

## Newton's derde wet opnieuw bezien

C. Hellingman

Cito, Arnhem & RSG 't Slingerbos, Harderwijk

### Summary

*In this article the original formulation of Newton's third law is under attack for the second time. Too many physicists (and not just undergraduates) fail to understand its core. An explanation for this peculiar state of affairs is attempted and a reformulation is proposed.*

### 1. Inleiding

Het houdt maar niet op. Telkens opnieuw verschijnen artikelen waarin gerapporteerd wordt over het onbegrip dat leerlingen en/of studenten aan universiteiten vertonen ten aanzien van de toepassing van een fundamenteel beginsel dat in zulke eenvoudige termen geformuleerd is (Beth, 1932):

'Aan een actie is altijd een reactie tegengesteld en gelijk; of de werkingen van twee lichamen op elkaar zijn altijd even groot en hebben tegengestelde richting.'

Eigenlijk is de wet met de eerste tien woorden geformuleerd. De tweede helft van de zin is niet meer dan een uitleg van de wel zeer kort geformuleerde eerste helft. Moeilijke woorden komen er niet in voor. Een formule komt er niet aan te pas. En toch wil het maar niet lukken. Maloney (1984) schrijft

"For many years the author has wondered how students who do not know, believe or understand Newton's third law view the forces objects exert on each other."

Believe! De auteur heeft inmiddels zijn onderzoeken voortgezet (Boyle and Maloney, 1991). Het laatste rapport eindigt met de woorden

"As we said, if these results are generally applicable, we would expect that relatively few students would be able to do Newton's third law problems even if they had their physics textbooks open in front of them."

Onderzoeken bij leerlingen en studenten die dit soort ervaringen bevestigen zijn inmiddels legio. Enkele ervan heb ik in een voorgaand artikel geciteerd (Hellingman, 1987). Maar er is meer aan de hand.

De Amerikaan Iona (1983) schrijft

"It is surprising that college texts sometimes ignore or even deny the principle of action and reaction."

en geeft vervolgens twee citaten uit *leerboeken* waaruit het onbegrip van de auteurs blijkt. Dat het hier niet om een Amerikaans verschijnsel gaat blijkt uit citaten van de Engelsman Warren (1979):

"The idea of force is obviously very widely misunderstood, not only by students, but also by highly qualified, mature adults."

en de Duitser Nachtigall (1985):

"The analysis . . . shows that the majority of the students and even of the participating physics teachers had acquired no understanding of Newton's dynamics."

No understanding! Te hard geformuleerd natuurlijk, maar toch... In het vervolg zal ik enkele voorbeelden uit België en Nederland aanhalen. Bij elkaar voldoende materiaal om de bovenstaande, door Warren geformuleerde stelling met succes te kunnen verdedigen. Ik beperk me daarbij tot het gebied van de klassieke mechanica, en een enkel voorbeeld uit het electro-magnetisme.

## 2. De stand van zaken in ons taalgebied

Ik begin maar direct met wat ik als het meest frappante voorbeeld beschouw. In de tot voor kort zeer gerenommeerde leergang van Krans en Vrij (1967) treffen we de volgende passage:

"Terwijl men in een roeiboot staat, kan men haar niet voortbewegen door tegen de wand van de boot te duwen. Dit gelukt wel als men zich buiten de boot bevindt. In beide gevallen oefenen onze handen kracht uit op de voorwand en oefent deze voorwand een reactie op onze handen uit. Als men zich in de boot bevindt, plant de reactiekracht zich door ons lichaam heen naar de bodem voort. Daardoor oefenen onze voeten een kracht op de boot uit, die tegengesteld gericht is aan de kracht, die de handen op de voorwand uitoefenen. *Dan werken actie en reactie uiteindelijk op hetzelfde voorwerp: de boot. Omdat de boot niet in beweging komt, heffen actie en reactie elkaars werking blijktbaar op.*" (laatste cursivering van mij, C.H.)

