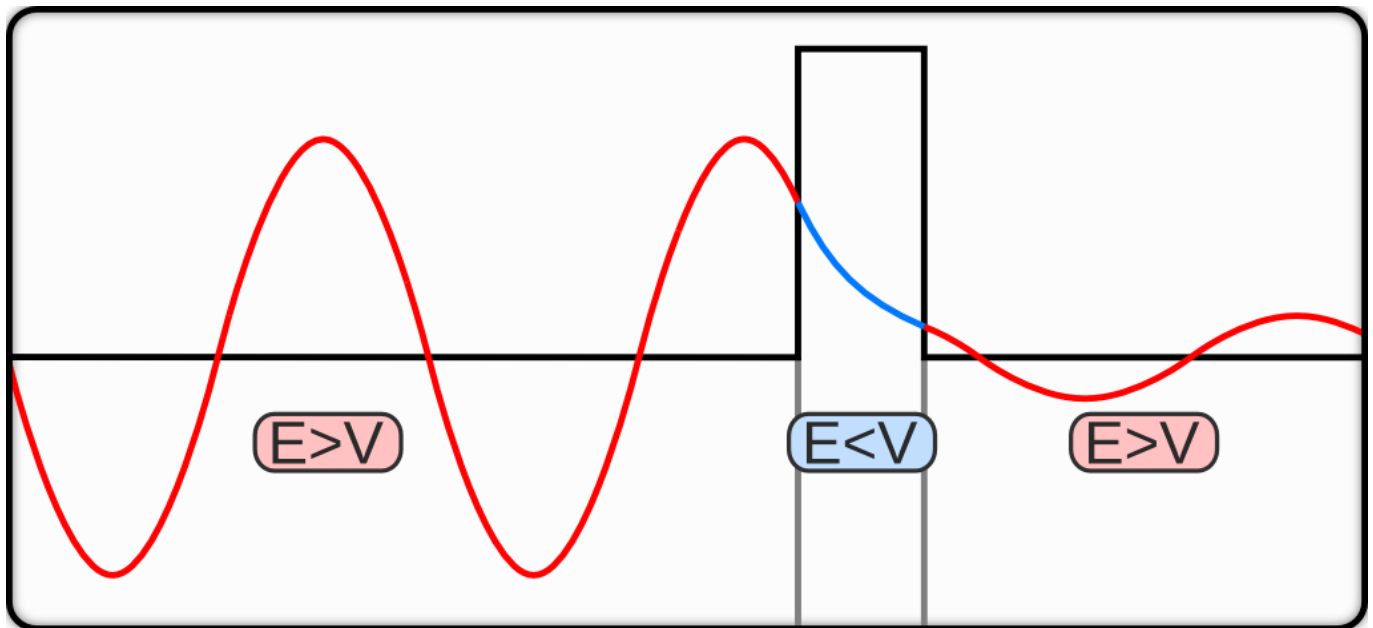


Bubbles of nothing - een doemscenario

Natuurkunde zit vol met desastreuze scenario's die het einde van onze wereld kunnen betekenen. Neem bijvoorbeeld zwarte gaten die de materie om zich heen opslokken, of het verval van het Higgsvacuüm wat alle materie instabiel zou maken. 'Bubbels van niets' zijn misschien nog wel het meest ultieme doemscenario dat de natuurkunde biedt. Binnen deze bubbels verdwijnt namelijk niet alleen alle materie - zelfs onze ruimtetijd houdt er op met bestaan.

