



De bewegings- wetten van Isaac Newton

Huub Scheenen

Inhoudsopgave

| | |
|---|---|
| De bewegingswetten van Newton | 2 |
| De eerste wet | 2 |
| De tweede wet | 3 |
| De derde wet | 3 |
| De eerste bewegingswet van Newton - traagheid | 4 |
| Traagheidsreferentiefraam | 4 |
| De eerste wet van Newton in actie | 5 |
| De tweede bewegingswet van Newton – kracht, massa & versnelling | 6 |
| Versnelling en snelheid | 6 |
| Newton's tweede wet in actie | 7 |
| De derde wet van Newton – gelijke en tegengestelde reacties | 8 |
| Terugduwen | 8 |
| Newton's derde wet in actie | 9 |

De bewegingswetten van Newton



De drie bewegingswetten van Sir Isaac Newton beschrijven de beweging van massieve objecten en hoe ze op elkaar inwerken. Hoewel de wetten van Newton ons vandaag de dag misschien voor de hand lijken te liggen, werden ze meer dan drie eeuwen geleden als revolutionair beschouwd.

Newton was een van de meest invloedrijke wetenschappers allertijden. Zijn ideeën werden de basis voor de moderne natuurkunde. Hij bouwde voort op ideeën die voortkwamen uit de werken van eerdere wetenschappers, waaronder Galileo en Aristoteles. Hij was in staat om enkele ideeën te bewijzen die in het verleden alleen maar theorieën waren. Hij studeerde optica, astronomie en wiskunde en hij is de uitvinder van de calculus (differentiaal/integraal rekenen). De Duitse wiskundige Gottfried Leibnitz wordt ook beschouwd als de grondlegger van de calculus want hij ontwikkelde die zelfstandig in ongeveer dezelfde tijd als Newton dit deed.

Newton is misschien wel het best bekend voor zijn werk bij het bestuderen van de zwaartekracht en de beweging van de planeten. Op aandringen van astronoom Edmund Halley, nadat hij had toegegeven dat hij zijn bewijs van elliptische banen een paar jaar eerder was kwijtgeraakt, publiceerde Newton zijn wetten in 1687 in zijn baanbrekende werk “Philosophiae Naturalis Principia Mathematica” waarin hij beschrijft hoe massieve objecten bewegen onder invloed van externe krachten.

Bij het formuleren van zijn drie wetten vereenvoudigde Newton zijn behandeling van massieve objecten door ze te beschouwen als wiskundige punten zonder grootte of rotatie. Hierdoor kon hij factoren als wrijving, luchtweerstand, temperatuur, materiaaleigenschappen etc. negeren en zich concentreren op verschijnselen die uitsluitend in termen van massa, lengte en tijd kunnen worden beschreven. Dat heeft als gevolg dat de drie wetten niet gebruikt kunnen worden om het gedrag van grote stijve of vervormbare objecten precies te beschrijven; in veel gevallen geven ze echter voldoende nauwkeurige benaderingen.

De wetten van Newton hebben betrekking op de beweging van massieve objecten in een traag referentiekader, ook wel een Newtoniaans referentiekader genoemd, alhoewel Newton zelf een dergelijk referentiekader nooit heeft beschreven. Een traagheidsreferentiekader kan worden beschreven als een driedimensionaal coördinatensysteem dat ofwel stationair ofwel in een lineaire beweging is, dat wil zeggen dat het niet versmelt of roteert. Hij ontdekte dat beweging binnen zo’n traagheidsreferentiekader kon worden beschreven door drie eenvoudige wetten.

De eerste wet

De eerste bewegingswet stelt: “En object zal in rust blijven en een object zal in beweging blijven tenzij er op wordt ingegrepen door een externe kracht.” Dit betekent simpelweg dat dingen niet alleen kunnen starten, stoppen of van richting veranderen. Er is enige kracht van buitenaf voor nodig om zo’n verandering te veroorzaken. Deze eigenschap van massieve objecten om veranderingen in hun bewegingstoestand te weerstaan wordt soms traagheid genoemd.

De tweede wet

De tweede bewegingswet beschrijft wat er met een massief object gebeurt wanneer er op wordt ingegrepen door een externe kracht. Ze zegt: “De kracht die op een object inwerkt, is gelijk aan de massa van dat object maal de versnelling ervan.” Dit wordt in wiskundige vorm geschreven als $\mathbf{F} = m \cdot \mathbf{a}$, waarbij F de kracht is, m de massa is en a de versnelling is. De vetgedrukte letters geven aan dat kracht en versnelling vectorgrootheden zijn, wat betekent dat ze zowel een grootte als een richting hebben. De kracht kan een enkele kracht zijn, of het kan de vectorsom zijn van meer dan één kracht, wat de nettokracht is nadat alle krachten zijn gecombineerd.