Onjuist. Hier is sprake van twee actie - reactieparen: ten eerste die van de handen op de wand en vice versa, ten tweede die van de voeten op de bodem en vice versa. Bovendien hoeven de kracht van de handen op de wand en die van de voeten op de bodem helemaal niet gelijk te zijn, zoals men kan merken door in de beschreven stand met het lichaam heen en weer te bewegen. De boot komt dan wél in beweging, gaat namelijk een schommelende beweging uitvoeren. De fout dat actie- en reactiekracht, op eenzelfde voorwerp werkend, elkaar zouden kunnen opheffen wordt door meer auteurs gemaakt, zoals in het vervolg zal blijken. Men kan hier niet eens van een uitzondering spreken. Maar ik wil de aandacht vestigen op het belangrijke feit dat hij door geen enkele lezer, ongeacht diens kwalificatie, wordt opgemerkt. Het boek waarin de geciteerde passage voorkomt is de negende druk, uit 1967, van de betreffende leergang. In het 'Ten geleide' bij de zevende druk, uit 1961, danken de schrijvers allen

die zo welwillend waren om hun opmerkingen te zenden; zij noemen de namen van vijftien hoog gekwalificeerde personen, waaronder vijf professoren (o.a. Minnaert en Zernike). Kennelijk heeft geen van hen de auteurs op de fout gewezen. Hiermee zijn we er echter nog niet.

De geciteerde passage blijft bestaan en verschijnt ongewijzigd in de volgende leergang 'Kern van de natuurkunde' van Krans (1974). Maar nu is de paragraaf over actie en reactie uitgebreid met de volgende passage die een aantal regels eerder verschijnt:

"Als mijn hand tegen een bal duwt, oefent de bal een duwkracht op mijn hand uit (hetgeen pijn kan veroorzaken). *Deze twee krachten mag men niet samenstellen, want zij werken op verschillende voorwerpen.*" (cursivering van mij, C.H.)

Krans herhaalt deze waarschuwing op de volgende bladzijde waar hij nog eens stelt: actie en reactie werken op *verschillende* voorwerpen. Hij waarschuwt de lezer dus tweemaal voor de fout die hij zelf tussendoor maakt. In een artikel in het toenmalige 'Faraday' (Krans, 1975) verzucht hij:

"Helaas worden er nogal foutieve introducties voor het reactiebegriff gegeven."

Om de verwarring compleet te maken voert hij vervolgens bij een uitgerekte veer de term 'dwangkracht' in. Hierover zegt hij:

"Om uit te maken of een kracht tot de dwangkrachten dan wel tot de reactiekrachten behoort, moet men niet een evenwichtstoestand beschouwen, want dan zou men door de gelijke grootte worden misleid."

Herlees: ". . . of een kracht tot de dwangkrachten dan wel tot de reactiekrachten behoort, . . ." Met andere woorden: een dwangkracht is geen reactiekracht. In zijn leerboek merkt hij echter terecht over actie-reactieparen op:

"Welke van beide krachten men actie noemt en welke reactie is eigenlijk willekeurig."

Een kracht die geen reactie kan zijn, kan dus ook geen actie zijn; zodat de 'dwangkrachten' kennelijk buiten Newton's derde wet geplaatst zijn.

Ter afsluiting van dit voorbeeld en ter voorkoming van een misverstand: ik haal de geciteerde passages niet aan om de genoemde leergangen, die ik grote didactische kwaliteiten toeschrijf, te bekritisieren of iets dergelijks. Zoals al gezegd: er is geen lezer die de schrijver terugfluit. Het gaat mij erom aan te tonen dat onbegrip over de derde wet een wijdverbreid en algemeen verschijnsel is in de wereld van de fysica.

