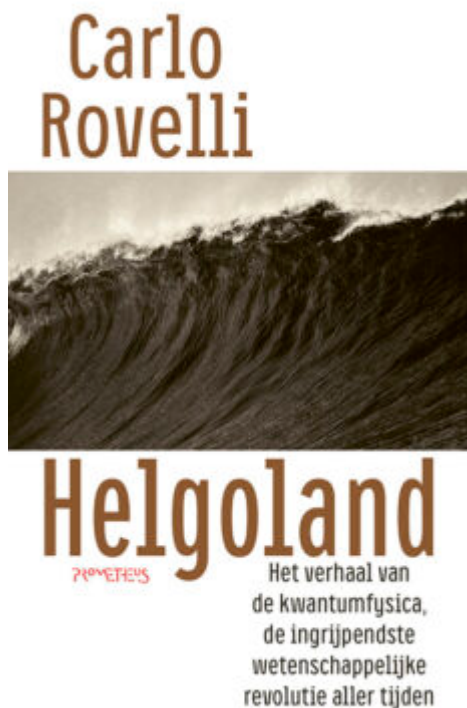


Helgoland

In zijn nieuwste boek *Helgoland* beschrijft natuurkundige en succesvol auteur Carlo Rovelli de geschiedenis en filosofie van de quantummechanica. Rijk aan anekdotes, filosofische bespiegelingen én gedegen uitleg van de theorie zelf en haar interpretaties, is het boek zeer de moeite waard voor zowel leek als expert.



Helgoland is een Duits eiland in de Noordzee, waar de drieëntwintigjarige Werner Heisenberg zich in de zomer van 1925 terugtrok om een probleem te bestuderen dat hij van (de al beroemde) Niels Bohr had gekregen. Bohr had [regels opgesteld](#) die de eigenschappen van chemische elementen voorspelden, zoals de frequentie van licht dat de elementen uitzenden als ze worden verhit. Daarbij moest hij aannemen dat elektronen in exact bepaalde banen om de atoomkern heen draaien, en met exact bepaalde ‘energiesprongen’ van baan kunnen wisselen. Bohr was er echter niet in geslaagd te verklaren *waarom* de elektronen zich zo gedragen. Dat was het probleem dat hij aan Heisenberg meegaf.

Heisenberg trekt zich terug op Helgoland en komt tot een radicaal idee: hij vervangt de variabelen van het probleem (zoals de plaats en energie van de elektronbaan) door [getallenmatrices](#). Zo wordt de quantummechanica geboren.

Deze eerste stappen op een onbekende weg, en het pad dat daarna bewandeld werd om de theorie te voltooien, beschrijft Carlo Rovelli in het eerste deel van Helgoland. Rovelli geeft leiding aan de quantumzwaartekrachtgroep van het Centre de Physique Théorique van de Universiteit van Aix-Marseille, en is dus goed onderlegd in de quantummechanica. De bijdragen van en discussies tussen Heisenberg, Born, Dirac, Pauli, De Broglie, Jordan, en Schrödinger worden anekdotisch uiteengezet; het eerste deel vormt daarmee een mooie samenvatting van vrijwel de gehele ontstaansgeschiedenis van de quantummechanica, en de problemen waar men tegenaan liep in het interpreteren van die theorie. Het is jammer dat Rovelli ook in de val trapt waar velen hem voorgingen: het onderschatten van – of onbekend zijn met – de bijdragen van [Grete Hermann](#), een wiskundige, filosofe en natuurkundige die in de jaren 30 belangrijke bijdragen leverde aan de (interpretatie van de) quantummechanica, en een inspiratiebron was voor Heisenberg.



Afbeelding 2. Uitzicht vanaf Helgoland. Foto: [Jens Steinbeißer](#).

In het tweede deel van *Helgoland* gaat Rovelli in op de theorie zelf: wat maakt de quantummechanica zo radicaal anders dan de klassieke mechanica? En vooral: hoe moeten we haar interpreteren? Nog altijd zijn natuurkundigen het niet eens over het antwoord op de laatste vraag, die draait om de *onbepaaldheid* van de quantummechanica: de theorie voorspelt alleen de *kans* dat iets wordt waargenomen. Het klassieke voorbeeld is Schrödingers kat: een kat zit in een (dichte) doos met een quantummechaniek dat met 50% kans een capsule met dodelijk gif openbreekt. Voor we de doos openmaken is het volgens het quantumformalisme onbepaald of de kat leeft of dood is. Voor veel natuurkundigen (en mensen in het algemeen) voelt dit tegennatuurlijk: de kat is toch zeker gewoon óf dood, óf niet dood? Betekent het feit dat de quantumtheorie alleen leidt tot een kansverdeling niet dat we gewoon *niet slim genoeg* zijn om van tevoren te weten wat we gaan meten? Die aanname is een van de manieren om de onbepaaldheid van de quantummechanica te omzeilen, en wordt het principe van ‘verborgen variabelen’ genoemd: als we meer informatie zouden hebben over het systeem dat we bestuderen, zouden we misschien wel degelijk kunnen voorspellen of de kat leeft of dood is. De natuurkundige Bell toonde echter aan dat dit niet het geval kan zijn zonder te theorie aan te passen. Als we de theorie willen nemen zoals die is – en zoals die vooralsnog nooit gefaald heeft bij het voorspellen en verklaren van de werkelijkheid – zullen we de ingebouwde onbepaaldheid moeten *interpreteren*.

