

KRACHTEN - een inleiding

DEFINITIE EN BEDENKINGEN

Als we over iets willen spreken, moeten we om te beginnen zo precies mogelijk proberen formuleren wat we bedoelen met de gebruikte begrippen. In het dagelijks taalgebruik worden veel begrippen nogal eens verward: kracht, energie, druk, sterkte, macht,... en dan wordt het moeilijk om daarmee juiste redeneringen of berekeningen te maken. Daarom...

Definitie:

“Kracht” is elke oorzaak van vervorming of verandering van bewegingstoestand van een voorwerp.

Symbool: F (van het Latijnse “fortis” (krachtig), en later het Franse en Engelse “force”).

Opmerking:

Dit is een beetje een rare definitie: we zeggen wat iets is door te zeggen wat het gevolg ervan is. Dat is een beetje zoals zeggen: “Wat is liefde? Liefde is de oorzaak van knuffelen.”. Wat een kracht dan echt “is”, daar kan de wetenschap helaas nog niet op antwoorden.

Statische en dynamische werking van krachten:

De definitie bevat 2 facetten: ze zegt dat een kracht kan zijn:

- oorzaak van een vervorming = “statische” werking;
(Bv.: uitrekken van een elastiek, doorbuigen van een plank, indrukken van een spons, plooiën van een lepel,...)
- oorzaak van een bewegingsverandering = “dynamische” werking
(Bv.: in gang duwen van een auto, omhoog springen, iets laten vallen, de wind die een kogel van richting doet veranderen, uitbollen van een bal door de wrijving van het gras,...)

Opmerking 1:

Zeggen dat elke oorzaak van een bewegingsverandering een kracht moet zijn, wil dus zeggen dat zonder kracht alles blijft bewegen met de snelheid die het had. Ligt iets stil (snelheid 0), dan zal het blijven stilliggen. Vliegt of rolt iets met een zekere snelheid, dan zal dat zo blijven; als het toch zou vallen of vertragen, dan verraadt dat dat er een kracht op inwerkt. Deze aanname is lange tijd niet zo vanzelfsprekend geweest: middeleeuwen en ongeschoolde 21^{ste} eeuwen zouden intuïtief eerder aannemen dat een voorwerp zonder kracht vanzelf zou stilvallen, wat dus fout is! Het is de verdienste van sir Isaac Newton (Engeland 1643-1727) om door logisch redeneren en waarnemen tot dit besluit te komen, wat dan ook naar hem de “eerste wet van Newton” genoemd wordt, of nog: de “wet van de traagheid (=inertie)”. Traagheid moet hier begrepen worden als “logheid”: doordat elk voorwerp een zekere “logheid” heeft, wil het volharden in de toestand “die het gewoon is”, zou je kunnen zeggen.

Pas op: deze “wet” blijft wel een onbewijsbare aanname zoals een wiskundig axioma, want we kunnen immers pas weten of een beweging niet versnelt als we weten dat de tijd zelf niet “vertraagt”. Alle klokken zijn immers gebaseert op een of andere “gestage” beweging. De traagheidswet kan dus eigenlijk verdraaid worden tot “Als je iets ziet bewegen zonder dat er “invloeden” op werken, kan je dat gebruiken om de tijd mee te meten.” (aan de positie kun je aflezen hoe laat het is). Sinds Einstein weten we dat de dingen iets ingewikkelder ineens zitten, maar dat zou ons hier te ver voeren.

Opmerking 2:

Strikt genomen is de “statische” werking van krachten een illusie. Wat we makroskopisch waarnemen als “vervorming” is immers op zeer kleine schaal niets anders dan het wegstampen van een hoop deeltjes.

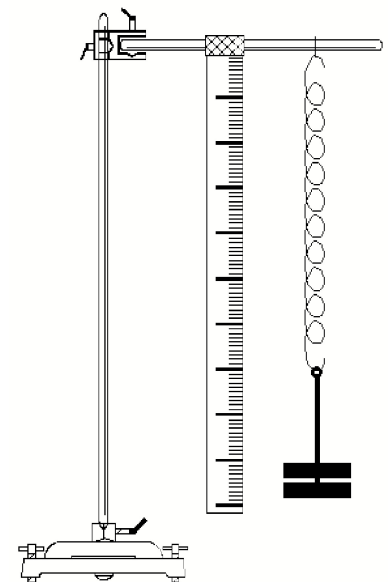
PROEF: UITREKKING VEER

Procedure:

We hangen een veer op aan een statief. Daarnaast plaatsen we vertikaal een meetlat waarvan de nulpositie naast het onderste eind van de veer valt.

Dan hangen we een blokje met gekende massa (m) aan de veer, en meten de uitrekking (u). Vervolgens hangen we er 2, 3,... blokjes aan, en meten telkens hoeveel ze uitrekt.

We noteren alles in een tabel en maken tenslotte een grafiek van u versus m .



Vaststellingen:

- Het aanbrengen van een blokje doet de veer vervormen (uitrekken). Dat betekent dus dat er een of andere kracht op de veer moet inwerken. Aangezien de uitrekking wijst in de richting en zin van het middelpunt van de aarde, kunnen we aannemen dat de aarde op een of andere manier aan het blokje trekt. We zullen deze kracht “zwaartekracht” of “gravitatie” noemen. Aangezien we geen koordje bespeuren tussen het blokje en de aarde, werkt ze blijkbaar op een geheimzinnige, onzichtbare wijze. We noemen haar dan ook een “veldkracht”, en zeggen dat de aarde een “zwaarteveld” rond zich heeft.
- Twee blokjes geven ongeveer een dubbel zo grote uitrekking als eentje. Drie blokjes een driedubbele, enz. Door onze meetpunten op de grafiek past met redelijke nauwkeurigheid een rechte lijn. De uitrekking is met andere woorden recht evenredig met de massa: $u \sim m$.
- Als we de veer met onze spierkracht proberen uit te rekken, stellen we subjektief vast dat het meer moeite kost naarmate de veer langer uitgerokken wordt. Het lijkt er dus op dat de kracht evenredig is met de aangehechte massa. Op dit moment hebben we echter nog geen objectieve methode om een maatgetal te zetten op krachten.

EENHEID

Newton wist zoals u en ik dat een zwaar voorwerp moeilijker in beweging te brengen is dan een licht. Door nauwkeurige metingen te verrichten, kon hij daar ook getallen opplakken: verdubbelt de massa, dan halveert de versnelling (a), enz. (bij een gelijkblijvende kracht). Met andere woorden: het produkt van massa en versnelling is konstant voor een gegeven kracht. Een kracht die eenzelfde massa een grotere versnelling kan geven, of die een grotere massa eenzelfde versnelling kan geven, kunnen we dus rangschikken als “groter”, m.a.w. het produkt $m \cdot a$ kunnen we dus als maatgetal voor de grootte van een kracht beschouwen:

$$F = m \cdot a$$

Dit wordt, naar hem, de “tweede wet van Newton” genoemd.

Hij kon dus een eenheid voor kracht, de “Newton”, definiëren als volgt:

1 Newton = de kracht die een voorwerp met een massa van 1kg een versnelling van 1m/s^2 geeft.

Of:

$$1\text{N} = 1\text{kg} \cdot \text{m/s}^2$$

Daarmee hebben we een bruikbare eenheid, stevig verankerd in het systeem van de meetbare basiseenheden kg, m, en s.

Een eenvoudig proefje waarmee je deze wet min of meer kan aantonen:

Start met je fiets vanuit stilstand en geef gedurende 10s al je kracht. Meet hoever je gekomen bent op die tijd (afgelegde weg = s). Je gemiddelde versnelling zal dan $a=2s/t^2$ zijn ($s=\frac{1}{2}at^2$ bij een eenparig versnelde beweging). Het produkt van de in beweging gebrachte massa m (jezelf plus fiets) en de versnelling is dan de gemiddelde kracht die je uitgeoefend hebt. Doe dan hetzelfde met extra bagage, dus grotere m , en je zal zien dat a kleiner wordt. Natuurlijk zal dit niet zeer nauwkeurig kloppen, vermits er hier ook “wrijvingskrachten” meespelen, en vermits je kracht niet altijd even groot zal zijn.

Newton baseerde zich niet alleen op dit soort proefjes, maar ook op de studie van de beweging van de planeten, waar wrijvingskrachten een veel kleinere rol spelen. Daarvoor heeft hij wel een wiskundige trukendoos moeten uitvinden die iets te ingewikkeld is om hier snel uit de doeken te doen.

GEWICHT

Geloof het of niet, maar een pluim valt even snel als een blok lood... tenminste onder een luchtledig gezogen stolp!

Door nauwkeurige meting van de beweging van vallende voorwerpen (bv. met stroboscopisch belichte foto's), zien we dat ze eenparig versneld verloopt, d.w.z., per tijdseenheid komt er eenzelfde snelheidsvergroting, of met andere woorden: de versnelling

(a) heeft een vaste waarde voor gelijk welk voorwerp. Deze zgn. “valversnelling” wordt aangeduid met een apart symbool “g” (van gravitatie). Volgens de 2de wet van Newton ($F=ma$, dus hier $F=mg$) is de kracht waarmee een voorwerp aangetrokken wordt tot de aarde dus recht evenredig met de massa ervan, met evenredigheidsconstante g. Deze kracht noemen we het “gewicht”, dikwijls genoteerd als F_G . Dus:

$$\text{Gewicht} = F_G = mg$$

Op aarde meten we gemiddeld: $g = 9.81 \text{ m/s}^2$, dat wil zeggen dat iemand met een massa van 70kg een gewicht heeft van $70 \cdot 9.81 = 686.7 \text{ Newton}$.

Opmerking:

De valversnelling g wordt ook de “veldsterkte” van het zwaartekrachtsveld genoemd, aangezien ze uitdrukt hoe sterk de aantrekkingskracht is. Uit $g=F/m$ volgt dat ze ook kan uitgedrukt worden in N/kg ($1\text{N/kg} = 1\text{m/s}^2$).