De fouten woekeren dus rustig voort. Hoewel het hier aangehaalde geval wel heel veelzeggend is haal ik nog enkele recentere voorbeelden uit binnenland en buitenland aan. In een leerboek *Mechanica* voor MAVO/LBO (Bernard, Blok, Dekker, 1987) treffen we de volgende opvatting aan van Newtons wetten:

"De eerste en de tweede wet van Newton kloppen wanneer de lichamen zich in de ruimte bevinden. Bevindt een lichaam zich op de aarde (of op een andere planeet) dan gaan de eerste en tweede wet van Newton niet op. We noemden als voorbeeld: een boek dat op een tafel ligt, is in rust. Er werken geen krachten op. In feite is dit niet juist, want het boek heeft een gewicht. Duser werkt wel een kracht op. Voor dit soort situaties formuleerde Newton de volgende wet.

*Derde Wet van Newton*

Werkt op een lichaam een constante kracht en krijgt het lichaam geen versnelling in de richting van de kracht, dan wordt op het lichaam nog een tweede kracht uitgeoefend die de eerste kracht opheft."

Commentaar overbodig. Tenslotte nog een voorbeeld uit een op dit moment zeer populaire leergang: Middellink (1979). In zijn Systematische Natuurkunde voor bovenbouw VWO/HAVO, deel A, behandelt de schrijver de derde wet op correcte wijze, inclusief de waarschuwingen die we al bij Krans vonden. Maar in deel C, bij de behandeling van de krachten van twee stroomvoerende geleiders op elkaar, gaat het toch weer mis:

"Hierbij doet het er niet toe welke stroomdraad 'de ene' is en welke 'de ander'. Want volgens het principe 'actiekracht = - reactiekracht' zijn de lorentzkrachten  $F_1$  en  $F_1^*$  niet alleen tegengesteld gericht, maar ook even groot als even lange draadstukken worden beschouwd ( $I^* = I$ )."

(cursivering van mij, C.H.)

Met andere woorden de geldigheid van de derde wet wordt afhankelijk gesteld van de te beschouwen lengten van draadstukken.

Op grond van mijn eerder genoemde artikel (Hellingman, 1987) werd ik door professor Herremans (Universiteit van Leuven, Kortrijk) uitgenodigd om mee te werken aan een nascholingsdag voor circa 130 Belgische leraren. Voor ik mijn voordracht begon hadden we iedere deelnemer een papier met de volgende vraag ter beantwoording gegeven:

"De derde wet van Newton spreekt over actie en reactie.

Een fles wijn staat op de tafel. Noem de zwaartekracht die op deze fles werkt een actie(kracht).

Welke is dan de bijbehorende reactie(kracht)?"

De vraag is, met wijziging, ontleend aan een onderzoek van Terry en Jones (1986) bij vierde-klasleerlingen in Engeland. We telden 93 onjuiste antwoorden. Het meest voorkomende antwoord was: 'de normaalkracht die de tafel op de fles uitoefent'. De al eerder gesignaleerde fout dus. Ik weet zeker dat ik een jaar of tien geleden hetzelfde antwoord gegeven zou hebben. Ik nodig de lezer hierbij uit om dezelfde vraag te stellen aan willekeurig welke fysicus, te beginnen bij zichzelf. Hij zal tot dezelfde ervaring komen.

### 3. Nog een buitenlands voorbeeld

Bij deze stand van zaken zal het duidelijk zijn dat niet alleen het onderwijs geteisterd wordt door onbegrip over de derde wet. Een saillant en recent voorbeeld is ook te vinden in een bekend en veelgelezen blad als het Engelse 'Electronics & Wireless World'. In een opmerkelijk artikel over een speciaal soort van gyroscoop schrijft de auteur Aspden (1989):

"Thanks to the development of a force-precessed offset gyroscope machine it is now established that Newton's law of action and reaction balance stands disproved."

De tweede alinea van het artikel, dat ten doel heeft om deze schokkende conclusie uit te leggen, begint als volgt:

"Traditionally we have come to accept that action must be balanced by an equal and opposite reaction. It is true that material bodies are caused to move by out-of-balance forces, but they then accelerate and there really is a balance force represented by inertial reaction."

