Feynman, brownse beweging en de menselijke cel

Hoe Richard Feynman na zijn dood beweging in cellen wist te verklaren

Hoe stel jij je een cel voor? Veel mensen zullen bij een cel denken aan een bolletje waar wat DNA in ligt, maar in werkelijkheid is een cel, hoe klein die ook mag zijn, volop beweging: motoren draaien, draden groeien en zo nu en dan kopieert een cel zichzelf ook nog eens. Lange tijd was het een raadsel hoe alles in zo'n klein volume precies kon bewegen, totdat men terugdacht aan een lezing die Richard Feynman in de jaren 60 gaf.

Cellen zijn zo klein dat we ze vaak met het menselijk oog niet kunnen zien. Een menselijke cel heeft bijvoorbeeld gemiddeld een diameter van 15 *micro*meter, wat ongeveer 1000 keer kleiner is dan een kleine knikker. In zo'n cel wordt echter wel constant gebouwd. Zo moet om een celdeling mogelijk te maken DNA gekopieerd worden. Als dat gebeurd is, moet het DNA van elkaar getrokken worden, en daarvoor moeten eerst lange draden gebouwd worden die dat kunnen. Het maken van die draden is slechts een van de vele voorbeelden van hoe er in een cel "gebouwd" wordt.

Het onderstaande filmpje geeft een idee van het vele bewegen en bouwen in een cel:

Hoe kan het dat binnen een cel überhaupt iets gebouwd kan worden? Als wij in het dagelijks leven een toren bouwen, zien we heel duidelijk hoe dat kan: iemand zet een blok bovenop een andere blok en maakt die blokken (hopelijk) goed vast. Maar in een cel is er geen hand die bouwstenen aan elkaar vastmaakt, dus hoe kunnen we dan toch verklaren dat bouwstenen één geheel gaan vormen?

In de jaren 90 werd bedacht dat het antwoord wel eens zou kunnen liggen in een lezing van de beroemde natuurkundige Richard Feynman uit de jaren 60. Over Richard Feynmans lezingen hebben we hier bij QU al eerder melding gemaakt. In een van zijn heldere

verhandelingen over de natuurkunde vroeg hij zich ooit af of we beweging die sowieso voorkomt in het dagelijks leven niet kunnen gebruiken om een motor te maken.

Beweging die er in dagelijks leven altijd is, is de beweging als gevolg van temperatuur. Neem bijvoorbeeld stofdeeltjes in het zonlicht: die zie je bewegen, ook als er geen wind is. Dat komt doordat de atomen in de lucht als gevolg van de temperatuur die ze hebben altijd een beetje trillen en bewegen, waarbij ze opbotsen tegen andere deeltjes in de lucht. Als gevolg daarvan bewegen de stofdeeltjes weer wat meer en zie jij ze zo door de lucht dwarrelen.



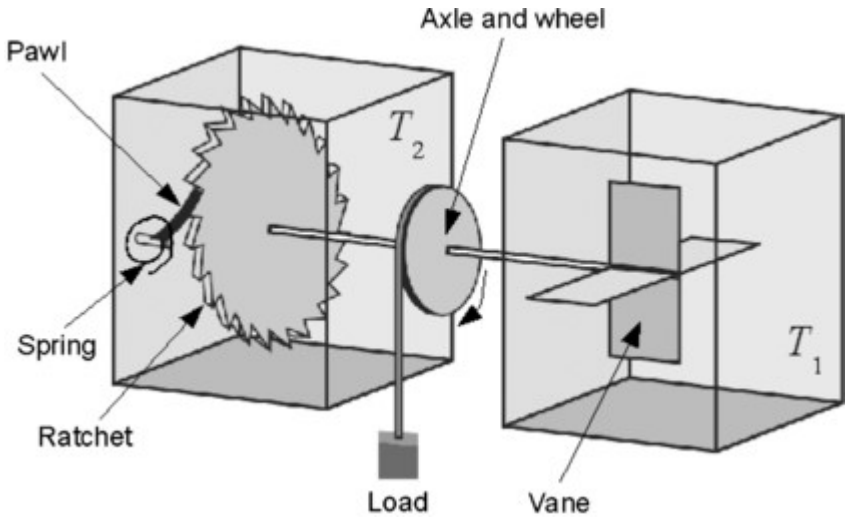
Afbeelding 1. Stof in de zon.Stofdeeltjes in de zon geven niet alleen een mooi schouwspel, ze gedragen zich ook volgens interessante onderliggende natuurkunde! Foto: wikipedia-gebruiker E.mil.mil.

