

Kracht

***vervorming, beweging,
evenwicht***

Dictaat klas 3HV



Kracht

vervorming, beweging, evenwicht

Dictaat klas 3HV

Inhoud	bladzijde
– Bronvermelding	2
§ 1 Inleiding.....	3
§ 2 Soorten kracht. Wat is kracht?	5
§ 3 Kracht meten.	7
§ 4 Zwaartekracht.....	8
§ 5 Krachten tekenen als vectoren. Zwaartepunt.	8
§ 6 Krachten samenstellen.	11
§ 7 Druk.....	12
§ 8 Kracht en vervorming. De veerconstante	14
§ 9 Snelheid	16
§ 10 Kracht en beweging. Snelheidsverandering.....	18
§ 11 Kracht en evenwicht. Draaiing.	20
§ 12 Energie.....	21
– Werkbladen.....	24

September 2023

Bronnen:

Voorblad	https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Apollo_15_launch.jpg
Blz. 3	https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Train_wreck_at_Montparnasse_1895.jpg
5	https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Expander_1_(sport).jpg https://commons.wikimedia.org/wiki/File:SHOW_YOUR_MUSCLE_-_NARA_-_515413.tif https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Aldrin_Apollo_11.jpg
6	https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Lotus_18_suspension_detail.jpg https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Guitar_1.jpg https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Drum_(container).jpg
7	https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Brooks_b73_hq.jpg https://www.opitec.nl
10	https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sebastian_Vettel_Jerez_Feb_2009_3593a.jpg https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Maaskantje_-_Molen_De_Pelikaan_-_vrachtwagens.jpg
10, 24	https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bouteille.jpg https://commons.wikimedia.org/wiki/File:A_glass_of_red_wine.jpg https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Soup_Spoon.jpg
11, 19, 26	https://commons.wikimedia.org/wiki/File:A21.gif
11, 25	https://commons.wikimedia.org/wiki/File:2004MINICOOPER001.JPG
11, 14, 26	Examen NaSk-1 vmbo GL en TL, 2005 2e tijdvak
12	https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Gymnastics_(trampoline)_pictogram.svg https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Punaiseklein.jpg
13	https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Don_Quijote_de_la_Mancha_en_el_Teatro_Teresa_Carre%C3%B1o_Caracas_Venezuela_3.jpg https://www.bouwonline.com
14	https://fys.kuleuven.be/pradem
17	Coach 6, videometen. Zie: https://www.cma-science.nl
19	https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Lance-Armstrong-TdF2004.jpg
19, 27	https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Falling_ball.jpg https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Dressage_pictogram.svg https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sinnbild_Kraftrad.svg https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Athletics_pictogram.svg
20	https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Wheelbarrow_in_equilibrium.JPG
20, 21	https://www.walter-fendt.de
21	https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Palanca-ejemplo.jpg https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Klieste_na_orechy.jpg
22	https://commons.wikimedia.org/wiki/Main_Page (Zoek op: 'File:US Navy 071004-N-7092S-012')
25	https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Soccer_ball_animated.svg https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Dog_Silhouette_01.svg

Applets: zie de bronvermeldingen op de betreffende pagina's van <https://bruningonline.nl>



Op dit dictaat rust een Creative Commons Licentie: *Naamsvermelding-Niet-commercieel-Gelijk delen 3.0 Nederland*. Om de licentie te bekijken klikt u hieronder. Gebruik als bronvermelding: 'https://bruningonline.nl'.
[Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/)

1 Inleiding

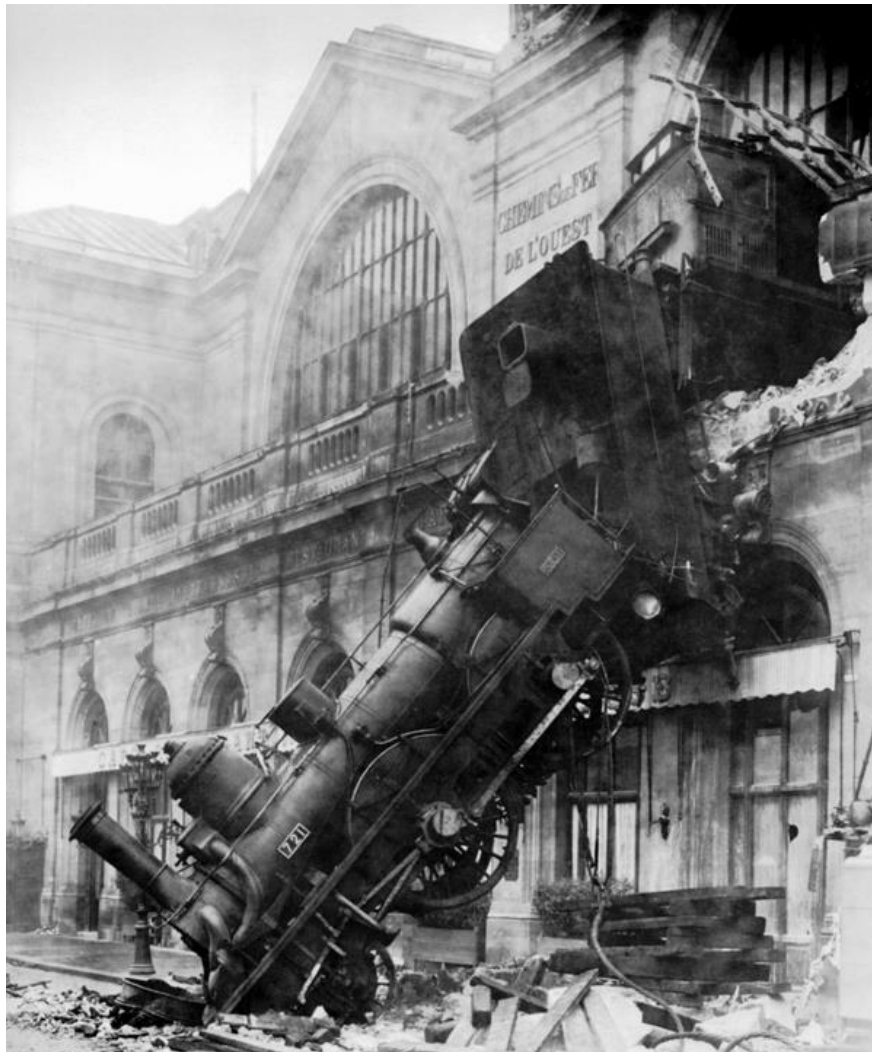
Hoe komt het dat een losgelaten voorwerp valt? En dat die val steeds sneller gaat? Auto's, motoren en scooters hebben vering. Wat doet die vering eigenlijk? Een grote zak zand kun je niet tillen. In een kruiwagen til je dezelfde hoeveelheid zand wél. Hoe zit dat?