De eerste zin toont dat de schrijver de derde wet niet begrijpt. Hij meent, zoals we al eerder hebben zien gebeuren, dat actie en reactie 'in balans' moeten zijn, met andere woorden elkaar opheffen. Dit misverstand dwingt hem ertoe om, in de tweede zin, inertiaalkrachten als reëel op te voeren, terwijl ze in leerboeken die ze opvoeren (met alle didactische ongelukken van dien) als schijnkrachten beschreven worden. Hierna presenteert de auteur de gyroscoop:

"What now has emerged on the technological scene is a machine that can produce that out-of-balance force without accelerating. This means that it can, wholly or partially, offset the force of gravitation and so defy the acceleration effects of gravitation."

Het artikel besteedt geen enkele aandacht aan de merkwaardige consequentie die verbonden is aan de vermeende ongeldigheid van de derde wet: de onvermijdelijke ongeldigheid van de wet van behoud van impuls. Volgens het standpunt van de auteur zou het zwaartepunt van het systeem gevormd door aarde en gyroscoop moeten gaan versnellen, zonder dat er enige uitwendige kracht op werkt. Zo'n wapenfeit is tot op heden slechts aan Baron von Münchhausen toegeschreven. In plaats van aandacht hieraan te besteden komt de auteur met een ingewikkelde theoretische uitleg over het vermelde fenomeen. Voor de lezers die de uitleg niet begrijpen (ik ben er één van) vermeldt hij, zonder enig kwantitatief gegeven, dat

"the fact that the machine develops a sustained lift force in defiance of Newton's third law is indisputable, owing to the placement of the demonstration machine on a balance with a knife edge support and the use of counter-weights."

Geheel los van het feit of we in de Baron von Münchhausen magie geloven of niet: de vermelde meting, juist of onjuist, bewijst *niets* over de beweerde ongeldigheid van de derde wet. Immers, als Aspden gelooft dat de zwaartekracht op de gyroscoop en de bijbehorende reactiekracht verschillende, elkaar niet opheffende krachten zijn, moet hij ook geloven dat zijn balans met meslager slechts één van deze krachten meet, en wel de zwaartekracht op de gyroscoop. Hoe kan hij dan weten dat de reactiekracht, dat is de kracht die de gyroscoop op de aarde uitoefent, daarvan verschilt? Nee, als de beschreven magie ooit experimenteel bevestigd wordt, is vermindering van de gravitatie-interactie het enige dat bewezen is. De geldigheid van de derde wet blijft daarmee overeind. Men kan zich afvragen hoeveel fysici/technici bezig zijn de geldigheid van de derde wet te onderzoeken, gebaseerd op onbegrip ervan. Het onderzoek is even (on)zinnig als wanneer in de scheikunde de onderzoeksvraag gesteld zou worden of een deeltje B gebonden is aan deeltje A, uitgaande van het gegeven dat deeltje A gebonden is aan deeltje B.

Tenslotte, ook wanneer leerboeken niet in de hiervoor vermelde fouten vervallen, worden misverstanden in de hand gewerkt door het spreken over de 'krachten die twee deeltjes op elkaar uitoefenen', of 'de kracht van A op B en de kracht van B op A'. Deze formulering houdt een sterke suggestie in over twee krachten, los van elkaar, elk behorend bij één van de deeltjes. Dit is, historisch gezien, het oudste misverstand over het krachtbegrip.

#### 4. Het historisch perspectief

In een ander recent artikel vergelijken Steinberg, Brown en Clement (1990) de bevindingen van hedendaags didactisch onderzoek met Newtons eigen opvattingen aangaande het krachtbegrip. Zij bespreken daarin

"the extent to which Newton's thinking was hampered by similar inappropriate conceptions, and the extent to which he had to struggle to free himself from them. . . . Bringing the details to light may yield insights that can benefit the design of instruction."

