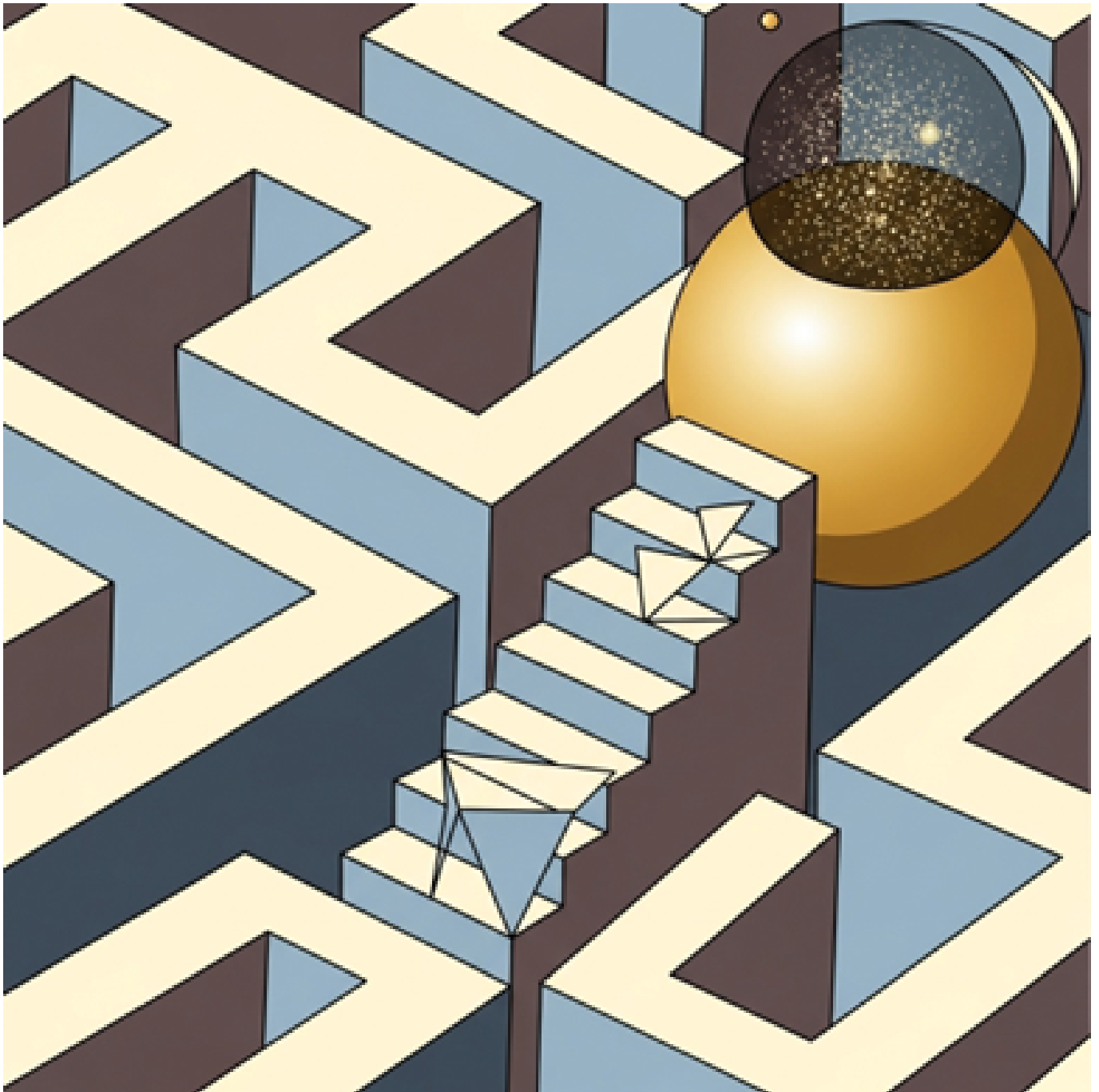


Paradigmaverschuivingen: bewegende wetenschap

De grofweg duizend artikelen die je op de Quantum Universe-website kunt vinden hebben één ding gemeen: de redactie heeft bedacht waar ze over gaan. Nu wilden we wel eens weten: waar willen onze lezers eigenlijk meer over horen? Vandaar de rubriek: “Vraag het een natuurkundige”. Het vijfde artikel in deze reeks beantwoordt de vraag van lezer Max: *hoe komt het dat de lijst van onopgeloste problemen en onbeantwoorde vragen in de fundamentele natuurkunde en kosmologie steeds groeit naarmate er meer onderzoek wordt gedaan?*



