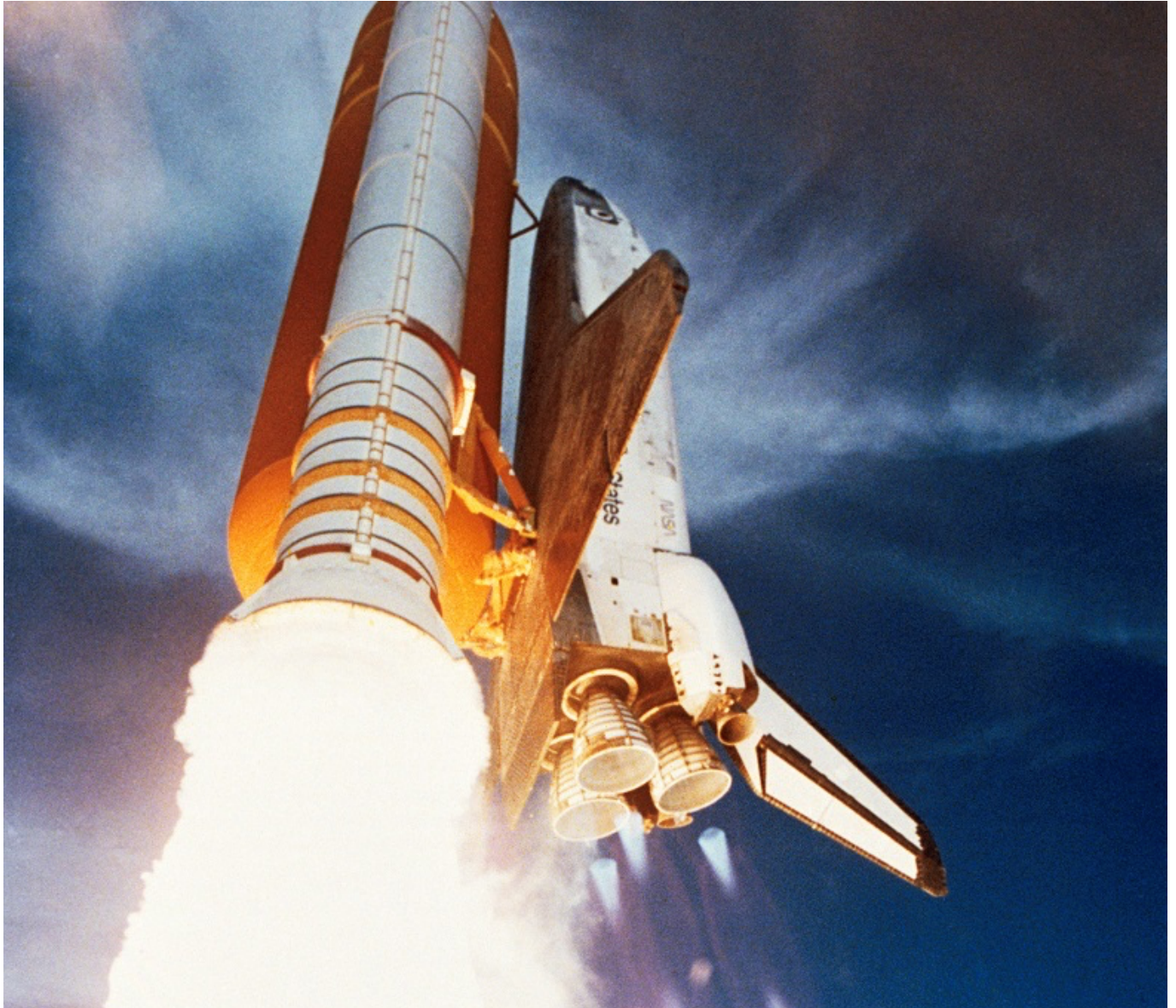


De wetten van Newton (II)

Dit is het tweede artikel in een serie over de bewegingswetten van Newton. Hier bespreken we de tweede wet, die we kortweg kunnen samenvatten met de beroemde formule $F = ma$. Wat betekent deze formule en hoe moeten we haar interpreteren?