Zij sluiten daarmee aan bij de opvatting dat het de didactiek is die de oplossing moet brengen, omdat slechts leerlingen en studenten met misverstanden zitten.

"What Newton called 'the force of a body' is the intuition that a moving body is a reservoir of force."

Zoals vermeld in mijn vorige artikel vinden we dit inderdaad terug; het is voor Newton de 'ingepante' of 'inherente' kracht van een lichaam dat snelheid heeft. Maar Newton hanteerde nog een tweede krachtbegrip: de 'opgelegde' (Engels: 'impressed') kracht. Dit was de werkende kracht bij lichamen die botsen of op afstand een kracht op elkaar uitoefenen. In dit verband doet zich het opvallende feit voor dat Newton het woord kracht niet gebruikt in de formulering van zijn

derde wet (zie het begin van dit artikel). Waarom beschrijft hij de kern-eigenschap van het krachtbegrip zonder het woord kracht te gebruiken? Het meest waarschijnlijke antwoord op deze vraag is: omdat het woord voor hem meer dan één connotatie had. Om dubbelzinnigheid te vermijden verreed hij de term, en gebruikte in plaats daarvan de kortste omschrijving voor de 'opgelegde kracht': het woord actie. Hij beschrijft deze soort kracht als volgt:

"This force consists truly in the action only, nor does it remain in the body after the action."<sup>1</sup>

(Citaat afkomstig uit het artikel van Steinberg e.a.) Hieruit en uit de voorbeelden die Newton geeft ter illustratie van zijn derde wet wordt duidelijk dat hij uitsluitend, of in elk geval voornamelijk, dynamische situaties voor ogen had bij het gebruik van de termen actie en reactie. Hij noemt zijn wetten dan ook "Laws of Motion". Zonder twijfel heeft hij de 'ingeplante' kracht willen vermijden.

Voor de kwestie waar het in dit artikel om gaat is het echter slechts van belang te constateren dat Newton zich niet geheel van de notie heeft kunnen bevrijden dat een kracht, in welke betekenis hij zich die ook voorstelde, altijd bij een bepaald lichaam hoort. Dit betekent: kracht als een eigenschap van een lichaam; precies zoals wij dat terugvinden in de uitdrukking 'de kracht van A' (op B). Hoe verliep de historische ontwikkeling verder?

Zoals we allen weten vormen Newton's vier wetten, samen met het wiskundig rekenapparaat dat hij schiep, de fundamenten van het reusachtige bouwwerk der mechanica dat zich tijdens zijn leven en daarna ontwikkelde. Het formele mathematische systeem maakte door berekeningen voorspellingen met een tot dan toe ongekende graad van nauwkeurigheid mogelijk. Talloze problemen in dynamica en statica konden feilloos opgelost worden door toepassing van de eerste en tweede wet, enkele additionele begrippen, zoals het begrip zwaartepunt, en vectormeetkunde. In de hemelmechanica bleek de vierde wet een onontbeerlijk en machtig basisinstrument. Wat was de rol van de derde wet in heel deze gigantische ontwikkeling?

Ieder die de mechanica bestudeert weet dat de wet als zodanig slechts zeer zelden een rol krijgt toebedeeld. Er zijn maar weinig vraagstukken die om een directe toepassing ervan vragen; en waar dat wel het geval is, bijvoorbeeld in studieboeken, zijn de vragen meestal speciaal voor dat doel geconstrueerd. Hierop is één belangrijke uitzondering: de afleiding van de wet van behoud van impuls, het instrument bij uitstek bij de oplossing van alle botsingsproblemen. In deze zeer belangrijke en veel gebruikte wet is vrijwel het gehele belang van de derde wet vervat; voor het overige blijft de derde wet vrijwel buiten het gezichtsveld.

