De bootstrap: fysica zonder tegenspraak

In een van de beroemde verhalen die de Baron von Münchhausen over zichzelf vertelde, wist hij uit een moeras te ontsnappen door zich met paard en al aan zijn eigen haar omhoog te trekken. Natuurkundig volkomen onmogelijk, natuurlijk, maar het achterliggende idee van "uit zichzelf oprijzen" komt op verrassende wijze in de moderne quantumveldentheorie terug.

Afbeelding 1. De bootstrap.Een paar laarzen, met bovenin een "bootstrap" of laarzentrekker waaraan de laars omhooggetrokken kan worden. Foto: Wikipedia-gebruiker Tarquin.

In het Engels staat dit idee bekend onder de naam *bootstrapping* – door Wikipedia gedefinieerd als "a self-starting process that is supposed to proceed without external input". Een bootstrap is wat in het Nederlands een "laarzentrekker" heet: de lus die je aan sommige laarzen vindt, en die gebruikt kan worden om de laars aan de voet omhoog te trekken.

“Bootstrapping” is daarmee dus zoiets als “jezelf met laarzen en al omhoog trekken”.

In de natuurkunde wordt deze term gebruikt wanneer bepaalde natuurkundige modellen opgebouwd worden door puur op wiskundige consistentie te letten. We kunnen bijvoorbeeld proberen een quantumveldentheorie op te stellen die een bepaald fenomeen beschrijft, en vervolgens bekijken aan welke eisen die quantumveldentheorie moet voldoen om niet met zichzelf in tegenspraak te zijn.

In de meeste gevallen zal zo’n bootstrapping-methode weinig toevoegen aan de kennis die we al hebben: vaak leidt die slechts tot een klein aantal conclusies die sowieso al redelijk voor de hand lagen. Dat verandert als het fenomeen dat we willen beschrijven een groot aantal symmetrieën heeft. Het feit dat alle deelprocessen die ons model beschrijft dan ook die symmetrieën moeten hebben, kan leiden tot een groot aantal voorwaarden op het model dat we proberen op te stellen.

Symmetrieën zijn er in de natuur in alle soorten en maten. Een eenvoudige symmetrie is bijvoorbeeld *tijdstranslatie*: veel processen die we in de natuur zien kunnen op een willekeurige ander moment net zo goed plaatsvinden. Dat de natuur deze symmetrie heeft, leidt, zoals in dit artikel is uitgelegd, bijvoorbeeld tot het feit dat in onze natuurkunde energie altijd behouden is.

Een veel uitgebreidere symmetrie is de zogeheten *conforme symmetrie*. Als deze symmetrie in een systeem aanwezig is, is dat systeem bijvoorbeeld onveranderlijk onder schaalveranderingen: als iets op kleine schaal kan plaatsvinden, kan het ook op willekeurige grotere schaal plaatsvinden, en kan die schaalgrootte zelfs van plaats tot plaats verschillen. Het moge duidelijk zijn dat de meeste processen die we om ons heen zien deze symmetrie *niet* hebben, maar er zijn gevallen waarin dat wel zo is. Wanneer een materiaal een fase-overgang ondergaat – denk aan water dat ijs wordt – heeft zo’n materiaal bij goede benadering een conforme symmetrie. Ook in de quantumveldentheorie komen conforme symmetrieën voor: die spelen bijvoorbeeld voor het al vaker besproken holografisch principe een belangrijke rol.

Afbeelding 2. Smeltend ijs.Als materialen een fase-overgang ondergaan (zoals hier smeltend ijs) speelt een conforme symmetrie vaak een belangrijke rol. Foto: jar[o].

Voor modellen met een conforme symmetrie blijkt het idee van bootstrapping extreem goed te werken, en kunnen we allerlei eigenschappen van het model puur op grond van interne consistentie vastleggen. Dat is al sins de jaren ’80 bekend voor systemen in twee dimensies – dus bijvoorbeeld het beschrijven van fase-overgangen die zich aan de oppervlakte van een materiaal voordoen – maar de bootstrap-methode leek altijd veel te ingewikkeld om die ook op hogerdimensionale systemen toe te passen.

Sinds enkele jaren slaagt men er in de theoretische natuurkunde echter steeds beter in om het “bootstrappen” ook voor modellen in meer dimensies toe te passen. De afgelopen jaren heeft deze methode een grote vlucht genomen, en al tot diverse verrassende resultaten geleid.

Natalie Wolchover schreef voor de website Quanta Magazine een uitgebreid artikel over de rol die de bootstrap-methode de afgelopen jaren speelt in de theoretische fysica. U vindt dat artikel (in het Engels) hier:

Physicists uncover geometric 'theory space'

We zetten een uitgebreidere uitleg over dit onderwerp ook op ons eigen programma, dus wilt u na het lezen van bovenstaand artikel nog veel meer weten over dit onderwerp, houdt u dan beslist de QU-site in de gaten!