Zulke vragen horen thuis in de mechanica. Mechanica bestudeert beweging, rust en evenwicht. Mechanica is een belangrijk onderdeel van de natuurkunde. Belangrijk, omdat het veel wordt toegepast. Dat we hoge gebouwen, wegen, tunnels, bruggen en machines kunnen bouwen komt onder andere door onze kennis van de mechanica.

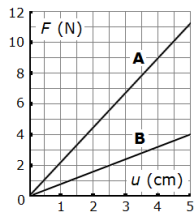
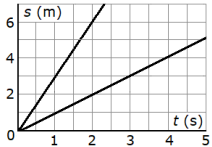
In de mechanica speelt de grootheid *kracht* de hoofdrol. Dit dictaat gaat over kracht. Je leert krachten, bewegingen en evenwichtssituaties nauwkeurig te meten en beschrijven. Zo nauwkeurig, dat je er ook aan kunt rekenen.

Er is theorie, er zijn proeven en opgaven. De applets die worden genoemd staan op de natuurkundesite. Extra stof is aangegeven met E.

In de tabel op de volgende bladzijde staan de belangrijkste grootheden, eenheden, definities en formules.



*Kracht en vervorming
(Treinramp bij Montparnasse, 1895)*

Begrip	Omschrijving, definitie	Formules, grafieken
Kracht (F)	De oorzaak van snelheidsverandering en/of vormverandering van een voorwerp. Eenheid: newton (N).	$F_Z = m \cdot 9,81$ $F_V = C \cdot u$
Vector	Een precieze pijl. Vectoren gebruik je om krachten te tekenen. 1. De lengte van de vector geeft de grootte (sterkte) van de kracht aan. 2. De richting van de vector geeft aan in welke richting de kracht werkt. 3. Het begin van de vector geeft het aangrijpingspunt aan.	--
Resultante, nettokracht. (F_R , F_{NETTO})	De denkbeeldige kracht die in zijn eentje hetzelfde doet als alle afzonderlijke krachten samen. • $F_R = 0$: <u>evenwicht</u> . Rust of constante snelheid. • F_R wijst tegen de beweging in: <u>vertraging</u> . • F_R wijst naar met de beweging mee: <u>versnelling</u> .	--
Krachten samenstellen	Bepalen wat de resultante (netto kracht) van twee of meer krachten is.	--
Zwaartepunt	Het denkbeeldige aangrijpingspunt van de zwaartekracht op een voorwerp.	--
Druk (p)	Kracht (F) per oppervlakte-eenheid (A). Eenheid: Pascal (Pa) of newton per vierkante meter (N/m^2).	$p = \frac{F}{A}$
Recht evenredig (\sim)	Als je een veer niet te ver uitrekt zijn kracht (F) en uitrekking (u) recht evenredig. Je schrijft: $F \sim u$. • Als de kracht groter wordt, dan wordt de uitrekking even veel keer groter. • Kracht gedeeld door bijbehorende uitrekking geeft steeds dezelfde uitkomst. • De grafiek van kracht tegen uitrekking is een rechte lijn door de oorsprong. Het hellingsgetal is de veerconstante (C).	
De veerconstante (C)	De veerconstante van een veer geeft aan hoeveel newton kracht er nodig is om de veer een (denkbeeldige) uitrekking van 1 m (of 1 cm) te geven. Eenheid: N/m of N/cm. Hoe sterker de veer, hoe groter de veerconstante.	$C = \frac{F}{u}$
Snelheid (v)	Verplaatsing (Δs) per tijdsduur (Δt). Eenheid: m/s (ook wel km/h).	$v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$
Eenparige beweging	Een beweging met een constante snelheid.	$s = v \cdot t$ 
Moment (M)	Het product van kracht (F) en arm (r). Eenheid: newtonmeter (Nm).	$M = F \cdot r$
Momentenwet (ook wel: hefboomwet)	Er is draai-evenwicht als het moment linksom even groot is als het moment rechtsom.	$M_{linksom} = M_{rechtsom}$ of $M_{linksom} + M_{rechtsom} = 0$.
E	Energie (E) Energie bezitten betekent: de mogelijkheid hebben om arbeid te verrichten. Eenheid: joule (J)	$E_v = \frac{1}{2} \cdot C \cdot u^2$ $E_k = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$ $E_z = m \cdot 9,81 \cdot h$

2 Soorten kracht. Wat is kracht?

Proef 1: expander

- Rek een expander uit. Eerst 10 cm, dan 15 cm, enzovoorts.
 - Waarneming: hoe groter (sterker) je spierkracht, hoe groter de uitrekking.
- Onderzoek welke leerling uit je klas de grootste spierkracht heeft.



