijk onderzoek gebaat bij vooruitgang in de techniek. Ze helpen elkaar vooruit: de spiraal omhoog. Maar waar de academische onderzoeker er als de kippen bij is om een betere microscoop of een krachtiger computer te omarmen, ligt dat anders bij techniek. 'Techniek gebruikt *nooit* de meest recente en zelden de meest diepzinnige resultaten van academisch onderzoek', aldus

25 Shyamal Biswas, 'Bose Einstein condensation and Casimir effect of trapped ideal Bose gas in between two slabs', *European Physical Journal D* 42 (2007) 109–112.

26 A. Einstein, 'Quantentheorie des einatomigen idealen Gases', *Sitzungsberichte der Preussischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin. Physikalisch-Mathematische Klasse* 1 (1924) 261–267 en idem 3 (1925) 3–14.

27 De Utrechtse student Rowdy Boeyink trof het manuscript aan in een van de tijdschriften uit de bibliotheek van Paul Ehrenfest, zoals die op het Instituut Lorentz van de Universiteit Leiden wordt bewaard. Zie: <http://www.kennislink.nl/publicaties/student-vindt-einstein-artikel>.

28 M. H. Anderson, J. R. Ensher, M. R. Matthews, C. E. Wieman & E. A. Cornell. 'Observation of Bose-Einstein Condensation in a Dilute Atomic Vapor', *Science* 269 (1995) 198–201.

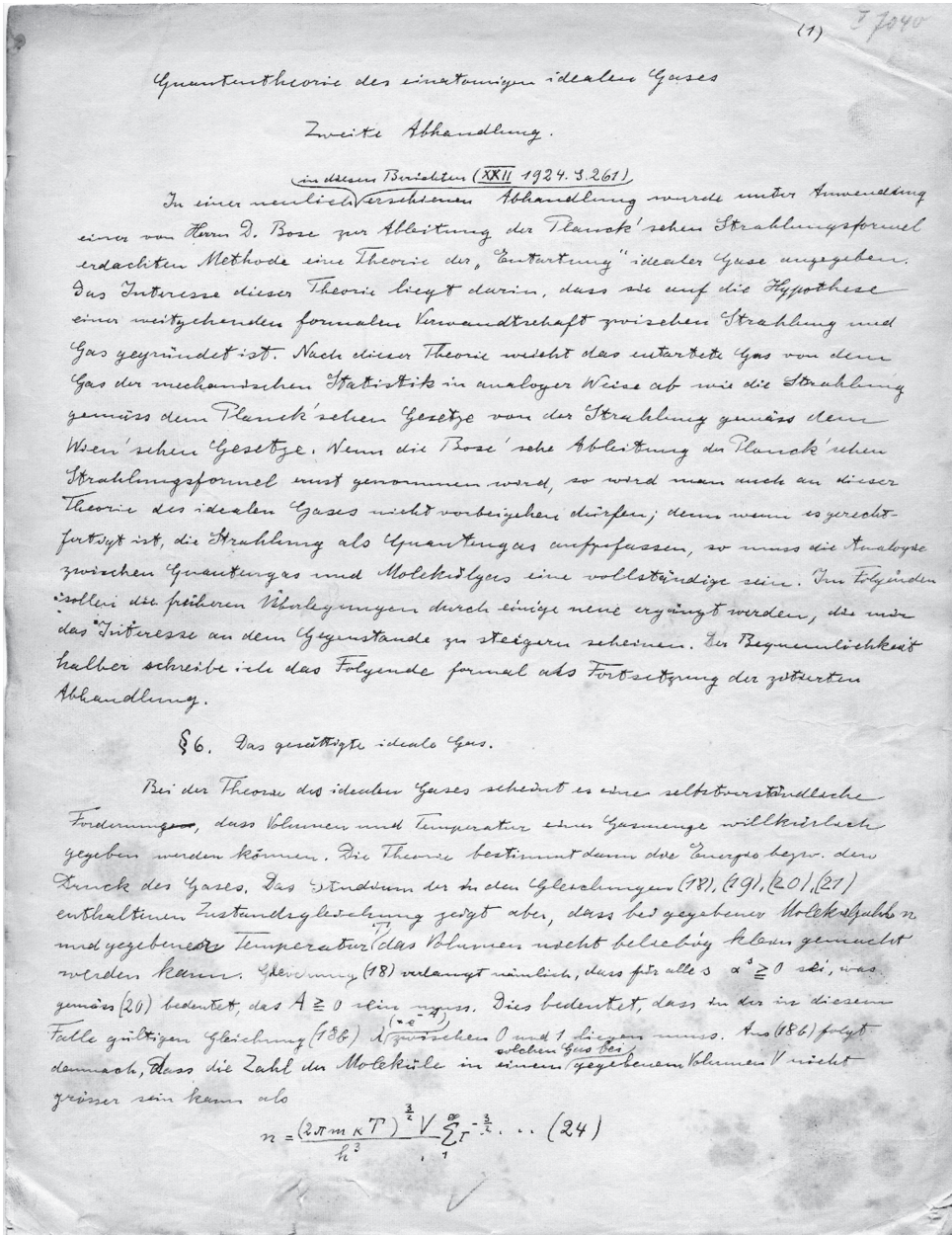


Fig. 4: Einsteins manuscript van zijn afleiding van de Bose-Einstein Condensatie, achtergelaten bij Ehrenfest thuis in Leiden, en in 2005 door Rowdy Boeyink teruggevonden in een tijdschrift uit Ehrenfest's bibliotheek. (Foto: Leiden Institute of Physics)

Casimir. 'Wat dat betreft loopt techniek altijd op zijn minst tien of twintig jaar achter'.²⁹ Een 'nalooptijd' die Casimir in 1983 eerder zag toe- dan afnemen. De komst van de quantum-computer, waaraan onder andere de Delftse groep onder leiding van Leo Kouwenhoven hard werkt, is een mooie nieuwe testcase.

Befaamd waren Casimirs 'after dinner speeches'. Zo hield hij op de eerste naoorlogse conferentie op het Niels Bohr Instituut in Kopenhagen een hilarische uiteenzetting over 'Broken English':

There exists today a universal language that is spoken and understood almost everywhere: it is Broken English. I am not referring to Pidgin English highly formalized and restricted branch of B.E., but to the much more general language that is used by waiters in Hawaii, prostitutes in Paris and ambassadors in Washington, by businessmen from Buenos Aires, by scientists at international meetings and by dirty-postcard peddlers in Greece – in short, by honorable people like myself all over the world.³⁰

Het betoog vond in 1955 zijn weg naar de aflevering van *Journal of Jocular Physics* die verscheen ter ere van Niels Bohrs zeventigste verjaardag. Een jaar later stond het ook in de *Scientific American*.³¹ Albert Einstein was toen net overleden. Ongetwijfeld was Einstein op het Institute for Advanced Study in Princeton het 'Broken English' als geen ander machtig.

29 Casimir, *Het toeval van de werkelijkheid* (n.1 – ed. 1984²) 345.

30 H.B.G. Casimir, *Haphazard Reality* (New York 1983) 122–126.

31 H.B.G. Casimir, 'Broken English', *Scientific American* 194 (1956) 96.