Deze beweging wordt brownse beweging genoemd. Het verschijnsel is vernoemd naar de Schotse botanicus Brown, die in 1861 zag dat zandkorreltjes in water bewogen, zonder dat er wind of een stroom van water was. Hij begreep niet waarom dit gebeurde, maar zo'n 50 jaar later snapte Albert Einstein dat wel: de zandkorreltjes werden constant in beweging gebracht door de botsingen met de watermoleculen die als gevolg van de warmte continu bewegen.

Einstein loste daarmee (in zijn promotieonderzoek) een probleem op dat een halve eeuw lang onoplosbaar was geweest.

Richard Feynman bedacht (geïnspireerd op het werk van de Poolse natuurkundige Marian Smoluchowski) aan de hand van deze brownse beweging de volgende constructie. Stel dat we twee dozen hebben van dezelfde temperatuur en gevuld met dezelfde deeltjes. In beide dozen stoppen we een tandwiel. De twee tandwielen verbinden we met elkaar en aan de staaf die de tandwielen verbindt, maken we een katrol waaraan een gewichtje hangt. Als gevolg van de brownse beweging van de deeltjes zal er zo nu en dan een deeltje tegen een tandwiel opbotsen waardoor het tandwiel zal bewegen. Het andere tandwiel beweegt als gevolg hiervan ook waardoor het gewichtje omhoog of omlaag zal worden getild. Gemiddeld genomen zal elk tandwiel even vaak naar beneden als naar boven worden getikt waardoor er netto niets gebeurt en het gewichtje niet verschuift.

Feynman stelde het volgende voor: wat nu als we een rem op een van de tandwielen zetten en de temperatuur in de andere doos hoger maken? De rem blokkeert de beweging van het tandwiel in één richting maar staat beweging in een andere richting toe (zoals bij de pedalen op een fiets met achteruittraprem). De situatie komt er dan uit te zien als in de volgende afbeelding, waarin het tandwiel in de rechterdoos door een wat efficiëntere windvaan is vervangen:



Afbeelding 2. De Feynmanratel.Bron: Z. C. Tu, Efficiency at maximum power of Feynman's ratchet as a heat engine.

In de rechter doos zullen heel veel deeltjes tegen de windvaan aantikken omdat de

temperatuur hoog is. Het andere tandwiel kan echter maar in één richting draaien als gevolg van de rem. Zo zal het gewichtje dus wel netto omhoog of omlaag worden getild! Oftewel: je kunt op deze manier een beweging in een specifieke richting (een directionele beweging) genereren.

Wat heeft Richard Feynman ons hier nu geleerd? Dat je brownse beweging kunt gebruiken om een directionele beweging te krijgen, mits er een temperatuurverschil bestaat tussen twee situaties. Verrassend genoeg werkt de hele opstelling namelijk níet als beide dozen dezelfde temperatuur hebben: het blijkt dat dan de rem (waartegen natuurlijk ook moleculen opbotsen, en die dus heel af en toe losschiet) dan zo slecht gaat werken dat het gewicht nog altijd even ver omhoog als omlaag zal gaan. De benodigde brownse beweging komt overal in ons dagelijks leven voor, want alles in ons leven speelt zich af rond kamertemperatuur. Om die brownse beweging om te zetten in directionele beweging hebben we dus alleen nog een temperatuurverschil nodig – of iets anders wat diezelfde rol kan spelen.

Dat laatste realiseerde bijvoorbeeld de Amerikaanse wiskundige Charles Peskin zich in de jaren 90 toen hij nadacht over het aan elkaar plakken van bouwstenen aan ketens van bouwstenen in cellen. Hoe dat proces in zijn werk gaat zie je mooi in het volgende filmpje:

Ook een cel heeft een temperatuur van kamertemperatuur of hoger, en dus is er brownse beweging. Hierdoor botsen bouwstenen constant tegen de keten aan en plakken eraan vast. Door diezelfde brownse beweging kunnen de bouwstenen echter ook weer loslaten van de keten, zoals het tandwiel ook in twee richtingen kan draaien. Peskin realiseerde zich dat er nu een *chemisch* energieverschil is tussen bouwstenen die zich vastmaken aan de keten en bouwstenen die zich losmaken van de keten. Dit chemische verschil speelt in de cel precies dezelfde rol als de temperatuur in de opstelling van Feynman: het zorgt ervoor dat het proces de ene kant op waarschijnlijker is dan het proces de andere kant op. Dat betekent dat de brownse beweging dus ook hier gebruikt kan worden om directionele beweging te genereren – in dit geval: de bouw van een keten.

Zo hielp de natuurkundige Feynman, die in 1988 overleed, een biologisch vraagstuk op te lossen in de jaren 90 – een probleem dat ’zelf zijn oorsprong weer kende in 1861. Je ziet: ook de geschiedenis van de wetenschap volgt niet altijd een directionele beweging!

Wil je meer weten over dit onderwerp? Bekijk dan hier de lezing van Feynman zelf over de brownse beweging: