



SUPER- HELDEN IN DE KLAS

Een gebrek aan voorbeelden die tot de verbeelding van scholieren en studenten spreken, kunnen het leren van natuurkundige concepten belemmeren. Superhelden zijn populair bij deze groep en kunnen daarom ingezet worden om natuurkundige concepten op een leuke en interessante manier over te brengen en zelfs gebruikt worden om actueel wetenschappelijk onderzoek te promoten.

Het superheldengenre is een van de populairste genres in de moderne film. De film *Avengers: Infinity War* bijvoorbeeld, heeft meer dan twee miljard dollar opgebracht. Superhelden zoals Iron Man, Wonder Woman, Batman en Spider-Man bezitten opmerkelijke superkrachten die hen ongelooflijke kracht, behendigheid, uithoudingsvermogen of ondoordringbaarheid geven. Veel jongeren (en willicht ook volwassenen) willen deze superkrachten bezitten, of, op zijn minst, weten hoe de wetenschap kan helpen deze superkrachten te verkrijgen. Superhelden kunnen daarom als een krachtig en uniek platform dienen voor de communicatie van wetenschappelijke concepten: het wekt de interesse van de student, ondersteunt bestaande onderwijsmiddelen, helpt de leerdoelen te bereiken en inspireert studenten bij hun projecten of experimenten in de klas. Maar superhelden kunnen ook helpen om wetenschappelijke concepten bij het algemene publiek bekend te maken. Hieronder geven we vier voorbeelden.

Hawkeye en lineaire beweging

De Avengers zijn een groep superhelden bestaande uit Iron Man, Thor, Captain America, Black Widow, Hawkeye en Captain Marvel. Een van

de meest onderschatte teamleden is Hawkeye (ook wel bekend als Clint Barton). Hij is een voortreffelijke boogschutter dankzij zijn uitzonderlijk goede gezichtsvermogen dat vergelijkbaar is met dat van roofvogels [1, 2]. Hawkeye kan gebruikt worden om discussies te stimuleren over de anatomie en optische eigenschappen van het oog [3] en over de fundamentele principes van lineaire beweging die worden beschreven met Newtons bewegingswetten. Een scène met Hawkeye uit de film *The Avengers* (2012) biedt een leuk en kinematisch interessant probleem. Deze scène, geïllustreerd in figuur 1, laat Hawkeye zien die is neergestreken op het dak van een gebouw en vandaar een pijl afschiet op de schurk Loki die door de stad vliegt op een buitenaardse zwever. In de film vangt Loki de pijl op punt P.

Er zijn twee onbekende afstanden in dit probleem: de afstand die de pijl aflegt tot P (we noemen dit d_{pijl}) en de afstand die Loki aflegt tot P (d_{Loki}). Als we uit de film schatten dat de pijl met een constante snelheid $v_{\text{pijl}} = 100 \text{ m/s}$ beweegt en er een tijd $t_{\text{pijl}} = 2 \text{ s}$ over doet om P te bereiken, dan is $d_{\text{pijl}} = 200 \text{ m}$. De film laat zien dat Loki gedurende deze tijd constant versnelt. Om d_{Loki} te kunnen berekenen, hebben we Loki's initiële snelheid u_{Loki} en zijn eindsnelheid v_{Loki} nodig die in figuur 1 staan. Loki's versnelling kan berekend worden volgens $a_{\text{Loki}} = (v_{\text{Loki}} - u_{\text{Loki}}) / t_{\text{pijl}}$ en vervolgens kan d_{Loki} berekend worden volgens $d_{\text{Loki}} = u_{\text{Loki}} t_{\text{pijl}} + (1/2) a_{\text{Loki}} (t_{\text{pijl}})^2$. Dit voorbeeld van een scène uit *The Avengers* geeft een motiverende oefening voor zowel scholieren als leraren.

