

De laatste Einstein

Eind 1924 deed Albert Einstein zijn laatste grote ontdekking: die van het Bose-Einsteincondensaat. Vorige maand dook ineens het manuscript op. Dirk van Delft

EEN VERLOREN gewaand manuscript van Albert Einstein uit 1924 is teruggevonden in het Instituut Lorentz voor theoretische natuurkunde van de Universiteit Leiden. Het gaat om het baanbrekende artikel waarin Einstein het bestaan van een nieuwe, exotische toestand van de materie voorspelt – later Bose-Einsteincondensatie gedoopt. Het is Einsteins laatste grote ontdekking. De zestien velletjes gingen schuil in de huisbibliotheek van Paul Ehrenfest, van 1912 tot 1933 hoogleraar theoretische fysica in Leiden en een goede vriend van Einstein. Einstein was slordig en vooral uit de vroege periode, waaronder wonderjaar 1905, ontbreken veel manuscripten.

De vondst is gedaan door de Utrechtse student Rowdy Boeyink, die bezig is met een scriptie over de Leidse jaren van Paul Ehrenfest. Weliswaar bestaat er een biografie (*Paul Ehrenfest - The Making of a Theoretical Physicist*, 1970) van de hand van Martin Klein, maar die gaat niet verder dan de Eerste Wereldoorlog – deel 2 is nooit verschenen. Op zoek naar geschikt bronnenmateriaal spitte Boeyink in juli Ehrenfests huisbibliotheek door. Die is afkomstig uit de studeerkamer in de Witte Rozenstraat, waar Ehrenfest kort na zijn benoeming in Leiden een villa in Russische stijl liet bouwen. Vele beroemde fysici hebben er geloofd en traditie was dat gasten – waaronder kopstukken als Niels Bohr, Wolfgang Pauli, Max Planck en Albert Einstein – op een muur in de logeerkamer hun naam schreven. Die staan er nog.

Na Ehrenfests tragische dood in 1933 (hij was depressief en pleegde zelfmoord) heeft zijn vrouw Tatiana Afanesjewa de huisbibliotheek intact gelaten. Na de dood van hun dochter Tanja, in 1984, werd de collectie overdragen aan het Instituut Lorentz. Het gaat om honderden boeken met talloze aantekeningen, al dan niet op losse briefjes. Verder 36 stapels papieren die de afgelopen twintig jaar evenmin

• Fragment van bladzijde twee waarin Einstein het condensaat voorspelt: 'Es tritt eine Scheidung ein; ein Teil „kondensiert“, der Rest bleibt ein „gesättigtes ideales Gas“.'

waren uitgeplozen: handboeken, veel tijdschriften en overdrukken van artikelen, proefschriften van leerlingen, redes en – versholten in dat alles – brieven, manuscripten en typoscripten. Het meeste dateert uit de jaren twintig en dertig en bevat aantekeningen van Ehrenfest.

Boeyink is een maand bezig geweest om alles systematisch na te lopen. "Al in de eerste stapel zaten brieven van Jan Burgers", zegt hij vanuit Singapore, waar hij bezig is zijn scriptie af te ronden. Burgers was een leerling van Ehrenfest; nog voor zijn promotie in 1918 werd hij in Delft tot hoogleraar hydrodynamica benoemd. "Na een paar dagen dook een brief van Niels Bohr op. En daarna brieven van Hans Kramers waarvan ik uit het Niels Bohr-archief in Kopenhagen wist dat hij ze verstuurd had maar die verloren leken. Tja, dan hoop je op nóg meer." Kramers was Bohrs assistent in Kopenhagen en zou Ehrenfest in Leiden opvolgen.

STAPELS Op 22 juli ontdekte Boeyink in een van de laatste stapels tussen twee nummers van *Zeitschrift der Physik* een stapeltje opgevouwen briefpapier. Het bleek om een manuscript te gaan, zestien velletjes groot. Een auteursnaam ontbrak. Het heette 'Quantentheorie des einatomigen idealen Gases – Zweite Abhandlung'

en was gedateerd 'Dezember 1924'. "Door die titel en datering kwamen maar een paar natuurkundigen in aanmerking", zegt Boeyink. "Albert Einstein en Arnold Sommerfeld, hoogleraar in München, lagen voor de hand. Ik heb direct de titel van het artikel gegoogled en het bleek raak: ik had een echte Einstein gevonden! Later e-mailde Carlo Beenakker, hoogleraar theoretische natuurkunde op het Instituut Lorentz, me over de sensationele identiteit van het artikel."

Inderdaad behoort het tot de hoogtepunten uit Einsteins carrière. Op bladzijde twee voorspelt Einstein het bestaan van wat nu Bose-Einsteincondensatie heet: het verschijnsel dat bij extreem lage temperatuur de atomen van een gas in een faseovergang voor een deel in dezelfde, laagst mogelijke energietoestand condenseren. Het is een typisch quantumeffect. In de quantumtheorie kunnen deeltjes zich ook als golven gedragen en bij lage temperatuur neemt de golflengte dusdanig toe dat ze elkaar gaan overlappen. Deeltjes verliezen hun identiteit, ze vormen als het ware één groot superatoom.

Einstein bouwde in zijn tweedelige artikel voort op ideeën van Satyendra

• Einstein bij Ehrenfest thuis, in de Witte Rozenstraat in Leiden, 1920. Op school Paul Ehrenfest jr.



