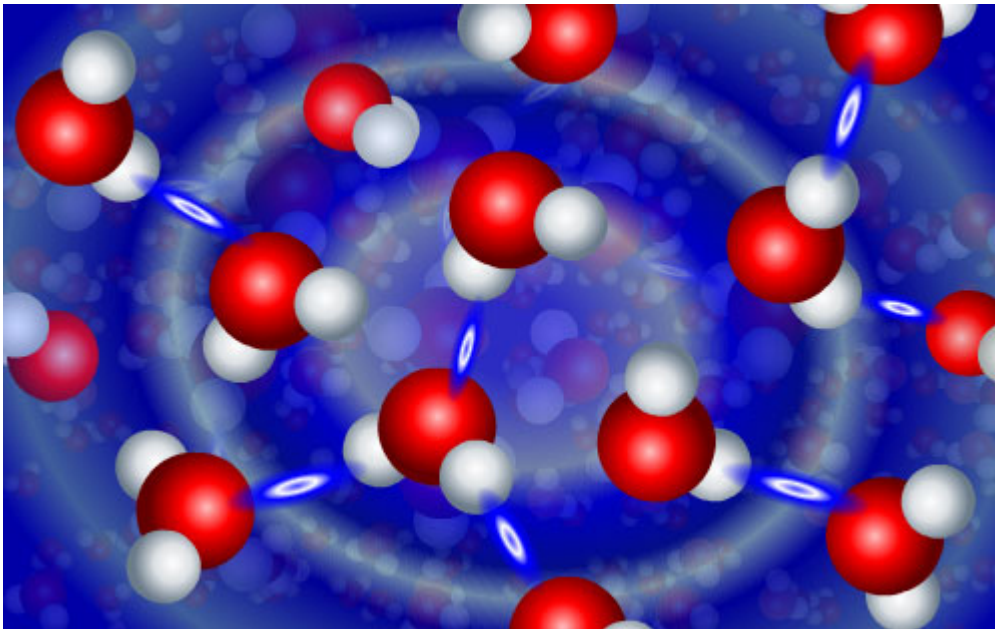


Hydrodynamica (6): De vloeistof-zwaartekrachtdualiteit

Wat hebben zwaartekracht en vloeistofmechanica met elkaar te maken? Heel weinig, zou je denken. Toch zijn er verrassende omstandigheden waarin we met de zwaartekrachtwetten berekeningen kunnen doen aan vloeistoffen die anders vrijwel onmogelijk zouden zijn.



Afbeelding 1. Water. Water bestaat op kleine schaal uit watermoleculen die bepaalde interacties met elkaar hebben. Op veel grotere schaal volgen uit deze microscopische eigenschappen de wetten van de vloeistofmechanica. Afbeelding: [National Science Foundation](#).

Zwaartekrachtwetten en de bewegingswetten van vloeistoffen zijn twee heel verschillende dingen. Toch zijn er verrassend genoeg omstandigheden waaronder de twee theorieën *wel* hetzelfde zijn, als twee zijden van dezelfde munt. Deze observatie blijkt erg nuttig te zijn, omdat je via de zwaartekrachtwetten van Einstein allerlei dingen kunt berekenen die via de bewegingswetten van vloeistoffen lastig te verkrijgen zijn. In dit artikel zullen we zien waarom vloeistoffen het überhaupt waard zijn om te bestuderen, en onder welke omstandigheden zwaartekracht ons uit de brand kan helpen.

Meer vloeistoffen dan je denkt

Veel mensen zullen, als ze aan een vloeistof zoals water denken, onlosmakelijk denken aan een gladde substantie. Als je echter ver genoeg inzoomt op water, blijkt het te bestaan uit bijna ontelbaar veel botsende Mickey Mousevormige moleculen, iets wat je normaal gesproken niet in je overwegingen meeneemt wanneer je bezig bent met het stromen van water.

Zoals we in [deel 1 van deze serie](#) ook al betoogden, is de notie van een “vloeistof” iets wat zich alleen op bepaalde lengteschalen uit. Een vloeistof kan op microscopische schaal uit allerlei verschillende bouwstenen bestaan. In plaats van Mickey Mouseachtige moleculen kan een vloeistof ook bestaan uit, bijvoorbeeld, sacharosemoleculen, ballenbakballen of zelfs quarks. Als de bouwstenen maar met een voldoende hoeveelheid zijn, dan gedragen ze zich op de juiste schaal als een vloeistof.