Een expander

Conclusie uit proef 1

De grootte (sterkte) van je spierkracht kun je meten met een veer.

Soorten kracht

Spierkracht kent iedereen. Maar er zijn nog meer soorten kracht. In de tabel hiernaast staan er zes, met voor elke kracht de afkorting. Hieronder worden ze besproken.

De afkorting van kracht is de hoofdletter F (van het Engelse 'Force'). Met een *index*, dat is een klein, extra lettertje schuin onder de F , geef je aan welke soort kracht je bedoelt.

Kracht is een grootheid, want je kunt de grootte (sterkte) van een kracht meten. (Zie §3). De eenheid van kracht is de *newton*, afgekort met de hoofdletter N .

$F_{spier} = 20 N$ spreek je dus uit als: 'de spierkracht is 20 newton'.

Soort kracht	Afkorting
Spierkracht	F_{spier}
Zwaartekracht	F_z
Veerkracht	F_v
Spankracht	F_{span}
Normaalkracht	F_n
Weerstandskracht	F_w

Spierkracht

Spierkracht is de kracht die mensen en dieren met hun spieren kunnen uitoefenen.

Zwaartekracht

Zwaartekracht is de kracht waarmee de aarde voorwerpen aantrekt. Niet alleen vaste voorwerpen maar ook vloeibare en gasvormige, zoals het water in de oceanen en de lucht in de dampkring.

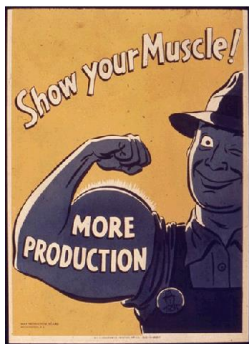
Op de maan is er ook zwaartekracht, ongeveer zes keer zo zwak als op de aarde. Daarom kunnen astronauten op de maan makkelijk lopen, ondanks hun loodzware ruimtepak. En daarom is er op de maan geen lucht. Want de zwaartekracht op de maan is te zwak om een dampkring te kunnen vasthouden.

Elk voorwerp oefent zwaartekracht uit. Die is alleen merkbaar als het voorwerp een heel grote massa heeft.

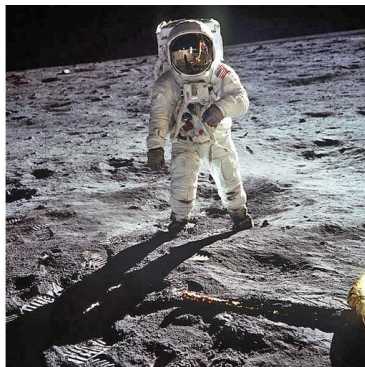
Veerkracht

Veerkracht heet ook wel *elastische kracht*. Het is de kracht die een elastisch voorwerp uitoefent als je het uitrekt of indrukt.

Een elastiekje, het vel van een trampoline en de vering van een auto kunnen bijvoorbeeld veerkracht uitoefenen.



Spierkracht



De zwaartekracht op de maan is zes keer zo klein als die op aarde.



De vering van een sportwagen

Spankracht

Spankracht is eigenlijk hetzelfde als veerkracht. Als je een snaar spant dan rek je hem een heel klein beetje uit. Daardoor gaat hij een kracht uitoefenen.

De houten kast van de gitaar hiernaast moet stevig genoeg zijn om de spankracht van zes snaren op te vangen.



Spankracht



Een olievat.
Schuiven of rollen?

Normaalkracht

Je staat op de vloer. De kracht waarmee de vloer jou ondersteunt heet normaalkracht. Ook een boek dat op tafel ligt wordt ondersteund: door de normaalkracht van het tafelblad.

(De normaalkracht zou je dus ook 'steunkracht' kunnen noemen. Alleen is die naam niet in gebruik).

Weerstandskracht

Weerstandskracht ontstaat als twee voorwerpen langs elkaar schuiven of rollen. Er zijn drie soorten weerstandskracht:

- Schuifweerstand (ook wel: schuifwrijving).
Wrijf je vlakke hand over de tafel en je voelt een tegenwerkende kracht: schuifwrijving. Een auto met schijfremmen remt door de wrijvingskracht tussen de remblokken en de remschijven.
- Rolweerstand.
Een vol olievat is zo zwaar dat je het niet meer kunt verschuiven. De schuifwrijving is te groot. Als je het vat kantelt merk je dat de rolweerstand een stuk kleiner is: je kunt het vat nog wel rollen.
- Luchtweerstand.
Die voel je altijd als je fietst (ook zonder tegenwind). Luchtweerstand heeft grote invloed op het energieverbruik van auto's. Hoe kleiner de luchtweerstand hoe beter. Daarom worden auto's ontworpen met behulp van een windtunnel: voor een betere *stroomlijn*. En daarom zijn sportauto's laag.