FOTO MUSEUM BOERHAAVE
FOTO INSTITUUT LORENTZ

Gesamt-dichte stets wachsende Zahl von Molekülen in dem 1. Quantenzustand (Zustand ohne kinetische Energie) übergeht, während die übrigen Moleküle sich gemäss dem Parameter-Wert $\lambda = 1$ verteilen. Die Behauptung geht also dahin, dass etwas helmholtzischer Eintritt wie beim isothermen Komprimieren eines Dampfes über das Sättigungsvolumen. Es tritt eine Scheidung ein: ein Teil kondensiert, der Rest bleibt ein gesättigtes ideales Gas.

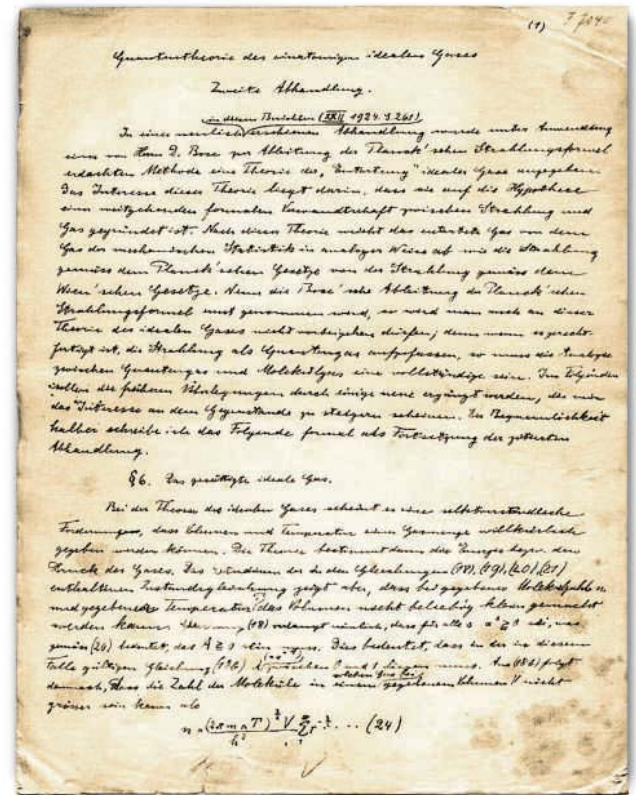


FOTO INSTITUUT LORENTZ

Nath Bose. Deze Indiase fysicus, tot die tijd onbekend, had hem juni 1924 een artikel over quantumstatistiek van lichtdeeltjes gestuurd dat *Philosophical Magazine* had geweigerd. Einstein onderkende het belang van Bose's aanpak, al had hij ook kritiek, en wendde zijn invloed aan het stuk als nog gepubliceerd te krijgen. Zelfs legde hij zijn werk aan de unificatie van de natuurkrachten – een vergeefse speurtocht die hem de rest van zijn leven in de greep zou houden – opzij om zelf ook met quantumstatistiek aan de gang te gaan, zij het niet met lichtdeeltjes (fotonen), zoals Bose, maar met materie. Aldus kwam hij op zijn voorspelling van het condensaat. 'De theorie is fraai', schreef Einstein op 29 november naar Ehrenfest, toen zijn denkbeelden waren gevormd, 'maar is ze ook waar?'

VOLTOOID Dat is ze zeker, ook al miste Einstein zaken omdat de quantumtheorie nog niet voltooid was. Experimentele verificatie liet overigens lang op zich wachten. Pas in 1995 wisten Eric Cornell en Carl Wieman in hun laboratorium in Boulder (Colorado) het eerste Bose-Einsteincondensaat te maken, verkregen uit een ultrakoud wolkje rubidiumgas. De veriste temperatuur bedroeg enkele nanokelvin: miljardsten van een graad

• Bladzijde één van het manuscript uit 1924 met Einsteins laatste grote ontdekking, die van de Bose-Einsteincondensatie.

boven het absolute nulpunt (afgerond -273 °C). In 2001 kregen ze de Nobelprijs.

Hoe raakte het manuscript in Ehrenfests bibliotheek verzameld? Einstein, sinds 1914 hoogleraar in Berlijn, had uitstekende contacten met Leiden. Lorentz was een vader die hij zeer liefhad, Ehrenfest een boezemvriend en Kamerlingh Onnes een goede kennis. In 1919 accepteerde Einstein het aanbod in Leiden bijzonder hoogleraar te worden, een 'komeetachtig bestaan' dat hem aansprak. Jaarlijks zou hij een aantal weken langskomen om met collega's te overleggen en wat colleges te geven. Meestal logeerde hij bij Paul Ehrenfest – als Einstein pijp wilde roken werd hij verbannen naar de tuin.

Ook februari 1925 bracht zo'n bezoek. Waarschijnlijk kreeg Einstein tijdens zijn verblijf in Leiden het manuscript geretourneerd dat hij op 8 januari had aangeboden in de vergadering van de Pruisische Academie van Wetenschappen in Berlijn, en ging het vergezeld van een drukproef voor de *Sitzungsberichte*. Voor die hypothese pleit de aanwezigheid van een aantal zet-aanwijzingen in het manuscript. Het 'Bose-Einsteincondensaat'-artikel verscheen op 9 februari in druk. Bij zijn vertrek uit Leiden, eind februari, heeft Einstein het manuscript in de Witte Rozenstraat achtergelaten. Het verdween in Ehrenfests bibliotheek, om na tachtig jaar weer op te duiken. Boeyink: "En dat in het Einsteinjaar, en in het in lage temperaturen gespecialiseerde Leiden. Ik hoop dat ze er een mooi plekje voor bedenken."