Afbeelding 1. Een zoektocht. Geometrische impressie van de zoektocht naar antwoorden over het universum. Een doolhof van vormen en een trap naar een bolvormig “universum”.

Wetenschap, en dus ook natuurkunde, is altijd in beweging. Dat brengt met zich mee dat er ook altijd nieuwe verschijnselen en nieuwe vragen opdoemen. Hoe meer we lijken te weten, hoe meer vragen er ontstaan. De Griekse filosoof Socrates zei al “Het enige dat ik weet, is dat ik niets weet”. Hij hield het dan ook bij vragen beantwoorden met vragen. Frustrerend lijkt me dat... maar hetzelfde is in de wetenschap ook een beetje het geval.

Binnen de wetenschap, en dus ook in de fundamentele natuurkunde, heerst er altijd een bepaald *paradigma*: een diepgeworteld denkkader met modellen die bepalen hoe de wereld waargenomen en geïnterpreteerd moet worden. Een belangrijk huidig paradigma in de natuurkunde is de combinatie van de [algemene relativiteitstheorie](#) en de [quantummechanica](#). Om die reden gaan veel artikelen op Quantum Universe-website over deze theorieën.

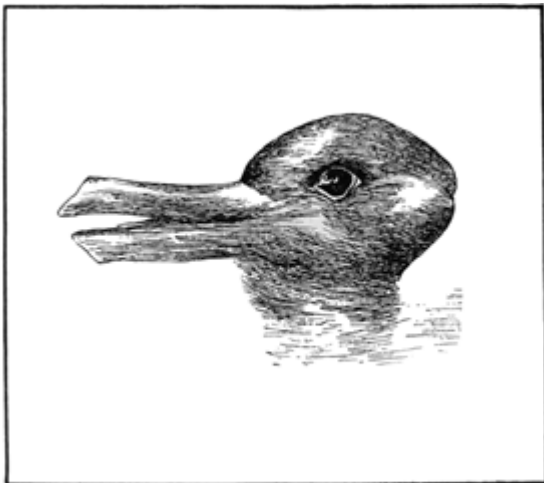
Een voorbeeld van twee verschillende denkkaders en dus twee paradigma's die binnen dezelfde tijdsperiode bestonden werd gevormd door het geocentrische en het heliocentrische model. In de middeleeuwen dacht men eerst dat de aarde een platte schijf was; daarna werd het geocentrische model het dominante idee. Hier bevindt de aarde zich in het centrum van het zonnestelsel, en alle planeten en sterren zouden eromheen draaien. (Het onderscheid tussen het zonnestelsel en het gehele universum werd overigens pas in modernere tijden gemaakt.) Dit model werd wijd geaccepteerd; ook in het oude China was het geocentrische model het geaccepteerde wereldbeeld. In de zestiende eeuw kwam Nicolaus Copernicus echter met een ander voorstel: dat niet de aarde, maar de zon centraal stond en dat alle planeten juist met bepaalde periodes om de zon zouden draaien. Copernicus wist een wiskundig model aan de bewegingen toe te kennen en overtuigde hiermee de katholieke kerk. Dit bracht een paradigmaverschuiving teweeg van het geocentrische naar het heliocentrische model, wat gepaard ging met een wetenschappelijke revolutie.

