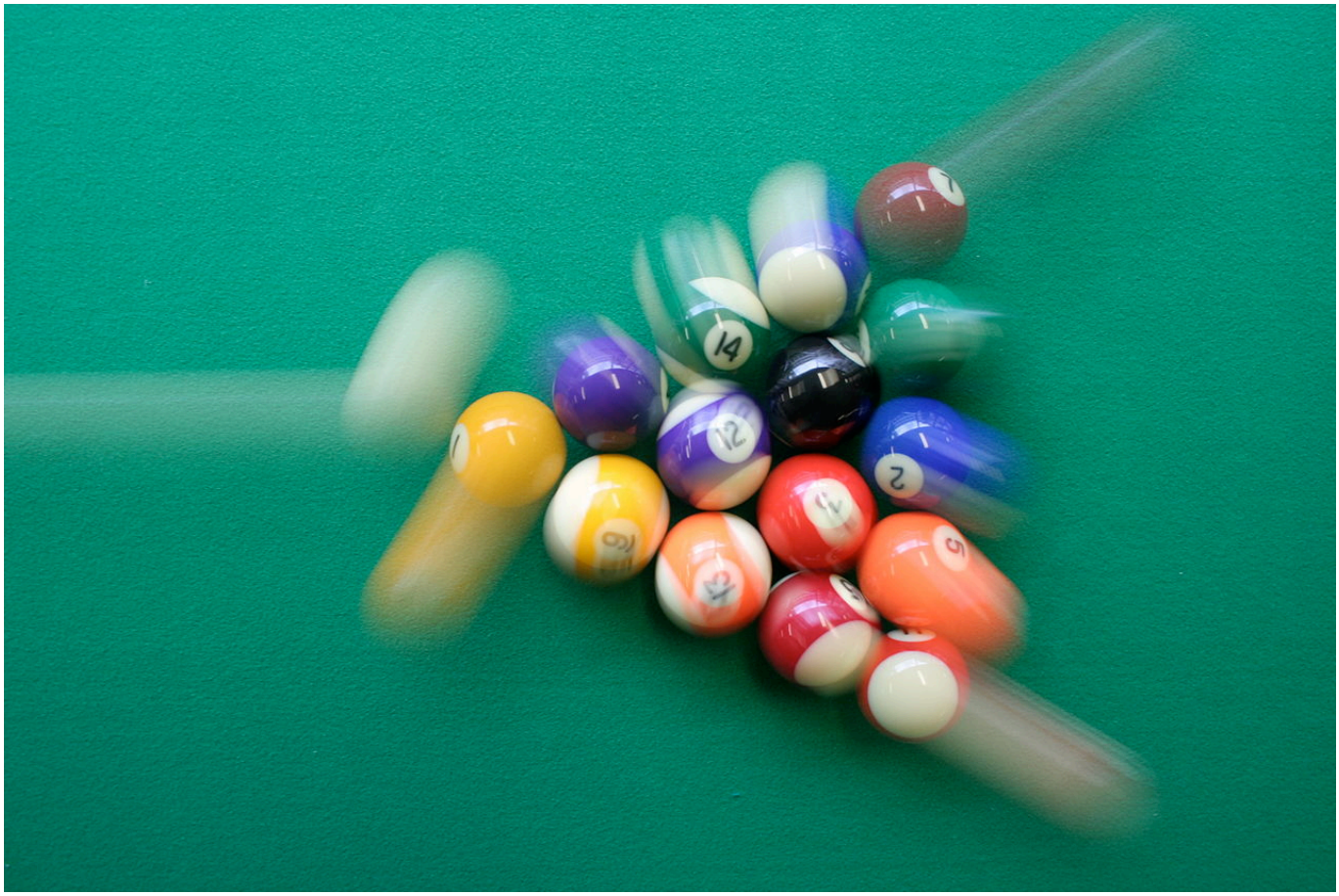
Impuls: houvast in een dynamische wereld

Bij sommige natuurundige begrippen kun je je gemakkelijk iets voorstellen. Als we het over ‘plaats’ of ‘snelheid’ hebben, weet iedereen wat er bedoeld wordt. Van andere begrippen is het niet direct duidelijk wat ze voorstellen. Wat is bijvoorbeeld ‘impuls’, en waarom is die grootheid in de natuurkunde zo belangrijk?



