

‘Of ik ben gek, of ik doe een groot werk’

De denkbeelden van Van der Waals als toverstaf voor natuurkundig onderzoek

‘Ik snap er geen bal van’, aldus de conclusie van Ben Walenkamp. Samen met Jan Willem Bruins is hij initiator van de prachtige schilderijen met gedichten en daarna ook met beroemde formules uit de Bètawetenschappen op Leidse muren. Zijn verzuchting geldt de achtste muurformule op een mooie witte muur van een statig herenhuis met blauwe dakgoten aan de Leidse Fruinlaan. Een ideale muur, ook omdat het de woning van een eminent natuurkundige is, voor een eerbetoon aan de formule van Van der Waals.

We kunnen zijn verjaardag, 23 november, niet beter vieren dan uit te zoeken voor Walenkamp, voor mijzelf en alle Leidenaren die willen begrijpen wat er staat, wat de strekking is van die formule en waarom dat een natuurkundig hoogtepunt is. Dat is eenvoudiger gezegd dan gedaan. *Wikipedia*, meestal de steun en toeverlaat voor de zoekende mens, maakt de materie eerder duisterder dan helderder. De tekst is geschreven door mensen die op zijn minste een paar jaar natuurkunde gestudeerd hebben, je buitelt over termen als ‘ideale gaswet’, ‘harde-bollenmodel’, ‘covolume’. De auteurs zijn de meeste lezers zonder natuurkunde in hun pakket al snel verloren maar hebben dat als enigen niet in de gaten.

De loopbaan van Johannes Diderik van der Waals (1837 – 1923) toont het belang van onderwijskansen ongeacht de positie van je ouders of de inhoud van de portemonnee van je familie. Hij wordt geboren (1837) in een eenvoudig Leids gezin (vader is timmerman, moeder is huisvrouw) en wordt na de lagere school en mulo, hulponderwijzer. In de avonduren studeert hij ijverig verder en behaalt allerlei akten middelbaar onderwijs. In 1864 wordt hij leraar aan de hbs en studeert in zijn vrije tijd wis- en natuurkunde in Leiden. Als volstrekt onbekende leraar van een middelbare school promoveert hij in 1873; met zijn dissertatie over de gelijkenis tussen vloeistof en gas maakt hij in een klap naam en faam. Hij wordt al snel benoemd tot hoogleraar in Amsterdam en groeit uit tot fysicus van formaat die het

fundament voor de moleculaire wetenschappen legt. Twee jaar na zijn emeritaat (hij wordt opgevolgd door zijn zoon) krijgt hij in 1910 de Nobelprijs voor de natuurkunde.

Genoeg achtergronden: wat staat er nu op die muur? De formule laat ik hier achterwege, uitleg daarvan vergt niet alleen teveel krantenpapier maar vooral, het gaat mij ver boven de pet. Dit is een poging om het verhaal achter de toestandsvergelijking (de naam van de formule) onder woorden te brengen; wat streefde Van der Waals na en waarom was zijn onderzoek zo belangrijk voor de verdere ontwikkeling van de natuurkunde?

Om daar een beeld van te krijgen moeten we ons verplaatsen naar de tweede helft van de negentiende eeuw. Ook toen was natuurkunde een soort legobouwwerk, onderzoekers uit alle windrichtingen speuren naar de verdere ontraadseling van natuurverschijnselen, nemen kennis van de resultaten van hun collega's, lezen kritisch mee, controleren of zij dezelfde uitkomsten krijgen en komen soms tot de conclusie dat de bevindingen onder bepaalde omstandigheden niet kloppen. En geven daarmee impulsen aan verder onderzoek.

Het onderzoeksgebied van Van der Waals gaat over vloeistof en gas, stoffen die familie van elkaar zijn. Bekend was natuurlijk dat een vaste stof bij een bepaalde temperatuur, het smeltpunt, overgaat in een vloeistof. Bij verdere verhitting verdampt de vloeistof en wordt gas en omgekeerd treedt bij afkoeling condensatie op: gas verandert in vloeistof. Men was vertrouwd met deze overgangen van de ene vorm naar de ander vorm, de zogenoemde faseovergangen.