Dit betekent niet dat al deze vloeistoffen zich allemaal *hetzelfde* gedragen. Schokgolven zullen zich bijvoorbeeld in een ballenbakballenvloeistof minder snel voortbewegen dan in een quarkvloeistof, en de stroperigheid van een vloeistof gemaakt van sacharosemoleculen zal hoger zijn dan die van water.



Afbeelding 2. Stroop. Door eigenschappen van de bouwstenen heeft stroop een hogere viscositeit ("stroperigheid") dan water. Afbeelding: [Tracy Hunter](#).

Vaak is het echter lastig om uit de eigenschappen van de bouwstenen de numerieke waarden van "macroscopische" eigenschappen zoals de hierboven genoemde te bepalen.

Waar kan de zwaartekracht helpen?

Verstoringen van een vloeistof hebben zelf ook een lengteschaal. Die verstoringen kun je meestal beschrijven als golven met een bepaalde golflengte. Verstoringen met een lange golflengte hebben een lage frequentie en bevatten dus weinig energie – ze corresponderen

dus met een kleine verstoring van een vloeistof. Naarmate je de golflengte van de verstoring korter maakt, wordt de verstoring van een vloeistof steeds groter en zal je als gevolg correctietermen moeten toevoegen aan de wetten van de vloeistofdynamica.

Zoals we beschreven in [het tweede deel van deze serie](#) is de eerste correctie van de ideale vloeistofwetten een term met als evenredigheidscoëfficiënt de *viscositeit*, of stroperigheid, van een vloeistof. Naarmate je naar kortere golflengtes gaat, zal je steeds meer correctietermen moeten toevoegen, waarvan je ook de evenredigheidscoëfficiënt moet bepalen voor een specifieke vloeistof.

Het zijn deze evenredigheidscoëfficiënten die meestal lastig te bepalen zijn voor vloeistoffen. In het geval van een vloeistof met sterke interacties tussen de bouwstenen – juist het geval waarin dit probleem dus extra moeilijk lijkt! – wordt er echter hulp geboden door een onverwachte ridder op het witte paard: de zwaartekracht.

Waarom kan de zwaartekracht helpen?

In het dossier over [snaren en holografie](#) beschreven we de zogenaamde *holografische* dualiteit, een resultaat dat met behulp van de snaartheorie is bereikt. Grofweg vertelt deze dualiteit ons dat quantumtheorieën met sterke interacties overeenkomen met bepaalde zwaartekrachtstheorieën die in de snaartheorie voorkomen. Deze theorieën zijn dus twee zijden van dezelfde munt: met dezelfde wiskunde, kun je twee heel verschillende natuurkundige systemen beschrijven.



Afbeelding 3. Zwarte gaten. Met de wetten van de zwaartekracht beschrijven we normaal gesproken het gedrag van sterren, planeten en zwarte gaten. Wat hebben die wetten te maken met het gedrag van vloeistoffen? Afbeelding: NASA.

Wanneer we nu verstoringen gaan bekijken met lange golflengtes, gedraagt zoals we hierboven zagen een quantumtheorie met sterke interacties zich als een vloeistof. Via de holografische dualiteit weten we dan dus, dat bepaalde *zwaartekrachtstheorieën* zich voor verstoringen met lange golflengtes ook moeten gedragen als een vloeistof!

Een interessante bijkomstigheid is dat, hoewel holografie een concept is uit de snaartheorie, voor lange golflengtes alle specifieke eigenschappen van de snaren uit de theorie verdwijnen, en alleen nog de zwaartekracht een rol speelt. Zolang je dus naar lange golflengtes kijkt, kun je zeggen dat zwaartekrachtwetten zélf eigenlijk hetzelfde zijn als de bewegingswetten van vloeistoffen. Dit principe heet de vloeistof-zwaartekrachtdualiteit.

Het is dankzij de vloeistof-zwaartekrachtdualiteit dat voor vloeistoffen met sterke interacties

evenredigheidscoëfficiënten berekend kunnen worden via de zwaartekrachtwetten. Een mooi voorbeeld behandelden we in een [eerder artikel over het quark-gluonplasma](#).

We zijn daarmee dus gestuit op een verrassende toepassing van de zwaartekrachtwetten op natuurkunde die zelf niets met zwaartekracht te maken heeft. Einstein zou het waarschijnlijk nooit verwacht hebben!