Wanneer een constante kracht op een massief object inwerkt, zorgt het ervoor dat het versnelt, dat wil zeggen dat het zijn snelheid verandert, met een constante snelheid. In het eenvoudigste geval zorgt een kracht die op een stilstaand object wordt uitgeoefend ervoor dat het versnelt in de richting van de kracht. Als het object echter al in beweging is, of als deze situatie wordt bekeken vanuit een bewegend referentiekader, kan het lijken alsof dat object versnelt, vertraagt of van richting verandert, afhankelijk van de richting van de kracht en de richtingen die het object en het referentiekader bewegen relatief ten opzichte van elkaar.

De derde wet

De derde bewegingswet stelt: “Voor iedere actie is er een gelijke en een tegengestelde reactie.” Deze wet beschrijft wat er met een object gebeurt als het een kracht op een ander object uitoefent. Krachten komen altijd in paren voor, dus wanneer het ene object tegen het andere object duwt, duwt het tweede object net zo hard terug. Als je bijvoorbeeld een kar duwt, duwt de kar tegen je terug. Als je aan een touw trekt dan trekt het touw tegen je in. Als de zwaartekracht je naar de grond trekt dan duwt de grond omhoog tegen je voeten en wanneer een raket zijn brandstof achter zich ontsteekt dan duwt het expanderende uitlaatgas de raket waardoor deze versnelt.

Als het ene object vele malen zwaarder is dan het andere, vooral in het geval dat het eerste object aan de Aarde is verankerd, wordt vrijwel alle versnelling aan het tweede object gegeven en kan de acceleratie van het eerste object veilig worden verwaarloosd. Als je bijvoorbeeld een honkbal naar het westen zou gooien, hoef je niet te bedenken dat je de rotatie van de Aarde zelfs maar een klein beetje hebt versneld terwijl de bal in de lucht was. Als je echter op rolschaatsen stond en je een bowlingbal naar boren zou gooien dan zou je met een merkbare snelheid achteruit gaan.

De drie wetten zijn tijdens talloze experimenten in de afgelopen eeuwen geverifieerd en ze worden tot op de dag van vandaag nog steeds op grote schaal gebruikt om de soorten objecten en snelheden te beschrijven die we in het dagelijks leven tegenkomen. Ze vormen de basis van wat nu bekend staat als de klassieke mechanica, namelijk de studie van enorme objecten die groter zijn dan de zeer kleine schalen die door de kwantummechanica worden aangesproken en die langzamer bewegen dan de zeer hoge snelheden die door de relativistische mechanica worden aangepakt.

De eerste bewegingswet van Newton - traagheid

De eerste bewegingswet van Isaac Newton beschrijft het gedrag van een massief object in rust of in een uniforme lineaire beweging (niet versnellend of draaiend). De eerste wet zegt: “Een object in rust zal in rust blijven en een object in beweging zal in beweging blijven tenzij er een externe kracht op wordt uitgeoefend.”

Dit betekent eenvoudigweg dat dingen niet vanzelf kunnen starten, stoppen of van richting kunnen veranderen. Het vereist dat er een kracht van buiten op wordt uitgeoefend om een dergelijke verandering te bewerkstelligen. Dit concept lijkt eenvoudig en voor ons tegenwoordig heel gewoon maar in de tijd van Newton was het revolutionair.

Newton publiceerde in 1687 zijn bewegingswetten. Hij deed dit in zijn baanbrekende werk “*Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*”. In dit boek formaliseerde hij de beschrijving van hoe massieve objecten bewegen onder invloed van externe krachten.

Newton bouwde verder op het eerdere werk van Galileo Galilei die de eerste nauwkeurige bewegingswetten voor massa's ontwikkelde. Galileo's experimenten toonden aan dat alle objecten met dezelfde snelheid versnellen, ongeacht hun grootte en massa. Newton breidde ook het werk van René Descartes verder uit. Descartes publiceerde twee jaar na de geboorte van Newton in 1644 een reeks natuurwetten. De wetten van Descartes lijken erg op de eerste bewegingswet van Newton.