Afbeelding 1. Poolballen.Als een poolbal hard tegen een groep andere ballen wordt gestoten, zullen de andere ballen gemiddeld een veel lagere snelheid krijgen. Dit verschijnsel kan eenvoudig begrepen worden met behulp van het begrip impuls. Foto: N. Lecocq en H. Caps.

Het begrip *impuls* komt sinds enkele jaren niet meer voor in de eindexamenvoorwaarden voor VWO-natuurkunde. Een vreemde situatie, want impuls is een van de meest centrale

natuurkundige grootheden. In zekere zin is het zelfs een fundamenteler begrip dan het gerelateerde en meer alledaagse begrip *snelheid*.

Impuls en snelheid hebben veel met elkaar te maken. Als we van een voorwerp de massa en de snelheid weten, is de impuls eenvoudigweg het product van de twee: impuls is massa maal snelheid. In een nette formule:

p = m v

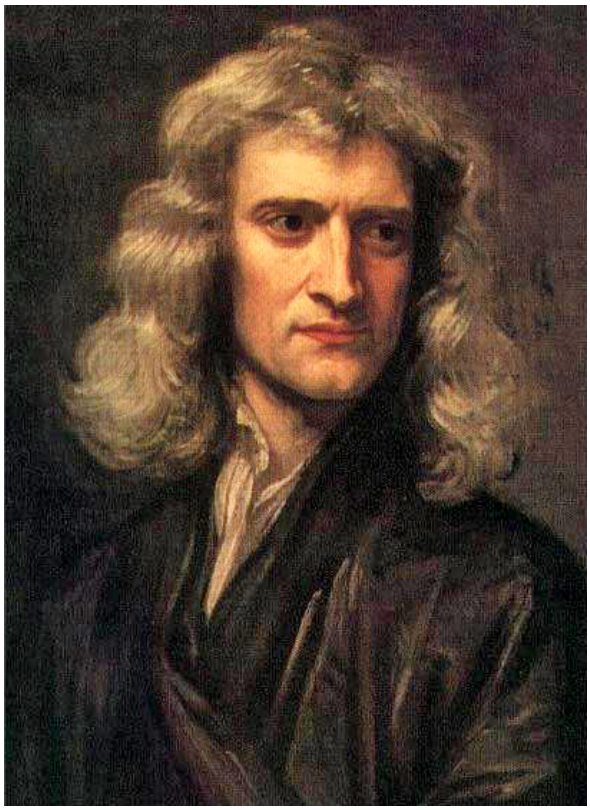
Ter herinnering: de *massa (m)* van een voorwerp is wat we in het dagelijks leven wel eens 'gewicht' noemen: de hoeveelheid materie, meestal gemeten in kilogrammen, waaruit het voorwerp is opgebouwd. De reden voor het gebruik van het woord 'massa' is dat 'gewicht' strikt genomen datgene is wat je met een weegschaal weegt – en in die zin is ons gewicht hier op aarde heel anders dan op de maan (waar de zwaartekracht veel kleiner is) of op Jupiter (waar de zwaartekracht veel groter is). Je zou massa dus ook kunnen definiëren als 'gewicht zoals gemeten op aarde'.

Terug naar het begrip impuls. Waarom is het nuttig om niet de snelheid van een voorwerp te vermelden, maar om die snelheid eerst te vermenigvuldigen met de massa? De reden daarvoor is dat, in tegenstelling tot snelheid, impuls een *behouden* grootheid is. Dat wil zeggen: de totale hoeveelheid impuls in het universum blijft altijd hetzelfde. Impuls kan wel van het ene op het andere voorwerp worden overgedragen, maar het kan nooit verloren gaan.

Dat een dergelijke behoudswet niet geldt voor het begrip snelheid, weten we uit het dagelijks leven. Als ik tegen een voetbal aan schop, zal die bal met een veel grotere snelheid wegvliegen dan de snelheid waarmee mijn been bewoog. Als een meteoriet met 10 km/s op het aandoppervlak neerstort, betekent dat (gelukkig!) niet dat de hele aarde daardoor met 10 km/s gaat bewegen. In beide gevallen komt dat door het grote massaverschil: de massa van mijn been is groter dan die van de voetbal; de massa van de aarde is veel groter dan die van de meteoriet.