Een andere ontwikkeling was dat de wet in feite een statusverandering onderging. In de loop van de ontwikkeling van het systeem der mechanica werden de termen actie en reactie steeds meer beschouwd als synoniemen voor 'kracht'

in het algemeen, hetgeen aanleiding gaf tot de bekende stelling dat krachten altijd in paren optreden. Maar de consequenties van dit standpunt zijn waarschijnlijk nooit volledig uitgewerkt. In elk geval zijn ze niet tot een onderdeel van de onderwijsprogramma's gemaakt, waarschijnlijk als gevolg van het weinige gebruik dat van de derde wet gemaakt wordt. De consequenties zijn tweeledig: (1) de wet functioneert als een *definitie of beschrijving* van het krachtbegrip. Het is de uitdrukking van de meest centrale eigenschap van een kracht: de noodzaak van het bestaan van een tegenhanger of, anders gezegd, de onmogelijkheid van het geïsoleerd optreden van een kracht. En als gevolg hiervan (2): er is geen plaats voor een begrip als 'inertiaalkracht'. Traagheid heeft immers geen tegenhanger.

Ik denk dat een doordenking van deze consequenties veel eerder geleid zou hebben tot de gedachte dat de originele formulering van de derde wet inadequaaf is. Voor dit standpunt zie ik drie gronden.

1. De termen actie en reactie zijn zeer misleidend; ze roepen vrijwel onuitroeibare misverstanden op. Voor een toelichting op deze stelling verwijs ik naar mijn eerste artikel (Hellingman, 1987).
2. Als we toch aan deze termen willen vasthouden moet duidelijk worden gemaakt dat actie en reactie samenhangen op de wijze waarop twee uiteinden van een koord of een stuk elastiek samenhangen. De formulering van de wet (zie het begin van dit artikel) wijst ons daar echter niet op. De eerste woorden zeggen slechts dat er bij iedere actie een reactie moet zijn (tegengesteld gericht en gelijk in grootte), maar geven geen enkel uitsluitel over de samenhang van de twee. De tweede helft spreekt over 'werkingen' (meervoud dus) van twee lichamen op elkaar (in plaats van een enkelvoudige wisselwerking tussen twee lichamen). De enige nieuwe informatie is hier in feite dat er twee lichamen bij betrokken zijn; nog steeds wordt de *samenhang* van de werkingen in het duister gelaten.

Geen wonder dus dat voor leerlingen, studenten én fysici iedere kracht tegengesteld aan en even groot als een gegeven kracht de rol van reactiekracht kan spelen, terwijl voor een aantal onderzoekers zelfs het bestaan van een reactiekracht op losse schroeven blijkt te staan en aangetoond moet worden. Didactisch is het overigens heel verhelderend om aantrekkende krachten te zien als uitgeoefend door een uitgerekte elastiek. Het is immers onmogelijk om je voor te stellen dat het ene eind, vastgemaakt aan een lichaam, een kracht zou uitoefenen terwijl het andere eind nergens aan vast zou zitten, of geen even grote en tegengesteld gerichte kracht zou uitoefenen.

3. Voor de derde grond wend ik mij tot . . . . Newton. Aan het eind van het derde boek van zijn Principia treffen wij de volgende passage aan, waarin Newton uitlegt waarom krachten die hemellichamen op elkaar uitoefenen evenredig zijn met de massa van het ene én die van het andere lichaam.



### In de vertaling van Cajori (1966):

'For all action is mutual, and makes the bodies approach one to the other, and therefore must be the same in both bodies. It is true that we may consider one body as attracting, another as attracted; but this distinction is more mathematical than natural. (. . .) It is not one action by which the sun attracts Jupiter, and another by which Jupiter attracts the sun; but it is one action by which the sun and Jupiter mutually endeavor to come nearer together (by the third Law of Motion); and by the action with which Jupiter attracts the sun. Likewise Jupiter and the sun endeavor to come nearer together. But the sun is not attracted towards Jupiter by a twofold action, nor Jupiter by a twofold action towards the sun; but it is one single intermediate action, by which both approach nearer together.'

