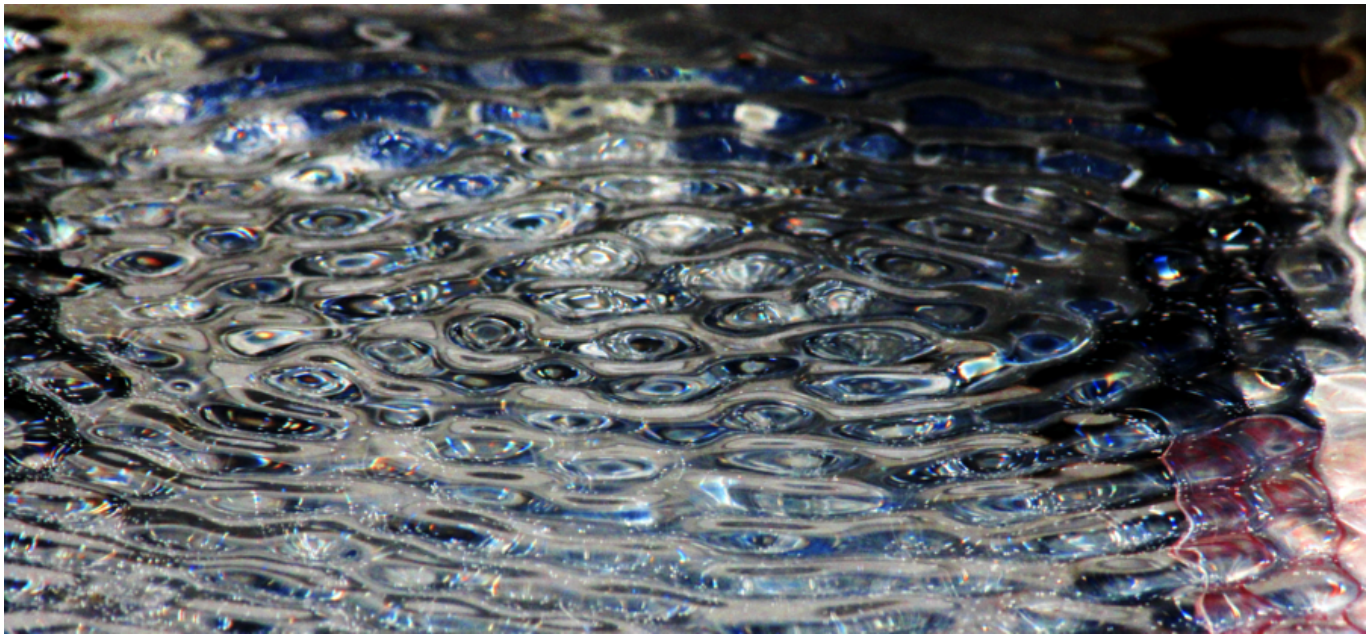
Trillende regenwormen

De Ig Nobelprijs is een jaarlijkse prijs voor onderzoek dat mensen laat lachen, maar dat stiekem interessante consequenties kan hebben. De prijzen van 2020 hebben weinig aandacht gekregen doordat er in dat jaar veel andere dingen gaande waren. Desalniettemin doet het onderzoek dat in de prijzen is gevallen niet onder aan dat uit andere jaren. Het natuurkundeonderzoek dat in 2020 in de prijzen viel had als vraag: wat gebeurt er met een regenworm als je die met een hoge frequentie laat trillen?



Afbeelding 1: Faradaygolven. Een schaal met water trilt met een frequentie van 82 Hz. Dit zorgt voor het ontstaan van niet-lineaire staande golven die Faradaygolven. Afbeelding: Gardner Nichols en Janelle Montoya.