Om een paradigma te veranderen is bewustwording en aanpassing nodig. Deze bewustwording resulteert in een nieuwe theorie en wanneer deze theorie algemeen geaccepteerd is, wordt het oude paradigma verworpen. Het voorbeeld van het geocentrische en heliocentrische wereldbeeld staat dus niet alleen: een paradigmaverschuiving brengt een wetenschappelijke “revolutie” teweeg. Wisselen van paradigma is echter heel lastig, aangezien wetenschappers volgens bepaalde modellen en denkwijzen geleerd hebben te onderzoeken en concluderen; wanneer je deel uitmaakt van een systeem of paradigma, kun je niet van buitenaf en met andere ogen naar een probleem kijken. Er bestaat dus altijd een zogeheten *bias*, een vooringenomenheid. Als individu kan je je dus eigenlijk ook nooit in twee paradigma's tegelijk bevinden. Vergelijk het met wat je in afbeeldingen 2 en 3 ziet. Daarin zijn niet één maar twee afbeeldingen verscholen. Je zult er waarschijnlijk maar één tegelijk kunnen zien. Ook in dit geval bevind je je dus altijd in maar één paradigma. Zodra je de andere afbeelding ziet, ben je een paradigmaverschuiving doorgegaan.



Afbeelding 2. Illusie: twee afbeeldingen in één. Het

gezicht van een vrouw, of een persoon met saxofoon?



Afbeelding 3. Illusie: twee afbeeldingen in één. Zie je een

eend of een konijn?

Volgens de wetenschapsfilosoof Thomas Kuhn wordt normale wetenschap altijd beoefend binnen een paradigma. Er bestaat een theorie; daar doen we een experiment bij om deze theorie te falsificeren, en hier komt een conclusie uit. Wanneer er geen conclusie getrokken kan worden hebben we met een probleem te kampen: óf de theorie klopt niet, óf het experiment moet aangepast worden. De vraag of de ontwikkeling van de fundamentele natuurkunde en kosmologie vooruitgaat, stagneert of juist achteruitgaat, hangt samen met onze manier van het beoefenen van wetenschap. “Normale” wetenschap, waar geen

paradigmaverschuiving plaatsvindt, speelt zich af op het gebied van theorie, hypothese, experiment en bevindingen. Hier wordt de empirische cyclus gevolgd – een wetenschappelijke methode om kennis op te doen uit ervaring, bestaande uit vijf stappen. Deze stappen zijn: observatie, inductie (hypothesevorming), deductie (opstellen van voorspellingen), toetsing (uitvoeren van onderzoek en dataverzameling) en evaluatie (beoordelen van resultaten en bijstellen van de theorie). Wanneer er echter vreemde metingen niet geplaatst kunnen worden bij de theorie of bij een fout in meetapparatuur en/of opstelling, of wanneer een theorie intern inconsistent blijkt te zijn, is er iets anders aan de hand. Er is dan sprake van een *anomalie*.

Een anomalie is een afwijkend resultaat of een verschijnsel dat niet verklaard kan worden binnen het bestaande model of de heersende theorie. Deze anomalieën zijn belangrijk, aangezien ze kunnen wijzen op beperkingen in onze huidige wetenschappelijke modellen of theorieën. Terugkomend op de vraag van Max – of de wetenschap vooruitgaat of niet door het vinden van anomalieën/onopgeloste problemen: anomalieën zijn cruciaal voor de wetenschappelijke vooruitgang. Wetenschappers worden dan ook gestimuleerd nieuwe hypotheses te ontwikkelen en theorieën te herzien door het ontdekken van anomalieën. Een natuurkundig experiment dat meer vragen oproept dan het beantwoordt, is dus een normaal en zelfs essentieel onderdeel van de wetenschap. Zo'n experiment kan namelijk leiden tot nieuwe hypotheses en dieper begrip van complexe verschijnselen. Metingen worden steeds nauwkeuriger en hiermee is het mogelijk deze anomalieën op te sporen binnen bestaande theorieën.

Laten we om het concreter te maken eens kijken naar de huidige fundamentele natuurkunde. Een aantal onopgeloste problemen daarbinnen zijn :

- De aard van [donkere materie](#) en [donkere energie](#). Donkere materie is een vooralsnog hypothetische soort materie in het heelal die met optische middelen niet kan worden waargenomen – dus niet via de elektromagnetische straling die de aarde bereikt, rechtstreeks kan worden gedetecteerd. Er is nog nooit, met geen enkel natuurkundig experiment, enige vorm van donkere materie direct waargenomen. Ditzelfde geldt voor donkere energie: een hypothetische vorm van energie in het heelal die verantwoordelijk zou zijn voor de versnelling van de uitdijing van het universum (de [positieve kosmologische constante](#)).