Wat behouden is, is de impuls: massa *maal* snelheid. Als het bewegende deel van mijn been tien keer zo zwaar is als de bal, zal de bal grofweg tien keer de snelheid van mijn been krijgen. (Aangenomen dat mijn hele been met dezelfde snelheid beweegt, natuurlijk, wat

maar een benadering is.) Doordat de aarde een gigantisch aantal malen zwaarder is dan de meteoriet, zal de aarde een even gigantisch *kleine* fractie van de snelheid van de meteoriet overnemen.



Afbeelding 2. Isaac Newton.Het behoud van impuls kan worden afgeleid uit twee van de drie beroemde wetten van Newton. Schilderij van Sir Godfrey Kneller (1689).

Maar waarom is impuls eigenlijk behouden? Dat volgt eenvoudig uit twee van de natuurwetten die Isaac Newton opstelde, en die in eerdere artikelen op deze website besproken zijn. De eerste van de wetten die we nodig hebben – die om het makkelijk te houden dan weer bekend staat als de *tweede* wet van Newton – is dat een kracht een versnelling tot gevolg heeft die rechtevenredig is met de massa. In een formule:

F = m a

Nu is een versnelling niets anders dan een *verandering in de snelheid*. Vermenigvuldigen we de woorden ‘versnelling’ en ‘snelheid’ die laatste zin dus met de massa, dan betekent dat dat een kracht (massa maal versnelling) niets anders is dan een verandering in de impuls (massa maal snelheid).

Dat impuls behouden is, volgt nu uit de *derde* wet van Newton: die zegt dat de werking van een kracht, van voorwerp A op voorwerp B, altijd een precies even grote maar tegengestelde kracht van voorwerp B op voorwerp A uitoefent. Die kracht voelen we bijvoorbeeld in onze tenen als we hard tegen een voetbal schoppen. Deze wet wordt wel geformuleerd als

actie = - reactie

of, wiskundig iets netter, als

$$\mathbf{F_1 = - F_2}$$

Vullen we in deze wet de zojuist geleerde les in, dan zien we dat de verandering van de impuls (de kracht) in het ene voorwerp precies tegengesteld is aan de verandering van impuls (de kracht) in het andere voorwerp. Met andere woorden: wat het ene voorwerp aan impuls verliest, wint het andere erbij. De totale impuls is dus behouden!

Afbeelding 3. Emmy Noether.Een andere, meer wiskundige verklaring voor het behoud van impuls is gebaseerd op de symmetrie van de natuur onder translaties, en volgt uit het werk van Emmy Noether.

Er blijkt nog een heel andere, wiskundig ingewikkeldere manier te zijn om over impulsbehoud

na te denken. De natuur kent allerlei symmetrieën: operaties die we op natuurkundige systemen kunnen uitvoeren, en die ons nieuwe systemen geven die ook aan de natuurwetten voldoen. Een eenvoudig voorbeeld is verschuiving of *translatie*: als we een experiment een meter naar links of naar rechts verschuiven, zal het zich nog altijd volgens exact dezelfde natuurwetten gedragen.

De wiskundige Emmy Noether toonde aan dat voor elke continue symmetrie in de natuur, er ook een bijbehorende behouden grootheid moet bestaan. (Zie voor meer over dat onderwerp dit artikel.) Ook voor translatie geldt dat: het feit dat de natuurwetten niet veranderen als we een stukje opschuiven, betekent dat er een behouden natuurkundige grootheid moet zijn die iets met ‘verplaatsen’ te maken heeft. Volgen we de stappen in de wiskunde van Noether netjes, dan vinden we zo opnieuw dat impuls een behouden grootheid moet zijn.

Of we nu Newton of Noether gebruiken: de totale impuls in de natuur is onveranderlijk. Een goede natuurwet om te onthouden als je probeert om vlak voor die grote vrachtwagen langs nog even over te steken!