Wat is kracht?

Het is niet makkelijk om precies te zeggen wat kracht is. Niemand heeft namelijk ooit een kracht gezien, vastgepakt of opgeborgen in een kast. Toch heb je er wel een idee van. En je weet ook dat er allerlei soorten kracht zijn.

Al die krachten hebben twee overeenkomsten: ze kunnen voorwerpen vervormen, en ze kunnen voorwerpen versnellen of afremmen. Daarom is dit de definitie van kracht:

Kracht is de oorzaak van snelheidsverandering en/of vormverandering van een voorwerp.

Opgaven

1. Een voetbal rolt over de grasmat. Zijn snelheid wordt steeds kleiner en uiteindelijk ligt hij stil.
 - Wat is de oorzaak van de snelheidsafname? Of verandert de snelheid vanzelf? Licht je antwoord toe.
2. Een vallend voorwerp gaat steeds sneller.
 - Wat is de oorzaak van die versnelling? Of versnelt het voorwerp vanzelf? Licht je antwoord toe.
3. Je zit op de onderste trede van een trap.
 - a. Door welke kracht word je ondersteund?
Je zit op het zadel van een fiets.
 - b. Word je nu ondersteund door dezelfde kracht als bij vraag a? Licht je antwoord toe.



De vering van een fietszadel

3 Kracht meten

De conclusie van de proef met de expander was dat je de grootte (sterkte) van je spierkracht kunt meten met een veer.

Je kunt van elke kracht de grootte meten, niet alleen van de spierkracht.

Veerunster

Een *veerunster* of *veerbalans* is een veer met een haak en een schaalverdeling in newton. Hang een voorwerp aan de haak en je leest af hoe groot de zwaartekracht op het voorwerp is. Zie de foto hiernaast.

Massa (m)

De massa (m) van een voorwerp geeft aan uit hoeveel stof (materiaal) het voorwerp bestaat. Je zegt ook wel: uit hoeveel *materie*. Massa meet je met een balans. De eenheid van massa is de kilogram, afgekort kg. Ook wordt vaak de gram (g) gebruikt. $1 \text{ kg} = 1000 \text{ g}$. $m = 4,7 \text{ kg}$ spreek je uit als: de massa is 4,7 kilogram.

Proef 2: kracht meten met een veerunster

Neem een veerunster.

- Rek de veerunster rustig helemaal uit (als dat lukt). Lees de kracht af en voel hoe sterk/zwak die kracht is. Zo krijg je een idee hoe sterk 1 N is.
- Hang de veerunster aan een statief. Neem een set schijfjes van elk 50 g en vul de tabel in.

$m \text{ (g)}$	$F_z \text{ (N)}$
50	
100	
150	
200	
250	



Veerunster

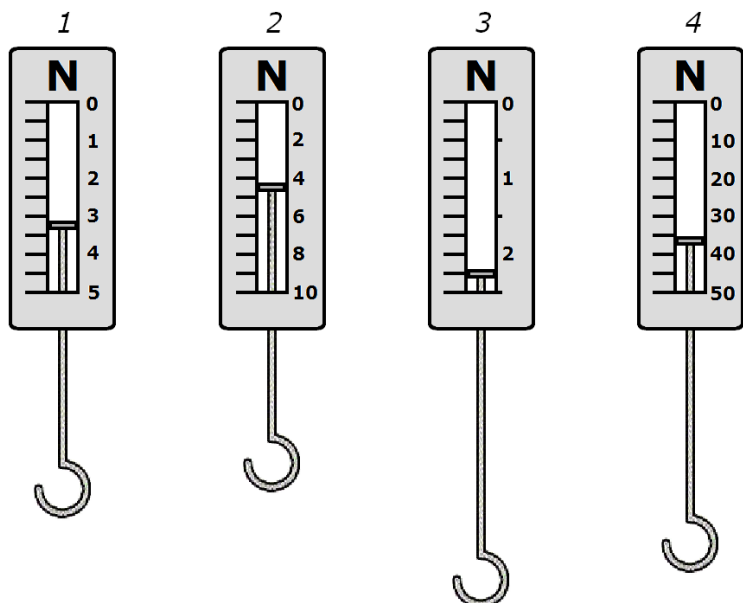
Proef 3: kracht meten met de computer

Je kunt de grootte van een kracht ook met de computer meten. Je hebt dan nodig:

- Een krachtensor. Die meet de grootte van de kracht en zet de meetwaarde om in een bijpassend elektrisch signaal.
- Een meetinterface. Die maakt het elektrische signaal geschikt voor de computer.
- Een meetprogramma, geïnstalleerd op de computer. Daarmee kan de computer de elektrische signalen van sensor en meetinterface omzetten in tabellen en grafieken op het beeldscherm.

Opgave

- Lees de veerunsters hiernaast af
 - Leg uit in welke veerunster de sterkste veer zit, en in welke de zwakste.
 - Leg uit dat je meting 2 ook met veerunster 1 kunt doen.
 - Welke veerunster kies je voor meting 2: 1 of juist 2?
 - Leg uit welke veerunster het nauwkeurigst is.