Quantum-tunneleffect

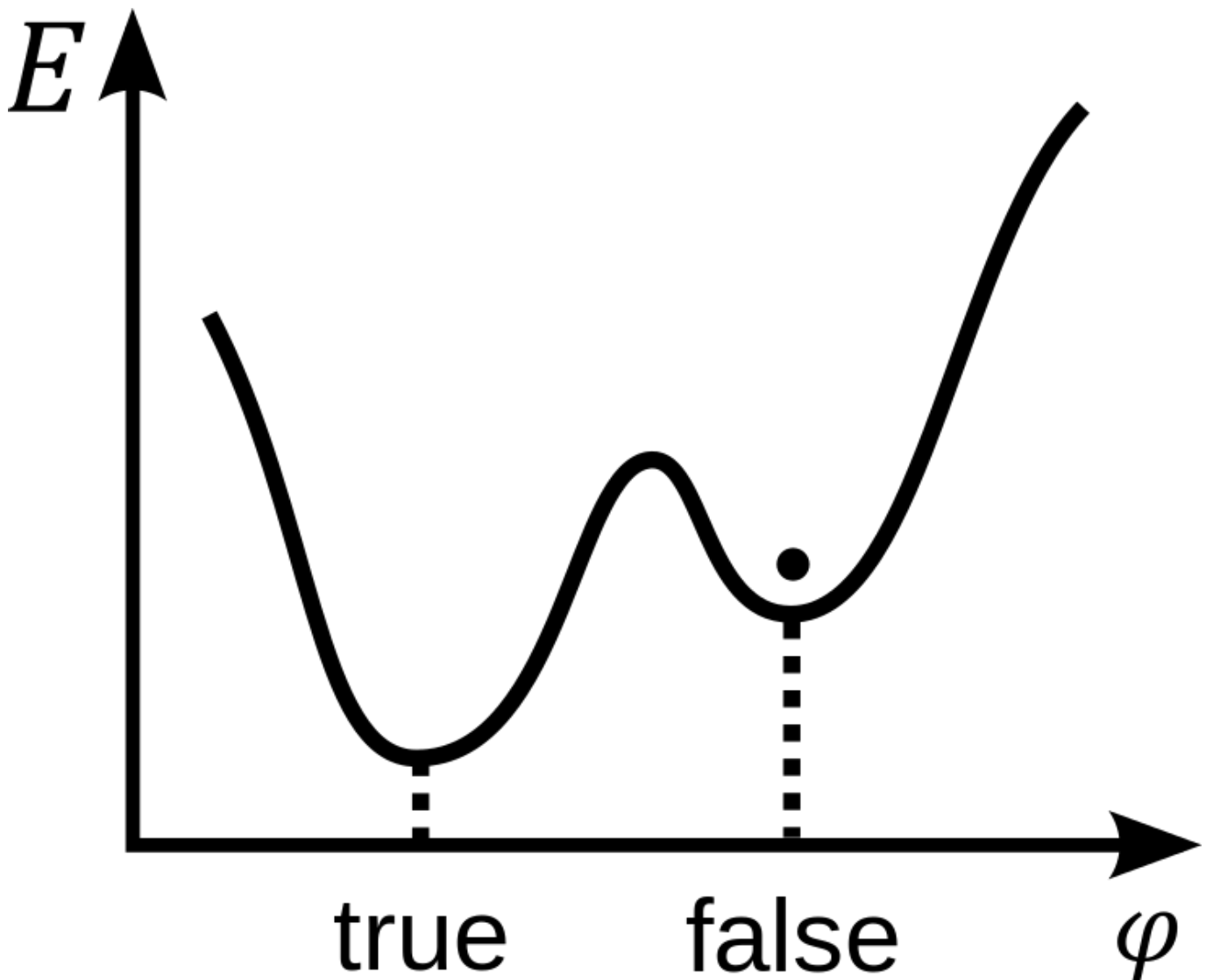
Om de werking van deze bubbels van niets - ook wel "bubbles of nothing" genaamd - goed uit te kunnen leggen, moeten we eerst de eigenschappen van de *grondtoestand* in de quantummechanica beter begrijpen. Natuurkundige systemen willen energie altijd het liefst zoveel mogelijk minimaliseren. Denk hierbij bijvoorbeeld aan een rots die van een berg naar beneden rolt, en zijn laagste energieniveau bereikt wanneer hij in het dal stil komt te liggen. Maar wat als er aan de andere kant van de berg een nog dieper dal ligt? Volgens de klassieke mechanica kan de rots nooit meer in dit andere dal terechtkomen, want de berg vormt een energiebarrière waar de rots niet zomaar doorheen kan.



Afbeelding 1. Tunnelen. Een quantummechanische golffunctie die aan de ene van een barrière is (rode golf, links) zal door de barrière niet direct nul worden, maar langzaam afnemen (blauw, midden). Ook aan het eind van de barrière is de golffunctie nog niet nul, en dus zal zich ook aan de andere kant nog een kleine golffunctie (rood, rechts) bevinden.

Afbeelding: [Felix Kling](#).