[Vorige keer](#) bespraken we de eerste wet van Newton, die gaat over voorwerpen waar *geen* (resulterende) kracht op werkt. Een voorbeeld van de eerste wet is een ijshockeypuck die over glad ijs glijdt. De eerste wet vertelt ons dat zo'n puck in een rechte lijn met constante snelheid zal blijven bewegen. Een dergelijke beweging wordt ook wel *inertiaalbeweging* genoemd. De tweede wet van Newton, aan de andere kant, gaat over wat er gebeurt als iemand tegen een puck slaat. Oftewel: hij gaat over voorwerpen waar *wel* een (netto) kracht op werkt.

Wat is een kracht eigenlijk? Volgens Newton is een kracht een actie op een voorwerp die een afwijking van de inertiaalbeweging veroorzaakt. Met andere woorden: een kracht zorgt er óf voor dat de snelheid van een voorwerp zal veranderen, óf dat een voorwerp in een andere richting gaat bewegen. De tweede wet van Newton vertelt ons precies *hoe* de inertiaalbeweging van een voorwerp wordt aangepast door een netto kracht.



Afbeelding 1. Ruimteraket.

Een ruimteraket versnelt door gas uit te stoten aan de achterkant. Image credits: NASA.

De tweede wet van Newton

$$\textit{kracht} = \textit{massa} \times \textit{versnelling}$$

In formulevorm: $F = ma$. Wat betekent deze eenvoudige formule? Er staat dat een netto

kracht (F van *force*) een versnelling (a van *acceleration*) veroorzaakt, oftewel een verandering van de snelheid. Volgens de tweede wet is de kracht die nodig is om zo'n versnelling te veroorzaken gelijk aan die versnelling maal de massa (m) van het voorwerp. Massa is dus de evenredigheidsconstante tussen kracht en versnelling!

Laten we drie gevallen bekijken waarin de tweede wet geldt. Ten eerste kunnen we uit de formule halen dat bij een gegeven massa de versnelling groter wordt naarmate de kracht toeneemt. Als je bijvoorbeeld harder trapt op je fiets – en dus meer kracht uitoefent op de pedalen – dan versnel je heel even, omdat de massa van jou en de fiets gelijk blijft.

Verder zegt de tweede wet: hoe groter de massa, hoe groter de kracht moet zijn om dezelfde versnelling te veroorzaken. Dit merken we ook in het dagelijks leven: het kost meer kracht om een bowlingbal op te tillen dan een tennisbal. Een ander voorbeeld: een vrachtwagen rijdt minder zuinig (verbruikt meer brandstof per kilometer) dan een personenauto, simpelweg omdat hij zwaarder is.

In het derde geval houden we de kracht hetzelfde, maar veranderen we de massa, waardoor de versnelling ook verandert. Stel dat we bijvoorbeeld een ruimteraket lichter maken door ballast weg te gooien, terwijl we evenveel brandstof blijven gebruiken als daarvoor. Dan komt de raket eerder aan op de maan, omdat de versnelling groter wordt. Dit volgt allemaal uit de tweede wet van Newton!

De tweede wet gaat niet alleen over de *grootte* van de versnelling, maar ook over de *richting*. De richting van de versnelling is namelijk dezelfde als die van de netto kracht. Tennissers weten dit maar al te goed: de tennisbal beweegt in de richting waarin je hem slaat. Daarom moet je bij tennis de slag zogenoemd 'afmaken' (het racket doorzwaaien in de lijn van de slag): dit zorgt ervoor dat je de richting van de bal beter onder controle hebt.