4 Zwaartekracht

Bij proef 2 zag je dat op twee schijfjes, samen 100 g, een zwaartekracht van 1 N werkt. Dan is de zwaartekracht op een voorwerp van 1 kg dus 10 N. Een heel nauwkeurige meting zou 9,81 N opleveren. Dus de zwaartekracht op een voorwerp van 2,5 kg is dan $2,5 \cdot 9,81 = 24,5$ N. Dat geeft de volgende formule voor de zwaartekracht:

$$F_z = m \cdot 9,81$$

Opgaven

5. Vul de tabellen in.

	m	F_z
a.	0,5 kg	... N
b.	500 g	... N
c.	1500 g	... N
d.	2,4 kg	... N
e.	52 kg	... kN
f.	7,3 g	... mN

	m	F_z
g.	... kg	39,2 N
h.	... g	0,16 N
i.	... g	320 mN
j.	... kg	750 N
k.	... kg	9,81 kN
l.	... kg	196 N

6. In de volgende bewering zit een natuurkundige fout: *Het gewicht van Hendrik is 72 kg.*
– Verbeter de bewering op twee manieren.
7. In 1969 was de astronaut Neil Armstrong de eerste mens die liep op de maan. De massa van de astronaut was 80 kg, de massa van zijn ruimtepak 90 kg.
De zwaartekracht op de maan is zes keer zo klein als die op aarde.
- Hoe groot is de massa van astronaut plus ruimtepak op aarde? En op de maan? Licht je antwoord toe.
 - Bereken de zwaartekracht op de astronaut plus ruimtepak op aarde en op de maan.
 - Bedenk een formule voor de zwaartekracht op de maan.

5 Krachten tekenen als vectoren. Zwaartepunt

Elke kracht heeft drie eigenschappen:

- De grootte (sterkte) van de kracht, met als eenheid newton (N).
- De richting waarin de kracht werkt.
- Het aangrijpingspunt: het punt waar de kracht op het voorwerp wordt uitgeoefend.

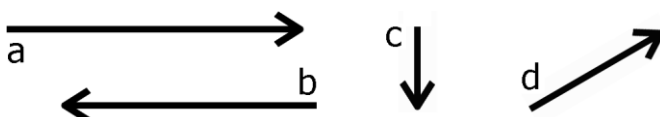
Daarom teken je een kracht als een pijl. Niet zomaar een pijl, maar een heel precieze:

- De lengte van de pijl geeft de grootte van de kracht aan.
Hoe langer de pijl, hoe groter de kracht. Vaak kies je een schaalverdeling, bijvoorbeeld 1 cm \leftrightarrow 10 N.
- De richting van de pijl geeft aan in welke richting de kracht werkt.
- Het begin van de pijl geeft aan waar het aangrijpingspunt is.

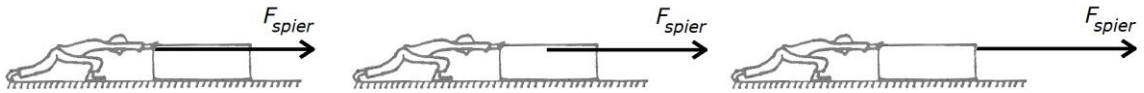
Zo'n precieze pijl heet een *vector*.

Opgaven

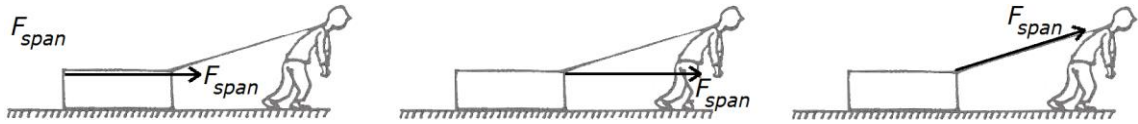
8. Hieronder staan vier krachten, getekend als vectoren. De schaal is: 1 cm \leftrightarrow 10 N.
– Bepaal van elke kracht de grootte.



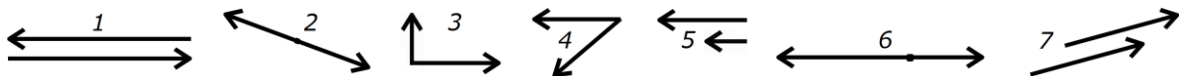
9. a. Een verhuizer duwt een kist. Welke tekening heeft het goede aangrijpingspunt van de spierkracht?



- b. Een andere verhuizer sleept een kist. Welke tekening heeft de juiste spankracht in het touw?



10. Hieronder zie je zeven tweetallen krachten. Noem voor elk tweetal de verschillen.



Zwaartepunt

De zwaartekracht op een voorwerp grijpt niet in één punt aan maar werkt op het hele voorwerp. De zwaartekracht op je mobiel bijvoorbeeld werkt op het hele toestel: op het beeldscherm, de toetsen, de elektronica, de batterij, zelfs op het flinterdunne laagje lak.

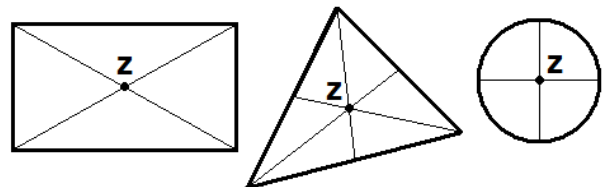
Bij vectortekeningen is het vaak handig om net te doen alsof de zwaartekracht toch één aangrijpingspunt heeft. Bij de gsm zou dat denkbeeldige punt ergens midden in het toestel liggen.

Het zwaartepunt van een voorwerp is het denkbeeldige aangrijpingspunt van de zwaartekracht op het voorwerp.