Colossus en geavanceerde materialen

Veel superhelden bezitten de superkracht van ondoordringbaarheid zoals Colossus van de X-Men, die daarvoor een laag van ondoordringbaar 'organisch staal' op zijn normale menselijke huid kan creëren. Wanneer stripboekschrijvers nieuwe karakters creëren, negeren ze nogal eens de wetenschappelijke realiteit. Colossus maakt de laag van organisch staal

uit ijzer uit zijn lichaam. Echter, het menselijk lichaam bestaat voor slechts 0,0006% uit ijzer, dus het is zeer onwaarschijnlijk dat Colossus' huid uit ijzer kan bestaan. Een meer aannemelijke verklaring is dat de laag van koolstof is gemaakt, waar ons lichaam voor grofweg 18% uit bestaat. Koolstof is allotropisch, wat betekent dat het in verschillende vormen voorkomt die geheel verschillende structuren en eigenschappen hebben. Een van deze vormen is grafeen dat een honingraatstructuur van koolstofatomen heeft ter dikte van één atoom.

Grafeen is een buitengewoon materiaal. Hoewel het een miljoen maal dunner is dan papier, is het sterker dan diamant, een betere geleider dan koper, transparant, flexibel, in staat om gewichten van meer dan een miljoen keer zijn eigen gewicht te dragen en sterker dan staal. Dit laatste is ontzettend belangrijk voor Colossus' ondoordringbare huid. Een huidlaag van grafeen zou voor Colossus ook enkele andere fysiologische problemen oplossen: het helpt zijn kerntemperatuur in stand te houden en zijn elektrolyten, die hij nodig heeft voor spieractiviteit, te behouden terwijl hij met schurken vecht. Aan de hand van de eigenschappen van Colossus kunnen dus nieuwe en innovatieve materialen geïntroduceerd en potentieel nieuwe toepassingen voor deze materialen uitgelegd worden [4].

Promotie van actueel onderzoek: Iron Man en wrijvingskrachten

Aan de TU Delft ontwikkelen we computermodellen voor de natuurkunde van niet-ronde deeltjes die door gasen bewegen [5, 6]. Dit is belangrijk voor veel industrieën, bijvoorbeeld bij de productie van biobrandstoffen uit biomassa. Wanneer dergelijke deeltjes door het gas bewegen, ondervinden ze krachten zoals wrijvings- en liftkracht en een torsie. Deze krachten hangen af van de vorm en oriëntatie van het deeltje. De wrijvingskracht kan worden uitgedrukt via de wrijvingscoëfficiënt C_D , een getal dat aangeeft in hoeverre het gas probeert de deeltjesbeweging te stoppen. In

computermodellen hebben Sathish Sanjeevi en Johan Padding (een van de auteurs van dit artikel) aangetoond dat C_D kan worden berekend voor een willekeurige oriëntatie ϕ middels een simpele formule [6]. Met behulp van de formule in figuur 2, kan C_D berekend worden met behulp van slechts drie getallen: ϕ , C_D wanneer het deeltje parallel aan de gasstroming staat ($C_{D, \phi=0^\circ}$), en C_D wanneer het deeltje loodrecht op de gasstroming staat ($C_{D, \phi=90^\circ}$).

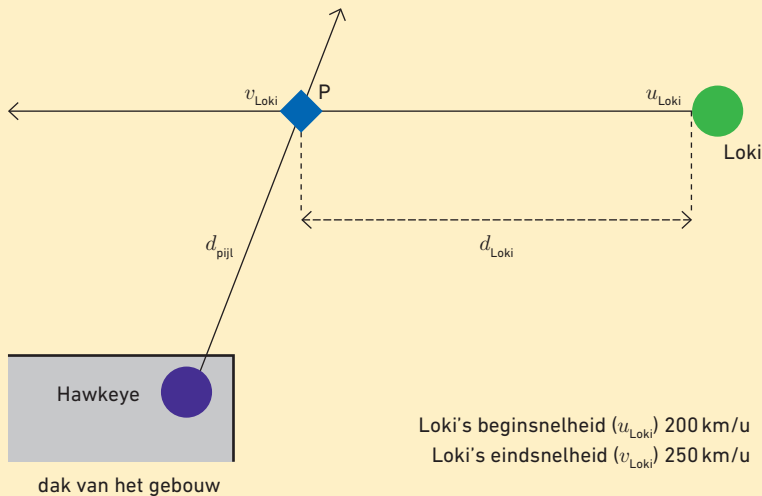
Het pak van Iron Man – Tony Starks indrukwekkende exoskelet – ondervindt ook een wrijvingskracht terwijl deze door de lucht vliegt. Om de wrijvingskracht op het pak te kunnen berekenen, zou Tony Stark de formule van Sanjeevi en Padding kunnen gebruiken, zie figuur 3. Tony zou dan alleen de oriëntatie van het pak moeten weten en C_D wanneer het pak parallel of loodrecht op de tegenwind staat.