In de quantummechanica werkt dit net iets anders. De posities van deeltjes liggen volgens die theorie namelijk niet vast, maar worden beschreven via de [dualiteit tussen deeltjes en golven](#). De *golffunctie* van het deeltje beschrijft dan de kans waarmee een deeltje zich op een bepaalde plek bevindt. En als deze golffunctie een barrière tegenkomt waarvoor het deeltje niet genoeg energie heeft om eroverheen te komen, dan gaat deze kans naar nul. De golffunctie kan alleen niet plotseling van waarde verspringen, maar moet zich gedragen volgens de zogeheten [Schrödingervergelijking](#). Dit betekent dat de golffunctie op een vloeiende wijze van waarde moet veranderen, en dus niet abrupt bij de barrière naar nul kan schieten. Het zakken gaat geleidelijk, dus zelfs aan het eind van de barrière zal de golffunctie nog niet helemaal naar nul gezakt zijn, en er is dus een kans dat ons deeltje aan de andere kant is gekomen! Dit proces wordt ook wel het *quantum-tunneleffect* genoemd, omdat het deeltje als het ware via een quantummechanische tunnel naar de andere kant van de barrière beweegt.



Afbelding 2. Echte en valse grondtoestanden. In het 'dal' rechts lijkt het deeltje of veld zijn laagste energie bereikt te hebben, maar dit is een valse grondtoestand: het dal links is de echte grondtoestand. Afbeelding: [Stannered](#).

Een interessant doemscenario dat van dit effect gebruik maakt - en erg lijkt op een bubbel van niets - heeft te maken met het Higgsdeeltje. Het Higgsdeeltje is erg belangrijk in het huidige standaardmodel van de natuurkunde, want het geeft massa aan onze materie via het *Higgsmechanisme*. In essentie lijkt het Higgsmechanisme erg op ons voorbeeld van een rots die een berg afrolt. Het zogenaamde [Higgsveld](#), wat je kunt zien als de 'zee' waarin de Higgsdeeltjes de 'golven' zijn, begint namelijk bovenop een energiepiek die een situatie beschrijft waar materie geen massa heeft, en rolt vervolgens naar beneden naar een dal waarbij een situatie ontstaat waarin materie wél massa krijgt. Dat klinkt complex, en het uitleggen van de details hiervan vergt een artikel op zich, maar de crux van dit doemscenario

is nu dat het dal waarin het Higgsveld uiteindelijk belandt misschien wel niet de laagste energietoestand is, maar dat er mogelijk een nog dieper dal is dat zich aan de andere kant van de energiebarrière bevindt. Met andere woorden: ons universum zou zich dan in een *valse* grondtoestand bevinden. Via het quantum-tunneleffect zou ons universum daardoor langzaam over kunnen gaan in de echte grondtoestand. Dit betekent dat al onze materie een totaal andere massa krijgt door het Higgsmechanisme, en dat de bouwstenen van onze wereld zelf dus instabiel worden. Deze overgang zou plaatsvinden door de vorming van kleine bubbels verspreid over onze ruimtetijd waarbinnen het Higgsveld wel in de echte grondtoestand is. Die bubbels dijen vervolgens uit, totdat ze onze gehele ruimtetijd beslaan en er niets meer van ons oude universum over is.

Bubbels van niets

Bubbels van niets werken op een vergelijkbare manier, en zullen zich ook op willekeurige plekken in ruimtetijd vormen en vervolgens uitdijen. Het verschil zit hem echter in de inhoud van de bubbels. De wisseling van grondtoestand voor het Higgsveld zorgde ervoor dat materie binnenin de bubbels van massa veranderde. Daarentegen zijn bubbels van niets, zoals de naam al suggereert, helemaal leeg. Sterker nog, ruimtetijd zelf houdt op te bestaan binnenin deze bubbels! Dit klinkt misschien alsof we met zwarte gaten te maken hebben, maar deze bubbels werken toch net iets anders. Gooi je namelijk een deeltje in een zwart gat, dan wordt het opgeslokt en zie je het nooit meer terug. Gooi je het deeltje in een bubbel van niets, dan zal je deeltje wel terugkomen. Het wordt namelijk letterlijk teruggekaatst door de nieuw ontstane rand van het universum.