Van voorwerpen met een eenvoudige, regelmatige vorm is het zwaartepunt met een paar hulplijnen te vinden.

Het zwaartepunt (Z)...

- van een rechthoek is het snijpunt van de diagonalen,
- van een driehoek is het snijpunt van de zwaartelijnen,
- van een cirkelvormige schijf is het middelpunt.



Heeft het voorwerp en onregelmatige vorm dan moet je de ligging van het zwaartepunt schatten. Soms kun je het met een proef bepalen.

Proef 4: het zwaartepunt bepalen

Neem een onregelmatig gevormd voorwerp.

- Maak een klein gaatje in het voorwerp en hang het daarmee aan een statief.
- Wacht tot het voorwerp niet meer schommelt. Teken vanuit het gaatje een lijn op het voorwerp, loodrecht naar beneden.
- Maak een tweede gaatje en herhaal a en b. Waar de lijnen elkaar snijden ligt het zwaartepunt.
- Je kunt op twee manieren controleren of je het zwaartepunt goed hebt bepaald.
 - Maak een derde gaatje en herhaal a en b. De derde lijn moet door het snijpunt van de eerste twee gaan.
 - Ga na of je het voorwerp in het zwaartepunt op de top van je wijsvinger kunt laten balanceren.

Stabiliteit, wegligging

Auto's moeten stabiel zijn. Ze mogen in bochten niet te veel overhellen. Voor hoge vrachtwagens bestaat zelfs het risico op kantelen. Je kunt een auto stabiel maken...

- door het steunvlak groot te maken. Hoe verder de voorwielen uit elkaar staan (dus ook de achterwielen), hoe stabiel de auto.
- door de auto zó te bouwen dat het zwaartepunt laag ligt.



Race- en sportwagens zijn dus breed en laag. Daardoor hebben ze een goede wegligging.

Bovenstaande geldt natuurlijk niet alleen voor auto's, maar voor alle voorwerpen. Verder nog dit: als het zwaartepunt van een voorwerp niet boven het steunvlak ligt, dan kantelt het voorwerp.

Opgaven

Construeren betekent *maken*. In de mechanica betekent het ook: *heel nauwkeurig tekenen*. Met een scherp geslepen potlood en een geodriehoek dus.

Bij opgaven met een hokje om het nummer hoort een werkblad, achter in dit dictaat.

11. Leg uit dat een formule-1 racewagen een betere wegligging heeft dan een bestelbusje.

12. Hiernaast zie je een lege wijnfles, een half vol glas en een lepel.

- Bepaal in de figuren (op het werkblad) zo nauwkeurig mogelijk het zwaartepunt van elk voorwerp.

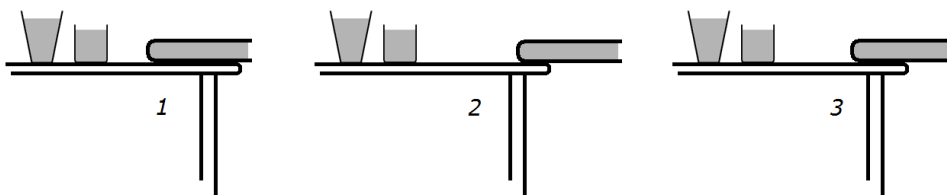


13. De massa van een koffer met inhoud is 2,5 kg. De inhoud van de koffer ligt op de bodem. Eerst staat de koffer op de grond, dan til je hem op en houd je hem stil aan je hand.

- Construeer in de linkerfiguur de zwaartekracht en de normaalkracht op de koffer met inhoud. Kies een handige krachtenschaal.
- Construeer in de rechterfiguur de zwaartekracht en de spierkracht op de koffer met inhoud. Kies een handige krachtenschaal.

14. Je hebt een hond aan de lijn. De hond heeft een massa van 16 kg. Zie de figuur op het werkblad.

- Construeer de zwaartekracht op de hond. Schat de ligging van het zwaartepunt van de hond en kies een handige krachtenschaal.
- Construeer de kracht die de lijn op de hond uitoefent. Schat de grootte van de kracht en kies een handige krachtenschaal.



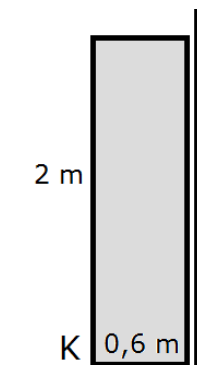
15. In de drie figuren hierboven zie je een tafel met twee gevulde drinkglazen en een boek.

- Leg uit welk glas het makkelijkst kan omvallen.
- Leg uit dat het boek in figuur 1 stabiel ligt en in figuur 2 valt.
- Ligt het boek in figuur 3 stabiel?

E 16. Kast

Een kast staat op de grond, tegen een muur. In de figuur staan de afmetingen.

- Bepaal de ligging van het zwaartepunt van de kast. Je wilt de kast naar voren kantelen om punt K.
- Teken de stand van de kast als hij nog nét niet omvalt.
- Maak een tekening en bereken of meet hoe groot dan de hoek is tussen de bodem van de kast en de vloer.



6 Krachten samenstellen

Twee of meer krachten op één voorwerp

De auto van je buurman start niet. Hij vraagt of je wil duwen. Dat lukt je nauwelijks, dus je vraagt hulp aan een paar vrienden. Samen krijgen jullie de auto wel op gang. Jullie spierkrachten werken samen en versterken elkaar.