Destijds geloofden de meeste mensen dat rust de natuurlijke toestand van een object zou zijn. Het was duidelijk dat het verlenen van beweging aan een object in rust een toepassing van buitenaf vereiste. Er werd echter ook aangenomen dat het een continue kracht van buitenaf vereist om een object in beweging te houden. Op basis van hun ervaring met alledaagse voorwerpen was dit niet helemaal een onredelijke conclusie. Immers, als je paard niet meer trekt dan stopt de wagen met rollen en als de wind niet meer waait dan stopt je boot met bewegen. Mensen gingen er daarom van uit dat deze objecten eenvoudigweg terugkeerden naar hun natuurlijke rusttoestand. Er was een opmerkelijke sprong van intuïtie voor nodig om te beseffen dat er een kracht van buitenaf moest zijn om de bewegingen van deze objecten te stoppen.

Neem het geval van een platte steen die over het gladde oppervlak van een bevroren meer glijdt. Als die steen een stuk gepolijst marmer was dan zou hij aanzienlijk verder glijden dan een ruwe straatsteen. Het is duidelijk dat de wrijvingskracht op de ruwe straatsteen groter is dan op het gepolijste marmer. Hoewel de wrijvingskracht tussen marmer en ijs minder is dan tussen ruwe steen en ijs, is deze nog steeds niet nul.

Wat zou er dan gebeuren als de wrijvingskracht naar nul zou gaan? De geniale gedachte van Newton was om te beseffen dat er zonder de aanwezigheid van een externe kracht, zoals wrijving die op een bewegend object inwerkt, geen reden was om te stoppen.

Traagheidsreferentiefraam

Deze eigenschap van massieve objecten om veranderingen in hun bewegingstoestand te weerstaan wordt traagheid genoemd en het leidt tot het concept van traagheidsreferentiefraam. Een traagheidsreferentiefraam kan worden beschreven als een driedimensionaal coördinatenstelsel dat niet versnelt of roteert; het kan echter in een uniforme lineaire beweging zijn ten opzichte van een ander traagheidsreferentiefraam. Newton heeft nooit expliciet deze traagheidsreferentiekaders beschreven maar ze zijn een natuurlijk gevolg van zijn eerste bewegingswet.

Als we zeggen dat een object in beweging is dan zou je kunnen vragen met wat? Kun je een honkbal in je blote hand vangen die 100 kilometer per uur gaat? Dat zou kunnen als je in een trein rijdt die 100 kilometer per uur gaat en iemand in die trein gooide je zachtjes de bal. De trein en de bal bestaan beiden in hun eigen traagheidsreferentiefraam en de snelheid van de bal hangt af van het traagheidsreferentiefraam van waaruit hij wordt bekeken. Als je op het perron staat en een passagier in de trein gooit de bal uit het raam naar je toe dan zou het niet verstandig zijn om die bal met je blote handen te vangen.

De eerste wet van Newton in actie

Raketten die door de ruimte reizen ervaren alle drie de bewegingswetten van Newton.

Voordat een raket zelfs maar wordt gelanceerd bevindt hij zich op het aardoppervlak. De raket zou voor onbepaalde tijd in rust blijven zonder dat er een externe kracht op inwerkt. De eerste wet van Newton is ook van toepassing als de raket door de ruimte glijdt zonder externe krachten, hij zal voor altijd met een constante snelheid en in een rechte lijn bewegen.

Nu we weten hoe een object zich gedraagt als er geen kracht van buiten op wordt uitgeoefend wat gebeurt er dan als een kracht van buitenaf, zoals de motoren van de raket die worden geactiveerd om de raket de ruimte in te lanceren? Die situatie wordt beschreven door de tweede bewegingswet van Newton.

De tweede bewegingswet van Newton – kracht, massa & versnelling

De eerste wet van Sir Isaac Newton zegt: “Een lichaam in rust zal in rust blijven en een lichaam in beweging zal in beweging blijven totdat er een externe kracht op wordt uitgeoefend.” Wat gebeurt er dan met een lichaam als er een externe kracht op wordt uitgeoefend? Dat wordt beschreven door de tweede bewegingswet van Newton.

“Kracht is gelijk aan de verandering in momentum per verandering in tijd. Voor een constante massa is kracht gelijk aan massa maal versnelling. In wiskundige vorm: $F = m \cdot a$.

F = kracht, m = massa en a is versnelling. De wiskundige hierachter is redelijk eenvoudig. Als je de kracht verdubbelt dan verdubbelt ook de versnelling maar als je de massa verdubbelt dan halveer je de versnelling.

Newton publiceerde in 1687 zijn bewegingswetten in zijn baanbrekende boek “Philosophiae Naturalis Principia Mathematica”. In dit boek formaliseerde hij de beschrijving van hoe massieve lichamen bewegen onder invloed van externe krachten.

