

## *Uit: The Feynman Lectures on Physics*

Er is een feit, of als je wilt, een wet, die alle natuurlijke fenomenen beheerst die we tot nu toe kennen. Er is geen enkele bekende uitzondering op deze wet — voor zover wij weten, klopt deze altijd. Deze wet heet de wet van behoud van energie. Ze stelt dat er een bepaalde hoeveelheid, die we energie noemen, altijd behouden blijft, zelfs wanneer de natuur veranderingen doormaakt. Dit is een zeer abstract idee, omdat het een wiskundig principe is; het betekent dat er een numerieke waarde is die niet verandert, wat er ook gebeurt. Het is geen beschrijving van een mechanisme of iets tastbaars; het is gewoon een vreemd feit dat we een getal kunnen berekenen, en dat na alle veranderingen in de natuur datzelfde getal weer uitkomt. (Het lijkt een beetje op een loper op een schaakbord die op een zwart veld staat, en die na een aantal zetten — details onbekend — nog steeds op een zwart veld staat. Zo'n wet is het.) Omdat het een abstract idee is, zullen we de betekenis ervan verduidelijken met een analogie.

Stel je een kind voor, misschien "Dennis de Bengel," dat blokken heeft die absoluut onbreekbaar zijn en niet in stukken kunnen worden verdeeld. Elk blok is precies hetzelfde als de andere. Laten we aannemen dat hij 28 blokken heeft. Zijn moeder zet hem aan het begin van de dag met zijn 28 blokken in een kamer. Aan het eind van de dag telt ze de blokken zorgvuldig en ontdekt iets bijzonders: wat hij ook met de blokken doet, er blijven altijd 28 blokken over! Dit gaat dagenlang goed, totdat er op een dag slechts 27 blokken zijn. Na wat zoeken blijkt er een blok onder het kleed te liggen — ze moet overal kijken om er zeker van te zijn dat het aantal blokken niet is veranderd. Op een andere dag zijn er maar 26 blokken. Nauwkeurig onderzoek wijst uit dat het raam open stond, en buiten vindt ze de andere twee blokken. Op een andere dag zijn er opeens 30 blokken! Dit zorgt voor enige verwarring, totdat blijkt dat Bruce op bezoek was en zijn blokken heeft meegebracht en er een paar heeft achtergelaten. Nadat ze de extra blokken heeft verwijderd, sluit ze het raam en laat Bruce niet meer binnen. Alles gaat weer goed, totdat ze een keer telt en slechts 25 blokken vindt. Maar er staat een doos in de kamer, een speelgoedkist, en moeder wil deze openen, maar de jongen zegt: "Nee, doe mijn speelgoedkist niet open" en begint te schreeuwen. Moeder mag de kist niet openen. Omdat ze nieuwsgierig is en best vindingrijk, bedenkt ze een plan! Ze weet dat een blok drie ons weegt, dus weegt ze de kist op een moment dat ze 28 blokken ziet, en de kist weegt dan 16 ons. De volgende keer dat ze wil controleren, weegt ze de kist opnieuw, trekt 16 ons af en deelt het gewicht door drie. Zo ontdekt ze het volgende:

Formule 1:  $(\text{aantal blokken zichtbaar}) + (\text{gewicht van de kist} - 16 \text{ ons}) / 3 \text{ ons} = \text{constant}$ .

Dan lijken er nieuwe afwijkingen te zijn, maar na goed onderzoek blijkt dat het water in het bad zijn niveau verandert. Het kind gooit blokken in het water, en ze kan ze niet zien omdat het water zo vuil is, maar ze kan er toch achter komen hoeveel blokken er in het

water liggen door nog een term aan haar formule toe te voegen. Omdat de oorspronkelijke waterhoogte 6 inch was en elk blok het water met een kwart inch verhoogt, wordt de nieuwe formule:

Formule 2: (aantal blokken zichtbaar) + (gewicht van de kist – 16 ons) / 3 ons + (waterhoogte – 6 inch) / 1/4 inch = constant.

Naarmate de wereld om haar heen complexer wordt, ontdekt ze steeds meer termen die berekend moeten worden om te achterhalen hoeveel blokken er op plekken zijn waar ze niet mag kijken. Uiteindelijk vindt ze een complexe formule, een waarde die altijd gelijk blijft in elke situatie.

Wat is de analogie met de wet van behoud van energie? Het meest opmerkelijke aspect dat je uit dit voorbeeld moet halen, is dat er eigenlijk geen blokken zijn. Laat de eerste termen van formule 1 en formule 2 weg, en je merkt dat we min of meer abstracte dingen berekenen. De analogie heeft de volgende punten: Ten eerste, wanneer we energie berekenen, kan het soms uit het systeem verdwijnen of juist binnenkomen. Om het behoud van energie te verifiëren, moeten we ervoor zorgen dat we niets hebben toegevoegd of weggehaald. Ten tweede heeft energie veel verschillende vormen, en voor elke vorm is er een formule. Voorbeelden hiervan zijn: zwaarte-energie, kinetische energie, warmte-energie, elastische energie, elektrische energie, chemische energie, stralingsenergie, kernenergie, massa-energie. Als we alle formules voor al deze energieën optellen, verandert de totale waarde niet, behalve wanneer er energie in of uit het systeem gaat.

Het is belangrijk te begrijpen dat we in de huidige natuurkunde eigenlijk niet weten wat energie precies is. We hebben geen beeld waarbij energie bestaat uit kleine pakketjes met een bepaalde hoeveelheid. Zo werkt het niet. Er zijn echter wel formules waarmee we een numerieke waarde kunnen berekenen, en wanneer we alles bij elkaar optellen, krijgen we altijd "28" — telkens hetzelfde getal. Het blijft een abstract begrip, omdat het ons niet vertelt hoe het mechanisme werkt of waarom de verschillende formules zijn zoals ze zijn.