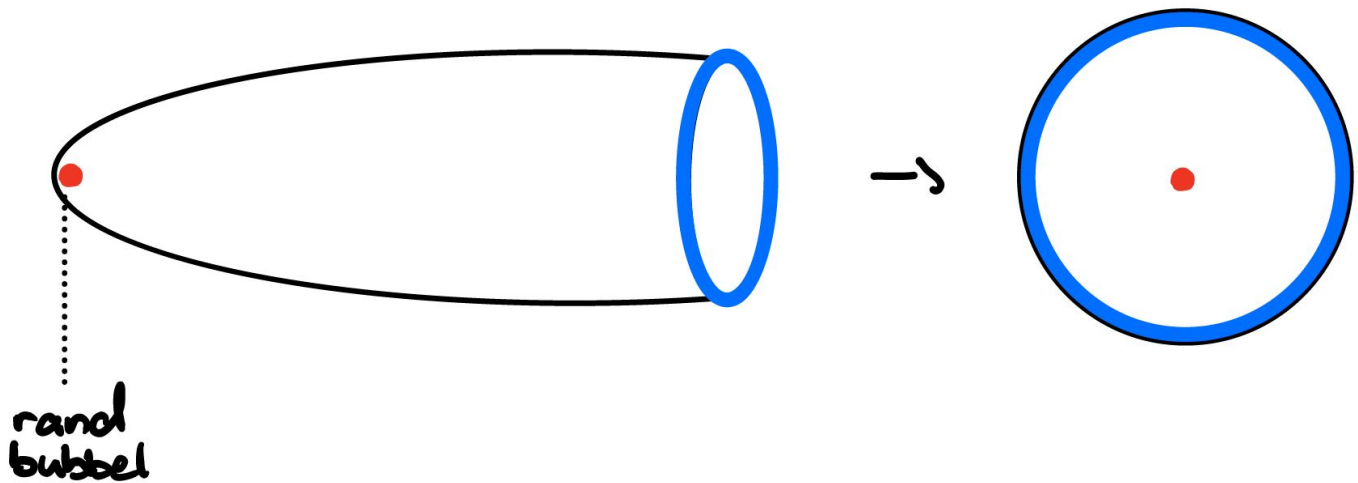
Het idee van bubbels van niets is afkomstig uit de jaren 70, toen onder meer Sidney Coleman deze desastreuze bellen bestudeerde. Een belangrijk model van zulke bubbels van niets werd door de theoretische natuurkundige Edward Witten opgesteld in 1982. In een doorsneetheorie met vier dimensies (drie voor ruimte, één voor tijd) blijkt dat zulke bubbels niet voor kunnen komen. Witten probeerde ze daarom te ‘bouwen’ in een theorie met vijf dimensies, ééntje meer dan onze vierdimensionale ruimtetijd. Daarbij had hij de [extra dimensie in zijn model opgerold tot een heel kleine cirkel](#). Zó klein, dat we de extra dimensie niet zouden opmerken, en Wittens model dus toch onze werkelijkheid kon beschrijven. In deze theorie bestudeerde hij vervolgens de *Einsteinvergelijkingen* – de vergelijkingen die beschrijven hoe onze ruimtetijd eruit kan zien. Witten vroeg zich af of er naast ons universum

nog een andere oplossing van deze vergelijkingen was, en kwam toen tot een interessant inzicht. Hij ontdekte namelijk een oplossing waarbij er middenin de ruimtetijd een gat – een bubbel van niets – zat. Deze bubbel zou eerst langzaam groeien, uiteindelijk versnellen tot de snelheid van het licht, en vervolgens zelfs het hele universum opvreten.

Vanuit het perspectief van de klassieke mechanica kun je nu denken dat deze bubbels niet in ons universum zitten, dus dat we nergens bang voor hoeven te zijn. Maar quantummechanica leert ons dat we eerst goed moeten nagaan of we niet in een valse grondtoestand zitten. En wat blijkt nu: via het quantum-tunneleffect zouden we inderdaad kunnen overspringen naar een universum mét een bubbel van niets.