*One single intermediate action!* We horen hierin eigenlijk al het woord *interaction*, dat we tegenwoordig veel in teksten tegenkomen wanneer het over krachten gaat.

De interpretatie van een kracht als één zijde van een interactie of wisselwerking, in plaats van als een min of meer los staande actie, houdt een belangrijke verschuiving in van het gezichtspunt van waaruit men tegen het krachtbegrip aankijkt. De aandacht wordt verschoven van het lichaam waarop een kracht werkt naar 'ergens tussen' twee lichamen waartussen een wisselwerking plaats vindt. Het idee van kracht als eigenschap van een lichaam is daarmee van de baan.

Zolang we de uitdrukking "de kracht van A op B" handhaven zullen er grote aantallen studenten blijven die daarbij, bewust of onbewust, denken aan "de kracht van A", die nu weliswaar op B wordt uitgeoefend, maar in een andere setting even goed op een ander lichaam C uitgeoefend zou kunnen worden. Het woordje "van" wordt onbewust geïnterpreteerd als bezittelijk voornaamwoord. Het helpt ook niet om het woordje 'van' te vermijden door te spreken over 'de kracht die A op B uitoefent'. Het gaat dan nog altijd over de kracht die A nu op B uitoefent, maar straks op C zal kunnen uitoefenen. Het is nog steeds 'de kracht van A'. En de suggestie dat A veel kracht heeft als A groot en sterk is zal met name bij jongere leerlingen didactisch niet uitroeibaar zijn. Aan de misconcepties van het krachtbegrip ligt het ontbreken van inzicht in het *intermediaire karakter* van een kracht ten grondslag. De originele formulering van de derde wet kan daar niets aan veranderen.

### 5. Conclusie

In plaats van aandacht te besteden aan de misconcepties bij studenten en leerlingen en daarvoor didactische oplossingen aan te dragen zouden we eens naar de misconcepties bij professionele fysici moeten kijken, onszelf niet uitgesloten. Wanneer zijn fysici zelf van de misconcepties verlost? Mijns inziens niet eerder dan wanneer we de hierboven beschreven verschuiving van gezichtspunt conse-

quent en systematisch hebben ingevoerd. Dit lijkt mij onmogelijk zolang we de derde wet in de oorspronkelijke formulering handhaven. Vandaar mijn voorstel voor een nieuwe formulering:

Een kracht is één zijde van een wisselwerking tussen twee lichamen. De wisselwerking is op ieder lichaam even groot maar tegengesteld gericht.

(Dit is vrijwel hetzelfde voorstel als in mijn eerste artikel, alleen ontbraken daar de woorden 'één zijde van'. Dit hield een ernstige handicap in omdat daarvoor de gebruikelijke betekenis van het krachtbegrip niet gedekt werd, in casu het éézijdige vectorkarakter.) De betekenis van het krachtconcept wordt door mijn voorstel niet echt gewijzigd. Het voorstel houdt in dat een ander gezichtspunt gekozen wordt. De voorbeelden in Newton's eigen toelichting op de wet kunnen gewoon gehandhaafd blijven, evenals de voorbeelden die vele leerboeken geven. Newton's eigen voorbeelden zijn trouwens zo eenvoudig en aanschouwelijk dat men zich afvraagt waarom leerboeken die niet overnemen (Ziggelaar, 1971):

"Al wat iets anders trekt of drukt, wordt evenveel getrokken of gedrukt door dat andere. Als men een steen duwt met zijn vinger, wordt de vinger ook gedruwd door de steen. Als een paard een steen trekt, vastgebonden aan een touw, zal het paard even sterk teruggetrokken worden naar de steen: want het touw, dat naar beide kanten gespannen is, streeft ernaar weer slap te worden en trekt daardoor het paard even sterk naar de steen als de steen naar het paard, en het zal het ene even sterk achteruit trekken als het andere vooruit. (etc.)"