Op een sportdag van school ben je aan het touwtrekken. Je tegenstander is even sterk als jij. Wat je ook doet, het lukt je niet van hem te winnen. Jullie spierkrachten werken elkaar tegen en verzwakken elkaar. Sterker nog, ze heffen elkaar zelfs op, want het touw komt niet in beweging.

Meestal werken er twee of meer krachten tegelijk op een voorwerp. Soms versterken die krachten elkaar, soms verzwakken ze elkaar juist. In zulke gevallen werk je vaak met de *nettokracht*. Die noem je ook wel de *resultante*.

De nettokracht of resultante is de denkbeeldige kracht die in zijn eentje hetzelfde doet als de afzonderlijke krachten samen.

Als de resultante op een voorwerp nul is dan zeg je: 'de krachten heffen elkaar op', of 'er is evenwicht'. Er zal dan niets met het voorwerp gebeuren.

Opgaven

17. Een leerling met een massa van 40 kg staat op de grond.
- Noem de twee krachten die op de leerling werken.
 - Maak een schematische tekening van de situatie. Teken ook de krachten.
 - Bereken de grootte van de twee krachten.
 - Bereken de grootte van de resultante.

18. Auto

De auto hiernaast wil niet starten. Daarom duw je, met een kracht van 50 N. De rolweerstand is maximaal 100 N, de luchtweerstand is bij heel kleine snelheden vrijwel nul.

- Leg uit dat de auto niet in beweging komt. Een voorbijganger schiet te hulp. Die duwt mee, met 60 N.
- Construeer (op het werkblad) jouw spierkracht, de spierkracht van de voorbijganger en de rolweerstand.
- Bepaal de grootte en de richting van de resultante.
- Leg uit of de auto met hulp van de voorbijganger wél in beweging komt.



19. Blokje aan veer

Een blokje van 100 g hangt stil aan een veer. Zie de figuur hiernaast.

- Bereken de grootte van de zwaartekracht op het blokje.
- Er werkt nog een tweede kracht op het blokje. Welke is dat?
- Bereken de grootte van die tweede kracht.
- Bereken de grootte van de resultante.
- Construeer op het werkblad de twee krachten die op het blokje werken.



20. Fietsen

Je fietst. Je spierkracht is 25 N. De fiets staat twee keer op het werkblad.

- Teken in de bovenste figuur op het werkblad je spierkracht. Neem als aangrijpingspunt de achteras van de fiets. Kies een handige krachtenschaal.

Je hebt tegenwind. De windkracht is 10 N.

- Teken in dezelfde figuur de windkracht, op dezelfde schaal. Neem als aangrijpingspunt het midden van je lichaam.
- Bepaal de grootte en de richting van de resultante.

Je fietst terug. Je spierkracht blijft 25 N. Nu heb je 10 N windkracht mee.

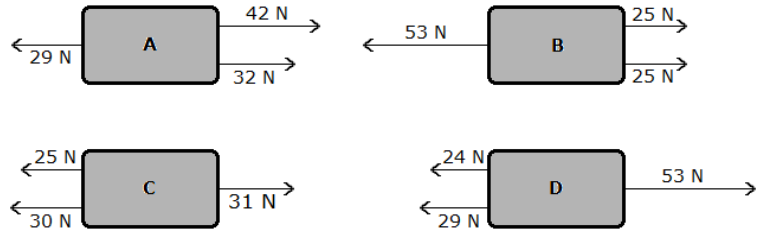
- Teken in de onderste figuur op het werkblad je spierkracht en de windkracht. Neem dezelfde krachtenschaal als bij vraag a en b.
- Bepaal de grootte en de richting van de nieuwe resultante.
- Er werken nog drie andere krachten op de fietser. Welke zijn dat?



21. Vier blokjes

Op elk van de vier blokjes hiernaast werken drie krachten.

- Bepaal steeds grootte en richting van de resultante.



22. Trampoline

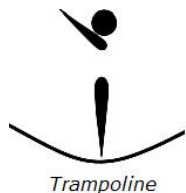
Hier linksonder zie je een pictogram van een atleet op een trampoline.

- Noem de twee krachten die op de atleet werken.
- Bereken de grootte van de twee krachten. Schat de massa van de atleet.
- Bereken de grootte van de resultante.

23. Proef 5: de zwevende spijker

Je hebt een spijker die met een touwtje aan een plastic plaatje vastzit. Je hebt ook een magneet. Nu kun je met de magneet de spijker laten zweven. Zie de middelste foto hieronder.

- Welke krachten werken er op de zwevende spijker? (Het zijn er drie).
- Leg uit welke kracht de sterkste is.
- Construeer de krachten op het werkblad. Denk om de schaal.
- Leg uit hoe groot de resultante is.



De zwevende spijker



Punaises

7 Druk

Een punaise duw je makkelijk in een prikbord. Je duim niet, ook al duw je veel harder. Dat komt doordat de punaise een scherpe punt heeft. Preciezer gezegd: doordat het oppervlak van de punt heel klein is. Je spierkracht wordt dus op een heel klein oppervlak geconcentreerd. Het oppervlak van je duim is veel groter, zodat je spierkracht juist verdeeld wordt.

Omdat het effect van een kracht ook wordt bepaald door de oppervlakte waarop de kracht werkt, is de grootheid *druk* bedacht.

Druk (p) is kracht per oppervlakte-eenheid.