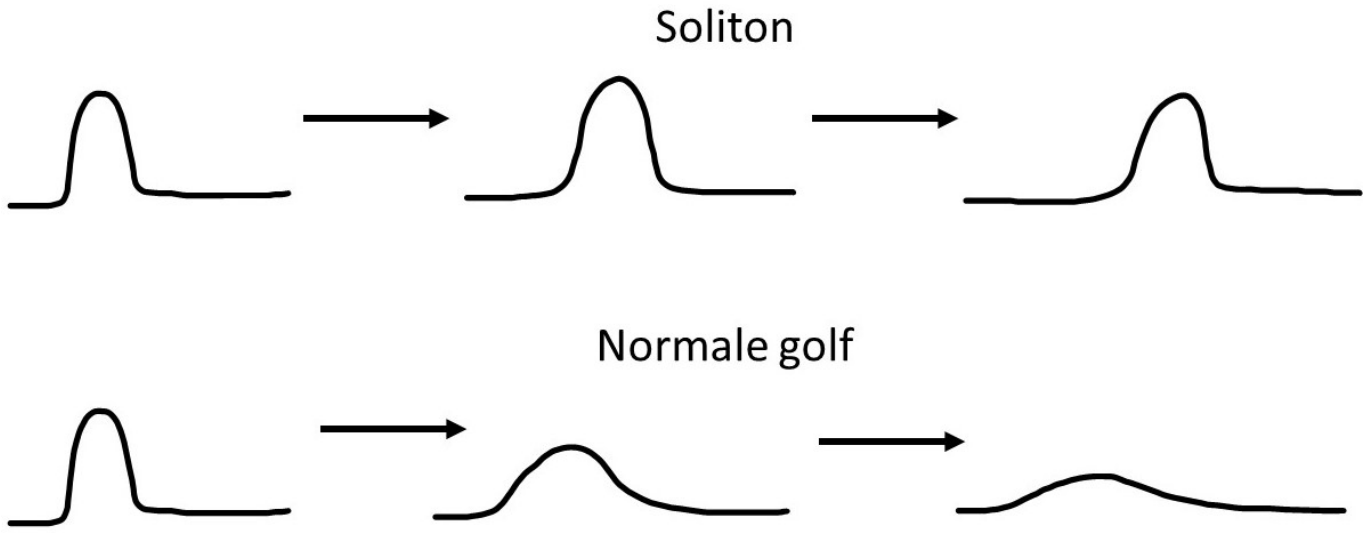
Trillingen kunnen bijzondere fenomenen teweegbrengen. Als lucht op een specifieke manier trilt, noemen wij dat muziek. Als een object met zijn *eigenfrequentie* trilt, kan resonantie optreden. De eigenfrequentie van een object is de frequentie waarmee het zal gaan trillen als het vanuit een evenwichtspositie wordt losgelaten. Denk aan een gewicht dat aan een veer hangt: als je het gewicht loslaat en zijn gang laat gaan, zal het met zijn eigenfrequentie trillen. Resonantie is echter een verschijnsel dat niet alleen invloed heeft op zulke massa-

veersystemen; er moet ook rekening mee gehouden worden bij het bouwen van infrastructuur zoals bruggen. Als die namelijk een eigenfrequentie hebben die door de omgeving kan worden gegenereerd, kan dat catastrofale gevolgen hebben.

Dit zijn voorbeelden van trillingen die wij in ons dagelijks leven meemaken, maar er zijn heel interessante dingen die gebeuren als dingen gaan trillen zonder dat wij het doorhebben. Er is bijvoorbeeld een bijzonder fenomeen dat optreedt als een vloeistof zich in een trillend reservoir bevindt. Als de frequentie van de trillingen boven een bepaalde kritische waarde komt, ontstaan er *Faradaygolven* – zie afbeelding 1. Faradaygolven zijn niet-lineaire staande golven die ontstaan doordat er een instabiliteit wordt veroorzaakt in de vloeistof. De golven zijn vernoemd naar Michael Faraday, die dit verschijnsel voor het eerst heeft bestudeerd in 1831. Niet-lineair betekent dat de input niet recht evenredig is met de output. In de context van Faraday golven wil dat zeggen dat de frequentie waarmee de lucht trilt, niet evenredig is met de frequentie waarmee het water trilt. Een staande golf is een golf die zich niet voortplant maar op één plaats blijft. De Faradaygolven in het water bewegen dus alleen op en neer. In de onderstaande video kun je een weergave zien van Faradaygolven die ontstaan bij verschillende frequenties.

De onderzoekers die in 2020 de IgNobelprijs hebben gewonnen, Ivan Maksymov en Andrey Pototsky, vroegen zich af: als zulke golven ontstaan in vloeistoffen, en levende organismen grotendeels bestaan uit vloeistof, zouden we dit soort golfpatronen dan ook kunnen waarnemen in dieren? Om hierachter te komen hebben zij ervoor gekozen om onderzoek uit te voeren op vier verschillende soorten regenwormen. De keuze voor regenwormen was gebaseerd op praktische overwegingen, aangezien deze dieren makkelijk te verkrijgen zijn en er geen goedkeuring nodig was van een ethische commissie voor het onderzoek. Daarnaast hebben de wormen een hydrostatisch skelet. Dat is een flexibel skelet dat bestaat uit lichaamsvocht, waarbij de stevigheid tot stand komt door hydrostatische druk: de druk die door stilstaande vloeistof wordt uitgeoefend op een voorwerp in de vloeistof. Het bijzondere skelet van wormen maakt deze dieren perfect voor onderzoek naar Faradaygolven. De golven zullen er namelijk toe leiden dat de worm van vorm verandert, aangezien het skelet van de worm meebeweegt. Bij een dier met een rigide skelet zouden de golven alleen inwendig zijn, waardoor ze moeilijk waar te nemen zijn.