Hoewel vanuit een logisch en objectief standpunt beschouwd het krachtbegrip door mijn voorstel niet gewijzigd wordt, kan het voorstel gemakkelijk weerstanden oproepen, omdat een oude vertrouwde formulering onder vuur wordt genomen. Dit is het soort schok dat door Redeker (1984) als volgt beschreven wordt:

"On the other hand, it happens that from the point of view of physics a radical new interpretation takes place to such a degree that what is conceptualized in a concept from physics is never to be found in experience, and further the sense of such a concept always contradicts what the experience of daily life teaches."

Ongetwijfeld overdrijft Redeker de zaak. Maar de worsteling om het zo alledaagse begrip kracht in een doorzichtige fysische omschrijving te vatten is er een voorbeeld van dat zijn woorden ook veel waars bevatten.

#### Noten:

1. Merk op dat Newton het woord actie in twee verschillende betekenissen gebruikt: (1) in de betekenis van kracht en (2) om iets dat gebeurt te beschrijven.
2. Ik spreek hierbij mijn dank uit aan Prof.dr. Willy Herreman (Kortrijk) en Prof.dr. Dick Bedaux (Leiden) voor hun hulp en bemoedigend commentaar, en aan Jan Hondebrink (SLO) en Siem Markering (Hogeschool Interstudie) voor het toezenden van materiaal dat in dit artikel verwerkt is.

## 7. Literatuur

- Aspden, H. (1989). Anti-gravity electronics, *Electronics & Wireless World*, 95, nr. 1635, 29-31.
- Bernard, T.H.H.F., W.H.A. Blok & R. Dekker (1987). *Mechanica, Delta serie, dl 3*, Zutphen: Ten Brink, Thieme.
- Beth, H.J.E. (1932). *Newtons Principia*, Groningen: Noordhoff.
- Boyle, R.K. & D.P. Maloney (1991). Effect of written text on usage of Newton's third law, *Journal of Research in Science Teaching*, 28, 2, 138.
- Cajori, F. (1966). *Sir Isaac Newton's Mathematical Principles*, (pp. 568/9), Berkeley: University of California Press.
- Hellingman, C. (1987). Zijn krachten tweelingen?, *Tijdschrift voor Didactiek der  $\beta$ -wetenschappen*, 5, 173-182.
- Iona, M. (1983). One cannot ignore reaction, *The Physics teacher*, 21, 9.
- Krans, R.L. (1974). *Kern van de natuurkunde, deel 1*, Groningen: Wolters-Noordhoff.
- Krans, R.L. (1975). Overstappen in de natuurkunde II, *Faraday*, 44, 189-190.
- Krans, R.L. & M.P. Vrij (1967). *Leerboek der natuurkunde, deel 1*, Groningen: J.B. Wolters.
- Maloney, D.P. (1984). Rule-governed approaches to physics - Newton's third law, *Physics Education*, 19, 37.
- Middelink, J.W. (1979). *Systematische Natuurkunde, deel C*, Apeldoorn: Van Walraven.
- Nachtigall, D. (1985). Misconceptions in physics and a strategy to overcome them. In P.L.Lijnse (Ed.), *The many faces of teaching and learning mechanics*, (pp.296-302), Utrecht: W.C.C.
- Redeker, B. (1985). The difference between the lifeworld of children and the world of physics; a basic problem for teaching and learning mechanics, In P.L.Lijnse (Ed.), *The many faces of teaching and learning mechanics*, (pp.77-95), Utrecht: W.C.C.
- Steinberg, M.S., D.E. Brown & J. Clement (1990). Genius is not immune to persistent misconceptions, *International Journal of Science Education*, 12, 3, 265-273.
- Terry, C. & G. Jones (1986). Newton's third law and conceptual change, *European Journal of Science Education*, 8, 291-298.
- Warren, J.W. (1979). *Understanding force*, London: John Murray.
- Ziggelaar, A. (1971). *Bronnen der natuurkunde*, Groningen: Wolters-Noordhoff.