Promotie van actueel onderzoek: Superhero Science and Technology

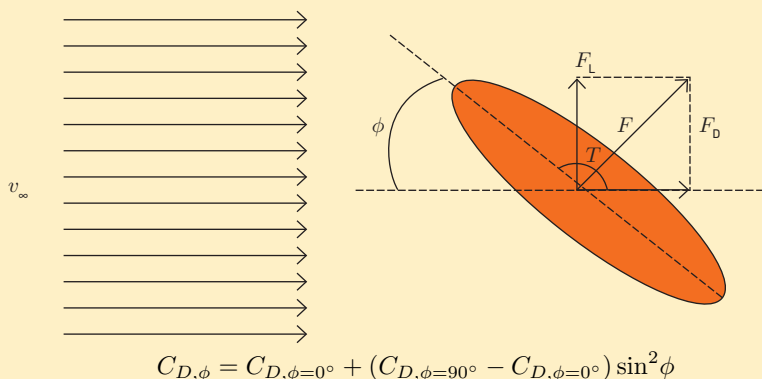
Een van de auteurs van dit artikel (Fitzgerald) is een open access-tijdschrift begonnen, genaamd *Superhero Science and Technology*. Dit tijdschrift wordt gepubliceerd op het TU Delft platform voor Open Journal Systems [7]. Het doel van het tijdschrift is om wetenschappers aan te moedigen artikelen te schrijven over hun laatste onderzoeksresultaten en deze te koppelen aan het superheldengenre. In dit tijdschrift zijn recent enkele bijdragen verschenen, zoals een bijdrage over nieuwe 3D-printtechnologieën die gebruikt kunnen worden door Tony Stark om zijn Iron Manpakken te maken en repareren [8]. Recenter zijn een bijdrage over cryobevriezing, gemotiveerd door de Winter Soldier [9], en een artikel over hoe Ant-Man en de Wasp kunnen ademen in hun superheldenpak terwijl ze de afmetingen hebben van insecten [10].

Conclusie

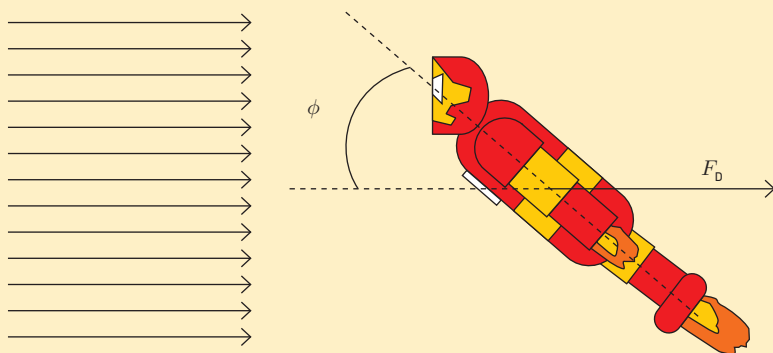
Superhelden spelen tegenwoordig een belangrijke rol in het leven van jongeren. Door superhelden te integreren in de natuurkunde is



Figuur 1. Illustratie van Hawkeyes pijlshot naar Loki. Hawkeye (paarse cirkel) staat op het dak van het gebouw en Loki (groene cirkel) beweegt langs een rechte lijn met constante versnelling richting Hawkeye, maar niet recht op Hawkeye's positie af. Loki vangt de pijl in het punt P (blauwe ruit).