Gevolg: krachtmeting

We weten nu dat de zwaartekracht op een voorwerp inderdaad recht evenredig is met de massa ervan. Dat betekent dat in onze veerproef dus ook de uitrekking recht evenredig is met de kracht. Dit verband ($u \sim F$) wordt de “wet van Hooke” genoemd (Robert Hooke, Engeland 1635-1703). De evenredigheidsconstante wordt “veerconstante” ($k = F/u$) genoemd; hoe stijver de veer, hoe groter k. Dit wetende, kunnen we dus de uitrekking van een veer gebruiken om krachten te meten, wat ook gedaan wordt in een zgn. “dynamometer”: een veer verpakt in een koker met een schaalverdeling, geijkt in Newton.



PROEF: AKTIE EN REAKTIE

Procedure:

Haak twee dynamometers in horizontale stand aan mekaar vast en trek aan beide losse uiteinden in tegengestelde zin.

Waarneming en gevolgtrekking:

Beide veren rekken evenveel uit. D.w.z. dat de ene met een gelijke kracht aan de andere trekt als omgekeerd. Dat was natuurlijk te verwachten aangezien de situatie symmetrisch is. De aktiekracht van de ene veer lokt een reaktiekracht uit van de andere, die juist even sterk is, maar in tegengestelde zin.

Veralgemening:

Analoog kunnen we redeneren bij de vraag: Waarom zak ik niet door de grond? Het kan niet anders dan dat de grond een even sterke kracht op mij uitoefent dan ik op de grond; mijn aktie veroorzaakt een even sterke, maar tegengestelde reaktie. Als de grond sterker

zou terugduwen dan ik op de grond duw, zou ik gaan vliegen. Als hij minder sterk zou terugduwen, zou ik erdoor zakken.

Uit symmetrie-overwegingen mogen we veronderstellen dat dezelfde redenering geldt voor gelijk welk koppel voorwerpen waarbij het ene een kracht uitoefent op het ander: er ontstaat telkens een even grote reactie. Dit wordt de derde wet van Newton genoemd.

PROEF: SAMENSTELLING VAN KRACHTEN

We kunnen ons gemakkelijk inbeelden dat twee mensen die aan hetzelfde zeel trekken, hun krachten bundelen. Evenzo, als twee mensen in tegengestelde zin trekken, valt er niet veel beweging te verwachten.

Maar hoe zou het zijn als twee krachten onder een andere hoek op iets inwerken? We kunnen dit eenvoudig experimenteel uitvissen.

Procedure:

We bevestigen een dynamometer (nr.1) aan een vast punt op een tafel. Aan het andere uiteinde hechten we 2 andere dynamometers (nr. 2 en 3) die een bepaalde hoek α vormen en trekken daaraan met kracht F_2 en F_3 .

Op dynamometer 1 lezen we de reactiekracht af die de combinatie van dynamometers 2 en 3 in evenwicht houdt (F_1). Dit kunnen we doen voor verschillende hoeken en trekkrachten.

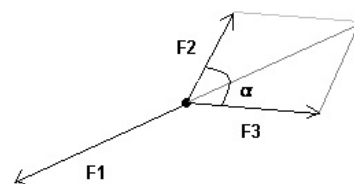
We tekenen telkens een lijnstuk met lengte in verhouding tot de gemeten kracht F_1 , en aan een eindpunt twee lijnstukjes die F_2 en F_3 voorstellen op dezelfde schaal.



Waarnemingen:

Het punt waar de drie dynamometers aan mekaar hangen, blijft stil, wat betekent dat er netto geen kracht op inwerkt. F_1 compenseert de werking van F_2 en F_3 samen.

Het blijkt dat de diagonaal van het parallellogram gevormd door F_2 en F_3 even groot is als F_1 . F_1 heeft dus dezelfde sterkte als de vektorieële optelling van F_2 en F_3 , maar trekt in tegengestelde zin. M.a.w. de grootte van de "resultante" (samenstelling) van twee krachten vinden we met behulp van de cos-regel op het supplement van de hoek tussen de krachten:



$$F_{RES}^2 = F_1^2 + F_2^2 + 2 F_1 F_2 \cos \alpha$$

Reken dit na met de gemeten waarden.

Een ander klein (gedachten-)experimentje leert ons dat ook het aangrijpingspunt van een kracht belangrijk is: als ik tegen de linkerhoek van een tafel duw, dan zal ze met de klok

meedraaien; als ik tegen de rechterhoek in dezelfde richting en zin duw, zal ze tegen de klok draaien.

Kracht kan dus best als een vektoriële grootte beschreven worden, want niet alleen de grootte is van belang, maar ook de richting, de zin en het aangrijpingspunt.

Hetzelfde kan natuurlijk ook gezegd worden over de grootte "versnelling". We kunnen dus de 2de wet van Newton nauwkeuriger schrijven als:

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a}$$

Koen Van de moortel, 2007 - laatste bijwerking: 2011 10 27

www.astrovdm.com/schoolinfo.htm