Supersymmetrie als redmiddel

Tegelijkertijd is het natuurlijk zo dat ons heelal al 14 miljard jaar lang *niet* ingestort is, dus kennelijk loopt het met die bubbels van niets nu ook weer niet zo'n vaart. Dan rest de vraag: wat zou ons universum kunnen beschermen van zulke bubbels van niets? Een mogelijk redmiddel tegen deze bubbels is [supersymmetrie](#), een symmetrie die bepaalde soorten deeltjes in een theorie met elkaar associeert. Om te zien hoe supersymmetrie de bubbels van niets kan voorkomen, moeten we eerst goed kijken naar de vorm van de opgerolde dimensie. Als we namelijk naar de bubbel toe bewegen, dan wordt de cirkel steeds kleiner, totdat de cirkel zich samenknijpt tot een punt op de rand van de bubbel. Dit betekent dat de cirkel geen holle cylinder uitsnijdt zoals je eerst misschien zou verwachten, maar een sigaarvorm met een stomp uiteinde. Om het onszelf wat makkelijker te maken geven we deze holle sigaar weer als een denkbeeldige schijf, waarbij het midden van de schijf overeenkomt met de punt van de sigaar. In de wiskunde worden dit soort vervormingen bestudeerd in het vakgebied van de *topologie*, waarbij het voorbeeld van een [donut die in een kopje wordt veranderd](#) wellicht bekend voorkomt.



Afbeelding 3. De extra dimensie als 'sigaar'. Ver van de bubbel van niets af is de vijfde dimensie in Wittens model een cirkel. Op de rand van de bubbel moet echter óók die cirkel verdwijnen; hij knijpt daar dus samen tot een punt. Als je alle cirkels van ver weg tot dichtbij de rand samenneemt, krijg je dus een soort sigaarvorm - die je ook kunt zien als een vervormde cirkelschijf.

Hoe komt supersymmetrie hier nu precies van pas? Voor supersymmetrie spelen zogenaamde [fermionen](#) een belangrijke rol. Dit zijn deeltjes waarvan de golffunctie met een minteken verandert wanneer we ze met 360 graden, ofwel (2π) radialen, draaien. Draaien we de schijf die onze sigaar weergeeft dus een rondje, dan moet de golffunctie van een fermion naar min de golffunctie gaan. Deze eigenschap kunnen we elegant uitdrukken als een *randvoorwaarde* voor de golffunctie. Als we namelijk met (θ) de positie op de cirkel aangeven, dan moet de golffunctie $(\psi(\theta))$ voldoen aan

$$\psi(\theta + 2\pi) = -\psi(\theta).$$

Nu heeft supersymmetrie niet zomaar fermionen nodig, maar een speciaal soort fermionen waarvan de golffunctie op een constante functie lijkt. Dit gaat alleen niet zo goed samen met de bovenstaande voorwaarde, want de enige constante golffunctie die ook aan de randvoorwaarden voldoet is $(\psi(\theta) = 0)$. Oftewel: deze fermionen kunnen er helemaal niet zijn, want de kans om deze deeltjes tegen te komen is overal nul! Supersymmetrie voorspelt echter een verband tussen soorten deeltjes, en als één soort afwezig is, dan leidt dat tot een tegenspraak. Het idee is nu dat als in onze wereld supersymmetrie bestaat, we door dit effect beschermd zijn tegen het quantum-tunneleffect dat bubbels van niets veroorzaakt. Als we namelijk aan de ene kant van de tunnel een bepaalde symmetrie in onze

deeltjes hebben, dan moet die symmetrie aan de andere kant van de tunnel ook behouden blijven. In andere woorden, het quantum-tunneleffect kan ons alleen naar andere grondtoestanden brengen die ook supersymmetrisch zijn, en ruimtetijden met bubbels van niets zijn dat simpelweg niet.

Samenvattend: natuurkunde zit vol met potentiële rampscenario's waar sciencefictionfilms nog iets van zouden kunnen leren. Via bijzondere mechanismen zoals het quantummechanische tunneleffect blijkt dat we kwetsbaar zijn voor allerlei soorten bubbels die ons universum overhoop zouden halen. Bubbels van niets lijken het grootste gevaar, waarvoor zelfs onze ruimtetijd zelf niet eens veilig zou zijn. Gelukkig hebben theoretische natuurkundigen obstructies voor dit soort bubbels gevonden: supersymmetrie blijkt bijvoorbeeld niet alleen een elegant voorstel voor een symmetrie in de deeltjesfysica te zijn, maar zou ook de vorming van dit soort bubbels tegengaan. Of bubbels van niets zich toch kunnen vormen zal de tijd ons leren, maar het feit dat het universum ondertussen al 14 miljard jaar oud is zou ons alvast wat geruster moeten stellen.