Figuur 2. Een ellipsvormig deeltje georiënteerd onder een hoek ϕ ten opzichte van een gasstroming. Het deeltje ondervindt een wrijvingskracht F_D parallel aan de gasstroming, een liftkracht F_L loodrecht op de gasstroming en een torsie (draaimoment) T . De wrijvingskracht is evenredig met het kwadraat van de relatieve snelheid v_∞ van het gas en de wrijvingscoëfficiënt C_D .



Figuur 3. Het pak van Iron Man georiënteerd onder een hoek ϕ ten opzichte van de tegenwind. Het pak ondervindt een wrijvingskracht F_D parallel aan de tegenwind.

het mogelijk om een aantrekkelijke en toegankelijke leeromgeving voor studenten te creëren. Hoewel hier niet bediscussieerd, kunnen superhelden gebruikt worden om ondervertegenwoordiging van meisjes in de fysieke wetenschappen onder de aandacht te brengen [3] en om discussies over menselijke verbeteringen en ethiek te stimuleren [1, 2, 4]. Natuurkundelessen met superhelden verhalen bieden ongetwijfeld superkansen voor zowel leraren als studenten.

Barry Fitzgerald is postdoc aan de faculteit 3mE van de TUD en superheldenliefhebber. Zijn onderzoeksinteresses omvat apparaten en materialen gebruikt in bio-energieproductie, polymeerfysica, granulaire materialen, verantwoordelijk onderzoek en innovatie, en wetenschapeducatie. Hij heeft het open access-tijdschrift *Superhero Science and Technology* opgericht.

Johan Padding is hoogleraar aan de faculteit 3mE van de TU Delft op het gebied van simulaties van complexe vloeistoffen en meerfase- en reactieve systemen. Hij onderzoekt de stroming van polymeren, fluidisatie en sedimentatie van deeltjes, botsingen van druppels, en de competitie tussen stroming, diffusie en reactiviteit in poreuze media.

REFERENTIES

- 1 B.W. Fitzgerald, Using Hawkeye from the Avengers to communicate on the eye, *Advances in Physiology Education* **42**(1)(2018) 90-98.
- 2 B.W. Fitzgerald, *Secrets of Superhero Science*, BW Science (2016) Nederland.
- 3 B.W. Fitzgerald, Using superheroes such as Hawkeye, Wonder Woman and the Invisible Woman in the physics classroom, *Physics Education* **53**(3) (2018) 035032.
- 4 B.W. Fitzgerald, The physiology of impenetrable skin: Colossus of the X-Men, *Advances in Physiology Education* **42**(4) (2018) 529-540.
- 5 I. Mema et al., Effect of Lift Force on Dense Gas-Fluidised Beds of Non-Spherical Particles, in 12th International Conference on CFD in Oil & Gas, Metallurgical and Process Industries, (2017) Trondheim, Noorwegen.
- 6 S.K.P. Sanjeevi en J.T. Padding, On the orientational dependence of drag experienced by spheroids, *Journal of Fluid Mechanics* **820** (2017) R1.
- 7 B.W. Fitzgerald, *Superhero Science and Technology: A New Open Access Journal*, *Superhero Science and Technology* **1**(1) (2018).
- 8 J. Niittynen en J. Pakkanen, Importance of 3D and Inkjet Printing For Tony Stark and the Iron Man Suit, *Superhero Science and Technology* **1**(1) (2018).
- 9 R. Suris-Valls et al., Marine Fish Antifreeze Proteins: The Key Towards Cryopreserving The Winter Soldier, *Superhero Science and Technology* **1**(1) (2018).
- 10 A. Staples en M. Mikel-Sites, Ant-Man and The Wasp: Microscale Respiration and Microfluidic Technology, *Superhero Science and Technology* **1**(1) (2018).