De relaties tussen druk, temperatuur en volume waren behoorlijk goed in kaart gebracht: de druk van een gas wordt beïnvloed door het volume en de temperatuur. Zo wordt de druk hoger als de temperatuur oploopt. Ook kun je de druk verhogen als je het volume kleiner maakt, het fietspompmechanisme. Wanneer je een gas samenperst komt er een punt dat de maximale spanning is bereikt, daarna gaat het gas over in een vloeistof. Dit kan ook bereikt worden door de temperatuur te verlagen; 's morgens ontstaat er mist wanneer na een koude nacht de lucht flink afgekoeld wordt door de koude ondergrond. Uit experimenten bleek ook dat het

kookpunt van een vloeistof hoger ligt naarmate de druk op die vloeistof groter is, de vloeistof blijft in zo'n situatie langer vloeibaar. Nieuw was vervolgens de ontdekking dat er voor ieder gas een temperatuur bestaat waarbij wat je ook doet, de druk verder verhogen en/of de temperatuur verlagen, er geen vloeistof ontstaat: de ontdekking van de kritische temperatuur waarboven een gas een gas blijft.

Daar tegenover stond dat de wondere wereld der atomen en moleculen destijds nog grotendeels onontgonnen terrein was, er waren wel onderzoekers die het bestaan van moleculen als werkhypothese gebruikten maar tegelijkertijd waren er wetenschappers die niets moesten hebben van de moleculaire theorie. De discussie over het bestaan van moleculen woedt volop en er is volstrekt geen consensus over het bestaan van moleculen, hoe je die moleculen voor moet stellen, hoe groot ze zijn en vooral wat de gevolgen zijn van de activiteit van die moleculen.

Op dit punt verschijnt Van der Waals ten tonele. Voor hem zijn moleculen geen hersenschimmen, hij beschouwt ze als echte 'lichamen'. Ogenscheinlijk heeft een vloeistof geheel andere eigenschappen dan een gas; een vloeistof heeft een bepaald volume en klontert in druppels terwijl een gas elke ruimte vult en druk uitoefent op de wanden door het streven om zich steeds verder uit te breiden. Maar ondanks die verschillen, als een heel erg verdund gas moleculen bevat dan spreekt het voor zichzelf, aldus Van der Waals, dat die lichaampjes en hun bewegingen ook bestaan wanneer dat gas flink onder druk gezet en vloeistof wordt. Van der Waals heeft zijn onderwerp te pakken, de titel van zijn dissertatie wordt '*Over de continuïteit van den gas- en vloeistofoestand*'. Zijn missie: het gedrag van vloeistoffen te verklaren uit hun moleculaire structuur.

Hij toont aan dat de moleculen in gas en vloeistof identiek zijn, er is alleen een verschil in dichtheid. Hij is in staat om de aantrekkingskracht tussen moleculen, een aantrekkingskracht die slechts merkbaar is als twee moleculen elkaar zeer dicht naderen, te berekenen. En hij beseft dat bij hogere dichtheden de omvang van de moleculen een rol gaan spelen. Daarom dient het beschikbare volume verminderd te worden met het eigen volume van de moleculen. Door deze twee factoren (omvang van de moleculen en de aantrekkingskracht der

moleculen) in zijn berekeningen mee te nemen is hij in staat faseovergangen van stoffen te voorspellen. Bij een verkleining van het volume wordt de druk hoger, de moleculen binden zich aan elkaar, er ontstaan in het gas gebiedjes met vloeistof. Maak je het volume nog kleiner dan wordt al het gas omgezet in vloeistof. Met behulp van deze beschouwingwijze is te verklaren waarom gassen soms wel en soms niet tot vloeistoffen worden verdicht en onder welke omstandigheden dit plaatsvindt. Dit is tevens een flinke opstap om ook de zogenoemde permanente gassen, gassen die men op dat moment niet vloeibaar kon maken zoals bijvoorbeeld helium, tot vloeistof te kunnen maken.

Zijn ontdekking van het bestaan en de invloed van zowel de omvang van de moleculen als de onderlinge aantrekkingskracht van moleculen heeft naam gemaakt als de *Vanderwaalskrachten*. Deze krachten maken het bijvoorbeeld een gekko mogelijk om tegen een glazen plaat te klimmen. Ook in het dagelijks spraakgebruik danken wij de begrippen cohesie en adhesie aan het pionierswerk van Van der Waals.

Bij het werken aan zijn proefschrift heeft hij wel eens tegen Philip Kohnstamm (zijn latere opvolger als hoogleraar) laten ontvallen: 'Of ik ben gek, of ik doe een groot werk'. Het is dat laatste geworden, hij is erin geslaagd een theorie te ontwerpen die de overgang tussen gas en vloeistof met berekeningen aantoont. Zijn verhandeling is het bewijs voor het bestaan van moleculen, iets waar destijds nog door velen aan getwijfeld werd.

De muurschildering toont een volume (de blauwe cirkel) met bovenin gasmoleculen (de donkerblauwe stippen) en daaronder de blauwe vloeistof. Van der Waals' theorie is samengevat in de zin: 'De structuur der moleculen dicteert het samenspel tussen vloeistof en gas'. Beter is zijn werk niet samen te vatten.