Om het effect van verschillende frequenties op de wormen te kunnen onderzoeken, hebben de wetenschappers de wormen geïmmobiliseerd met ethanol en vervolgens geplaatst op een Teflon-plaat die op verschillende frequenties kan trillen. Aan de hand van een laser en een fotodetector, hebben ze het trillingspatroon van de wormen vast kunnen stellen. Uit de metingen blijkt dat alle soorten regenwormen inderdaad Fardaygolf-achtige patronen vertonen. Maksymov en Pototsky hebben vervolgens hetzelfde onderzoek uitgevoerd op een nepworm: een elastische cilinder gevuld met water. Dit experiment gaf hetzelfde soort resultaat. Om dieper in de mechanica van de golven te kunnen duiken, hebben de wetenschappers ook een computermodel gemaakt van de wormen. Daaruit bleek dat de wormen een discreet spectrum van eigenfrequenties hebben. Dit zorgt ervoor dat er specifieke frequenties zijn waarbij Faradaygolf-achtige trillingen kunnen plaatsvinden.



Afbeelding 2: Verschil tussen een soliton en een normale golf. Een soliton is een eenling-golf die zijn vorm behoudt over lange afstanden en die met constante snelheid beweegt. Een normale golf behoudt zijn vorm niet over lange afstanden; daarbij valt de amplitude af tot nul terwijl te golf zich in de ruimte verplaatst.

Aangezien cellen en de meeste levende wezens voor een groot gedeelte uit vloeistof bestaan en er constant trillingen om ons heen en in ons lichaam plaatsvinden, is het belangrijk om een goed begrip te hebben van de effecten van niet-lineaire trillingen op levende organismen. Onderzoek hiernaar kan leiden tot nieuw biologisch onderzoek naar niet-lineaire verschijnselen in biologische systemen, maar geeft ook de mogelijkheid om nieuwe technieken te ontwikkelen om biologische processen in het lichaam in kaart te brengen en te controleren. Het onderzoek van Maksymov en Pototsky naar wormen zou gebruikt kunnen

worden om te onderzoeken hoe impulsgeleiding via de zenuwen werkt. Hiervoor zijn verschillende modellen, waaronder het *soliton model*. Volgens dit model verplaatsen signalen zich door het membraan van een axon in de vorm van eenling-geluids- of drukgolven. Een axon is een uitloper van een zenuwcel die elektrische impulsen geleidt. Door de geleiding van elektrische impulsen kan informatieoverdracht plaatsvinden in het zenuwstelsel. De golven in het solitonmodel voor impulsgeleiding kunnen gemodelleerd worden als *solitonen*. Solitonen zijn eenling-golven die hun vorm behouden over lange afstanden terwijl ze met een constante snelheid bewegen – zie afbeelding 2. Dit soort golven komt voor in niet-lineaire systemen. Nu er is aangetoond dat niet-lineaire golven inderdaad voorkomen in levende organismen, zou dit model in de toekomst mogelijk getest kunnen worden.

De Faradaygolf-achtige patronen in wormen hebben, volgens de metingen van Maksymov en Potosky, frequenties tussen 20 en 300 Hz. Dat is vergelijkbaar met de frequentie van zenuwimpulsen. Het zou dus theoretisch gezien mogelijk kunnen zijn om zenuwimpulsen in de wormen te versterken of te verminderen aan de hand van constructieve of destructieve interferentie. Als dit daadwerkelijk mogelijk blijkt, opent het de deuren voor nieuw onderzoek naar mechanische manieren om zenuwsignalen te controleren. Wie weet leidt dit onderzoek naar trillende regenwormen uiteindelijk tot nieuwe inzichten en therapieën binnen de neurowetenschappen. De IgNobelprijs voor Natuurkunde van 2020 laat zien dat we van alle organismen om ons heen iets kunnen leren, zelfs van een regenworm.

Bron

Maksymov, Ivan S., and Andrey Pototsky. *Excitation of Faraday-like body waves in vibrated living earthworms.* Scientific *Reports* 10.1 (2020): 8564.