Newton bouwde verder op het eerdere werk van Galileo Galilei die de eerste nauwkeurige bewegingswetten voor massa's ontwikkelde. Galileo's experimenten toonden aan dat alle lichamen met dezelfde snelheid versnellen, ongeacht hun grootte en massa. Newton breidde ook het werk van René Descartes verder uit. Descartes publiceerde twee jaar na de geboorte van Newton in 1644 een reeks natuurwetten. De wetten van Descartes lijken erg op de eerste bewegingswet van Newton.

Versnelling en snelheid

De tweede wet van Newton zegt dat wanneer een constante kracht op een massief object inwerkt, deze kracht ervoor zorgt dat het object versnelt. Dat wil zeggen dat het zijn snelheid, met een constante snelheid, verandert. In het eenvoudigste geval zorgt een kracht die op een stilstaand object wordt uitgeoefend ervoor dat het versnelt in de richting van de kracht. Als het object echter al in beweging is of als deze situatie wordt bekeken vanuit een bewegend traagheidsreferentiekader, dan kan het object lijken te versnellen, vertragen of van richting te veranderen, afhankelijk van de richting van de kracht en de richtingen die het object en het referentieframe ten opzichte van elkaar bewegen.

De vetgedrukte letters F en a in de vergelijking geven aan dat kracht en versnelling vectorgrootheden zijn. Dit betekent dat ze zowel grootte als richting hebben. De kracht kan een enkele kracht zijn of het kan een combinatie van meer dan één kracht zijn. In dat geval zouden we de vergelijking schrijven als $\Sigma F = m \cdot a$

De hoofdletter Σ (de Griekse letter sigma) representeert de vector som van alle krachten oftewel de netto kracht die op het object wordt uitgeoefend.

Het is nogal moeilijk voor te stellen dat je voor onbepaalde tijd een constante kracht op een object uitoefent. In de meeste gevallen kunnen krachten slechts gedurende een beperkte tijd worden uitgeoefend. Dit veroorzaakt een zogenoemde impuls. Voor een massief object dat beweegt in een traagheidsreferentieframe zonder enige andere krachten zoals wrijving die erop inwerkt, zal een bepaalde impuls een bepaalde verandering in zijn snelheid veroorzaken. Het object kan versnellen, vertragen of van richting veranderen waarna het object doorgaat met bewegen met een nieuwe constante snelheid (tenzij de impuls er natuurlijk voor zorgt dat het object stopt).

Er is echter één situatie waarin we een constante kracht tegenkomen, dit is de kracht als gevolg van de zwaartekrachtsversnelling, waardoor massieve objecten een neerwaartse kracht op de Aarde uitoefenen. In dit geval wordt de constante versnelling als gevolg van de zwaartekracht geschreven als g en wordt de tweede wet van Newton: $F = m * g$. Merk op dat in dit geval F en g niet conventioneel worden geschreven als vectoren omdat ze altijd in dezelfde richting naar beneden wijzen.

Het product van massa $*$ zwaartekrachtsversnelling, $m * g$, is bekend als gewicht en dat is gewoon een ander soort kracht. Zonder zwaartekracht heeft een massief object geen gewicht en zonder een massief object kan de zwaartekracht geen kracht produceren. Om de zwaartekracht te overwinnen en een enorm object op te tillen met je een opwaartse kracht $m * a$ produceren die groter is dan de neerwaarts zwaartekracht $m * g$.

Newton's tweede wet in actie

Raketten die door de ruimte reizen hebben te maken met alle drie de wetten van Newton.

Als raketten moeten afremmen, snelheid maken of van richting moeten veranderen dan is er een kracht nodig die de raket een duw geeft. Die kracht is afkomstig uit de motoren. De hoeveelheid kracht en de locatie waar de kracht wordt uitgeoefend kunnen snelheid (of de versnellingsgedeelte) en de richting veranderen.

Nu we weten hoe een massief object in een traagheidsreferentiefraam zich gedraagt wanneer het wordt onderworpen aan een kracht van buitenaf, zoals hoe motoren een raket duwen, wat gebeurt er dan met het object dat die kracht uitoefent? Die situatie wordt beschreven door de derde bewegingswet van Newton.

De derde wet van Newton – gelijke en tegengestelde reacties

De tweede bewegingswet van Newton beschrijft wat er gebeurt als een externe kracht op een massief object wordt uitgevoerd dat in rust is of in een uniforme lineaire beweging. Wat gebeurt er met het object waar vanaf die externe kracht wordt uitgeoefend? Die situatie wordt beschreven in de derde bewegingswet van Newton. Deze wet zegt: “voor iedere actie is er een gelijke en een tegengestelde reactie.”