De meeste natuurkundigen hangen de *Kopenhagen-interpretatie* aan. Die is niet heel duidelijk gedefinieerd, maar komt neer op het idee dat er een duidelijke breuk is tussen de onbepaalde quantumwereld van het kleine, en de wereld van de menselijke waarneming: zodra de kat wordt waargenomen door mens of machine, wordt zijn toestand wel degelijk bepaald, en die *is* dan ook zo. Dit was de positie van Heisenberg en Bohr zelf.

Rovelli heeft zo zijn eigen ideeën over hoe de quantummechanica geïnterpreteerd moet worden: hij is de grondlegger van de *relationele quantummechanica*. Volgens Rovelli moeten we de quantummechanica niet zien als een theorie die beschrijft hoe quantumobjecten zich manifesteren aan *ons* (de waarnemer): de theorie beschrijft “hoe een willekeurig fysisch object zich manifesteert aan een willekeurig ander fysisch object”. Dat heeft twee consequenties. Ten eerste betekent het dat eigenschappen van objecten – zoals het wel/niet opengebroken zijn van de capsule met gif, en de toestand van de kat – alleen bestaan in de interactie met andere dingen – in dit geval met ons, de waarnemers. Er zijn volgens Rovelli geen eigenschappen buiten de interacties om. Ten tweede betekent het dat de

eigenschappen van een object die reëel zijn voor een tweede object, dat niet noodzakelijkerwijs zijn voor een derde object. Voor de kat in de doos is er óf gif, óf niet; voor de kat zelf is hij springlevend, of dood. Maar wij bevinden ons buiten de doos en hebben geen interactie met het gif en ook niet met de kat. Voor ons is de kat dus in een 'superpositie' van levend en dood. Vanuit het relationele perspectief bezien zijn beide dingen waar: 'kat is in zuivere toestand (volgens de kat zelf)', en 'kat is in superpositie (volgens ons)'.



Afbeelding 3. Carlo Rovelli. Foto: [Cirone-Musi, Festival della Scienza](#).

In het derde deel van het boek plaatst Rovelli het relationele perspectief in een filosofisch kader. Wat betekent dit perspectief voor ons begrip van de werkelijkheid? Rovelli voert ons op een filosofische reis langs Ernst Mach, Vladimir Lenin, Aleksandr Bogdanov, en uiteindelijk naar de ideeën van de Indiase filosoof Nagarjuna uit de tweede eeuw na Christus. Rovelli vertelt bevlogen over diens idee van de 'leegte' – in de woorden van Rovelli: “de dingen zijn leeg in de zin dat ze geen autonome realiteit hebben, ze bestaan dankzij, als functie van, ten opzichte van, vanuit het perspectief van iets anders”. Het is een mooie onderbouwing van het relationele perspectief – maar vooral maakt Rovelli in dit deel duidelijk hoe verweven natuurkunde en filosofie zijn, en hoeveel ze elkaar te bieden hebben. “Het punt is dat

filosofen ons originele manieren bieden om over de wereld na te denken (...). Het perspectief dat Nagarjuna biedt maakt het ons misschien een beetje makkelijker om over de quantumwereld na te denken.” Tegelijkertijd toont Rovelli in de persoonlijke bespiegelingen ook hoe inspirerend filosofie én natuurkunde kunnen zijn: “Waarnemen dat het idee substantie, dat eens zo hard als steen leek, zich oplost, maakt, dunkt mij, voor ons de vergankelijkheid en het zachte verglijden van het leven lichter.”

Helgoland is voor veel lezers de moeite waard. Voor wie onbekend is met quantummechanica, of een nieuw perspectief zoekt, is het een goed geschreven uitleg van de belangrijkste ideeën, geplaatst in een leerzaam en vermakelijk historisch en filosofisch kader. Voor de natuurkundige – of die het nu eens is met de relationele interpretatie of niet – is er misschien nog meer te vinden: een herkenbare en soms zelfs ontroerende beschrijving van de bevlogenheid van een onderzoeker, en diens wens om betekenis toe te voegen en de werkelijkheid te leren begrijpen in al haar grilligheid en schoonheid.

[*Helgoland*](#), Carlo Rovelli. Uitgeverij Prometheus, 2021, 216 pagina's. ISBN 9789044645040, €20,99.