- Het verband tussen materie en antimaterie (de [baryon-asymmetrie](#)). Er heerst in ons waarneembare universum een onevenwichtige verdeling tussen materie en antimaterie – we zien vooral “gewone” materie – terwijl de gangbare versies van de oerknaltheorie suggereren dat er een gelijke hoeveelheid van beide soorten materie gecreëerd zou moeten zijn. Hoe deze asymmetrie is ontstaan, is nog een raadsel.
- [Zwarte gaten](#) leiden tot allerlei onopgeloste problemen, zeker als we de quantumeigenschappen van die objecten bekijken. Kan [informatie wel of niet uit zwarte gaten ontsnappen](#)? Hebben zwarte gaten een [entropie](#), net zoals thermodynamische systemen, en kunnen we die ook [op microscopische schaal begrijpen](#)? Wat gebeurt er precies [als je de rand van een zwart gat nadert](#)?
- De [pijl van de tijd](#). Het is onbekend waarom tijd maar één kant op lijkt te gaan, van verleden naar toekomst, en niet andersom.
- Het [probleem van de tijd](#) is een paradox binnen de theoretische natuurkunde die ontstaat wanneer quantummechanica en algemene relativiteitstheorie worden gecombineerd. Dit brengt de vraag met zich mee wat tijd eigenlijk is en of het überhaupt een afzonderlijk fenomeen is.

Zoals je kunt zien brengen deze onopgeloste fenomenen alleen maar meer vragen naar boven. Kan het zijn dat er wel meer antimaterie is, maar dan buiten ons waarneembare heelal? Gaat tijd wel in een richting, of bestaat er helemaal geen tijd? Of is tijd zelfs circulair? Al deze vragen worden gesteld door het conflict tussen theorie en observatie, en uit deze vragen zullen uiteindelijk nieuwe theorieën voortvloeien die de wetenschap verder brengen. Ik zou dus niet zeggen dat door meer vragen uit vragen te krijgen, de wetenschap stagneert. Ik zou eerder zeggen dat het een bewijs is dat in een bepaalde richting iets nog niet begrepen wordt, en daar meer onderzoek nodig is. Je zou kunnen zeggen dat, wanneer een nieuwe theorie ontstaat, er weer van voor af aan begonnen moet worden met ontwikkelingen aan deze nieuwe theorie, en dus met vragen stellen, maar dat is dus precies wat wetenschap is: voortbewegen en telkens een stapje dichterbij een ultieme, alomvattende fysica komen.



Afbeelding 4. Ijskristallen. Ook op niet-fundamenteel niveau zijn er nog veel onverklaarde anomalieën. Er is bijvoorbeeld nog veel onbekend over het ontstaan van precieze vormen van ijskristallen, en hoe je die kunt voorspellen. Foto: [Helen Filatova](#).

Ik vraag mij soms af of we ooit die ultieme vorm van wetenschap kunnen bereiken. Is het mogelijk op een bevredigende manier het allerkleinste met het allergrootste te verzoenen (het paradigma dat we hopen te bereiken), of blijven we ook dan alleen maar met meer vragen achter binnen een geheel nieuwe theorie? Deze vraag is al vaker gesteld, en over het algemeen wordt er een werkbare hypothese aangehouden voor het verenigen van wetenschap. Dat wil zeggen: het streven gaat altijd uit naar een allesomvattende theorie, een *theory of everything*, maar als we in ons achterhoofd houden dat er altijd metingen gedaan zullen worden met instrumenten die foutmarges hebben, dat wij altijd vanuit een heersend paradigma wetenschap beoefenen en dat nieuwe inzichten zeldzaam zijn, zullen er waarschijnlijk altijd wel geheimen blijven bestaan binnen dit universum.