Verder willen we een misverstand over de tweede wet uit de wereld helpen. Soms wordt de eerste wet van Newton opgevat als een speciaal geval van de tweede wet waarbij $F = 0$ (bedenk zelf waarom!). Dit is echter niet helemaal waar. Vorige keer zagen we namelijk dat

de eerste wet eigenlijk een claim is over het *bestaan* van inertiaalstelsels. Nu is de versnelling in de tweede wet gedefinieerd *ten opzichte van het inertiaalstelsel* dat door de eerste wet wordt beschreven. De tweede wet is dus juist logisch afhankelijk van de eerste wet en niet andersom. Sterker nog: Newtons tweede wet is alleen geldig in inertiaalstelsels. Neem bijvoorbeeld een vrije val. Een voorwerp dat met je meevalt versnelt niet ten opzichte van jou, maar er werkt wel een netto (zwaarte)kracht op. De tweede wet is hier niet van toepassing omdat een vrije val geen inertiaalstelsel definieert.

Video 1. Uitleg van Newtons tweede wet door de Europese Ruimtevaartorganisatie.

Massa als maat voor inertia

Hoe moeten we de tweede wet van Newton precies interpreteren? Soms wordt wel geopperd dat de tweede wet een definitie van “kracht” is. Dat is echter iets te kort door de bocht. Wat Newton eigenlijk bedoelde met F aan de linkerkant van de vergelijking, is dat er voor elke interactie tussen voorwerpen een uitdrukking bestaat voor de kracht tussen deze voorwerpen die op de plaats van F moet worden ingevuld. In het Engels is daar een mooi woord voor: F is een “place-holder”. Het klassieke voorbeeld van een kracht die voor F kan worden ingevuld is de zwaartekracht

$$F = GMm/r^2,$$

waarbij G de zwaartekrachtconstante van Newton is, M en m de twee massa's, en r de afstand tussen de massa's. Maar we zouden bijvoorbeeld ook de elektrische of de middelpuntzoekende kracht aan de linkerkant van de vergelijking kunnen invullen. Dergelijke krachten worden niet door de tweede wet van Newton gedefinieerd, maar juist door hun specifieke uitdrukking, zoals de vergelijking hierboven voor zwaartekracht. De tweede wet relateert deze uitdrukkingen aan de versnelling.

Als de tweede wet geen definitie van kracht is, en ook niet van versnelling – want versnelling is gedefinieerd als de verandering van snelheid – hoe moeten we $F = ma$ dan lezen? Newtons

tweede wet kan worden geïnterpreteerd als de *definitie van massa*. In de voorbeelden hierboven zagen we dat massa eigenlijk *een maat voor de traagheid* van een voorwerp is. Een bowlingbal beweegt trager dan een tennisbal als op beide voorwerpen dezelfde kracht wordt uitgeoefend. Hoeveel trager de bowlingbal beweegt, wordt precies bepaald door zijn massa. Traagheid, ook wel *inertie* genoemd, is dus de neiging van een voorwerp om zijn snelheid *niet* te veranderen, oftewel om in rust te blijven of met constante snelheid in een rechte lijn te blijven voortbewegen.

Het is interessant dat we massa hier onafhankelijk van zwaartekracht definiëren! Er komt namelijk geen zwaartekrachtsconstante van Newton, G , in de tweede wet van Newton voor. Hoewel we massa meestal meten aan de hand van zwaartekracht – een weegschaal meet bijvoorbeeld het “gewicht” – is het dus ook zinvol om over massa en inertie te spreken in een bijna lege ruimte. De massa is dan simpelweg de verhouding tussen de kracht die op het voorwerp werkt en zijn versnelling.

Concluderend kan de tweede wet van Newton worden opgevat als de definitie van massa: het is een maat voor de traagheid van een voorwerp. Maar begrijpen we ook echt waarom een voorwerp traagheid heeft? De tweede wet van Newton *beschrijft* traagheid alleen, maar *verklaart* haar niet. Het liefst zouden we dus een microscopische verklaring willen hebben van inertie. Dat zou ons begrip van wat massa is vergroten.