Newton publiceerde in 1687 zijn baanbrekende boek “Philosophiae Naturalis Principia Mathematica”. In dit boek formaliseerde hij de beschrijving van hoe massieve objecten bewegen onder invloed van externe krachten.

Newton bouwde verder op het eerdere werk van Galileo Galilei die de eerste nauwkeurige bewegingswetten voor massa's ontwikkelde. Galileo's experimenten toonden aan dat alle lichamen met dezelfde snelheid versnellen, ongeacht hun grootte en massa. Newton breidde ook het werk van René Descartes verder uit. Descartes publiceerde twee jaar na de geboorte van Newton in 1644 een reeks natuurwetten. De wetten van Descartes lijken erg op de eerste bewegingswet van Newton.

Terugduwen

Krachten komen altijd in paren voor; wanneer het ene object tegen het andere object duwt dan duwt dat tweede object net zo hard terug. Als je tegen een kar duwt dan duwt de kar ook tegen jou aan en wanneer de zwaartekracht je naar de grond trekt dan duwt de grond je voeten omhoog tegen je voeten. De vereenvoudigde versie van dit fenomeen kan worden uitgedrukt als: “Je kun niet aanraken zonder aangeraakt te worden.”

Als object A een kracht F uitoefent op object B dan oefent object B een even sterke en tegengestelde kracht $-F$ uit op object A. Wiskundig kan dat als volgt worden opgeschreven: $F_{AB} = -F_{BA}$

Het subscript AB geeft aan dat A een kracht uitoefent op B en BA betekent dat B een kracht uitoefent op A. Het minteken betekent dat de krachten in tegengestelde richting zijn. Vaak worden F_{AB} en F_{BA} de actiekracht en de reactiekracht genoemd. Echter de keuze is volledig willekeurig.

Als het ene object vele malen zwaarder is dan het andere object. Bijvoorbeeld in het geval dat het eerste object aan de Aarde is verankerd, wordt vrijwel alle versnelling aan het tweede object verleend en kan de versnelling van het eerste object veilig worden genegeerd. Als je bijvoorbeeld je voeten stevig neerzet en een honkbal naar het westen gooit dan hoef je niet te bedenken dat je de rotatie van de Aarde eigenlijk iets hebt versneld terwijl de bal in de lucht was. Als je echter op rolschaatsen stond en je een bowlingbal naar voren gooide dan zou je wel met een merkbare snelheid achteruit gaan.

Je zou je kunnen afvragen: “Als twee krachten gelijk en tegengesteld aan elkaar zijn waarom heffen ze elkaar dan niet op?” Feitelijk doen ze dat in sommige gevallen ook. Beschouw een boek dat op een tafel ligt. Het gewicht van het boek drukt met een kracht van $m \cdot g$ op de tafel terwijl de tafel met een gelijke en tegengestelde kracht op het boek drukt. In dit geval heffen de krachten elkaar op omdat het boek niet versnelt. De reden hiervoor is dat beide krachten op hetzelfde object inwerken terwijl de derde wet van Newton twee verschillende objecten beschrijft die op elkaar inwerken.

Beschouw een paard en een kar. Het paard trekt aan de kar en de kar trekt terug aan het paard. De twee krachten zijn gelijk en tegengesteld dus waarom beweegt de kar überhaupt? De reden hiervoor

is dat het paard ook een kracht op de grond uitoefent en die kracht bevindt zich buiten het paard-en-karsysteem. De grond oefent een kracht uit op het paard-en-karsysteem en waardoor het versnelt.

Newton's derde wet in actie

Raketten die door de ruimte reizen hebben te maken met alle drie de wetten van Newton.

Als de motoren worden afgevuurd en de raket naar voren stuwen is dit het resultaat van een reactie. De motor verbrandt brandstof die naar de achterkant van de raket wordt versneld. Dit zorgt ervoor dat een kracht in tegenovergestelde richting de raket naar voren duwt. Stuw-raketten kunnen ook aan de zijkanten van de raket worden gebruikt om de richting te veranderen of aan de voorkant om een achterwaartse kracht uit te oefenen om de raket te vertragen.

En als tijdens het werken aan de buitenkant van de raket het touw van de astronaut breekt en wegdrijft van de raket kunnen ze bijvoorbeeld een van hun gereedschappen gebruiken om van richting te veranderen en terug te gaan naar hun raket. De astronaut kan zijn hamer gooien in de richting die precies tegenovergesteld is aan waar hij heen wil. De hamer zal heel snel wegvliegen weg van de raket en de astronaut zal heel langzaam terugreizen naar de raket. De derde wet van Newton wordt daarom als het fundamentele principe van de raketwetenschap beschouwd.