De eenheid van druk is Pascal (Pa). 1 Pa = 1 N/m².

In formule: $p = \frac{F}{A}$

Opgaven

24. Hierboven staat de goede formule voor druk. Hieronder staan twee foute formules, a en b.

a. $p = F \cdot A$ b. $p = \frac{A}{F}$

- Leg van elke foute formule uit waarom hij fout is.

25. Leg met behulp van de grootheden oppervlakte en druk uit:

- waarom een rugtas brede draagbanden heeft en geen smalle.
- wat je doet als je een broodmes slijpt.
- hoe zware vrachtwagens vol met zand toch over modderige bouwgrond kunnen rijden.
- waarom je niet met naaldhakken over een parketvloer moet lopen.
- waarom je op ski's minder diep in de sneeuw zakt dan op schoenen.

26. Van de volgende twee beweringen is er één fout. Leg uit welke.
- Hoe groter de kracht, hoe groter de druk.
 - Hoe groter het oppervlak waarop de kracht werkt, hoe groter de druk.
27. Een volle verhuiskist heeft een massa van 28 kg en een bodemoppervlak van 0,8 m².
– Bereken de druk op de grond.
28. Sarah heeft een massa van 52 kg. Haar schoenzolen hebben samen een oppervlak van 320 cm².
- Bereken de zwaartekracht op Sarah.
 - Bereken de druk die ze op de grond uitoefent.
Ze gaat op één been staan.
 - Leg uit (zonder berekening dus) hoe groot nu de zwaartekracht op Sarah is.
 - Leg uit hoe groot nu de druk op de grond is.
29. Reken om:
- | | |
|--|---|
| a. 200 Pa = ... N/m ² | h. 400 N/cm ² = ... N/dm ² |
| b. 4,3 kPa = ... N/m ² | i. 0,17 N/cm ² = ... N/dm ² |
| c. 681 mPa = ... N/m ² | j. 4200 N/dm ² = ... N/cm ² |
| d. 8600 Pa = ... N/cm ² | k. 152 N/dm ² = ... N/cm ² |
| e. 9250 N/m ² = ... N/cm ² | l. 8000 Pa = ... N/cm ² |
| f. 40 N/cm ² = ... N/m ² | m. 4,6 N/cm ² = ... kPa |
| g. 0,26 N/cm ² = ... N/m ² | n. 0,018 kPa = ... N/dm ² |
30. Auto
Een auto van 1050 kg (inclusief bestuurder) staat op vier banden met elk een steunoppervlak van 85 cm².
- Bereken het oppervlak waarop de auto steunt in m².
 - Bereken de druk op de weg.
- E 31. De zolen van je schoenen hebben elk een oppervlak van 250 cm². Als je staat oefen je op de grond een druk van 9800 Pa uit.
- Bereken het oppervlak waarop je steunt in m².
 - Bereken de kracht die je op de grond uitoefent.
 - Bereken je massa.
- E 32. Een baksteen van 2,0 kg meet 21x10x6,0 cm.
- Leg uit op welk zijvlak je de baksteen moet leggen voor een zo klein mogelijke druk op de grond.
 - Bereken die kleinste druk.
 - Leg uit op welk zijvlak je de baksteen moet leggen voor een zo groot mogelijke druk op de grond.
 - Bereken die grootste druk.



33. Punaise en prikbord

De punt van een punaise heeft een oppervlak van 0,05 mm². Je duwt hem met een kracht van 2,5 N in een prikbord.

a. Bereken de druk van de punaise op het prikbord, in N/mm².

Nu duw je met dezelfde kracht de binnenkant van je duim tegen het prikbord. Die binnenkant heeft een oppervlak van 1,2 cm².

b. Leg uit of de druk van je duim op het prikbord groter is dan die van de punaise, of juist kleiner.

c. Bereken de druk van je duim op het prikbord, ook in N/mm².



Twee vragen:

- Is de druk op de vloer groot of juist klein?
- En de druk van de vloer op de voeten van de ballerina's?

8 Kracht en vervorming. De veerconstante

Elastische en plastische vervorming

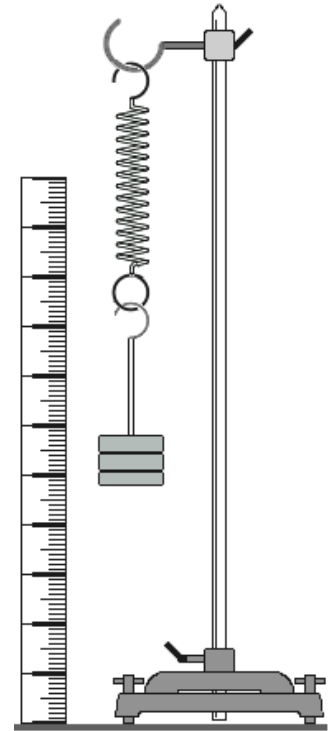
Kracht kan voorwerpen vervormen. Als het voorwerp na de werking van de kracht weer terugkeert naar zijn oorspronkelijke vorm, is de vervorming tijdelijk. Tijdelijke vervormingen noem je ook *elastische* vervormingen. Blijvende vervormingen heten ook *plastische* vervormingen.

Kracht en uitrekking

Als je een schroefveer niet te ver uitrekt of induwt is de vervorming elastisch. Na de kracht krijgt de veer zijn oorspronkelijke afmeting weer terug. In deze paragraaf onderzoek je het verband tussen de kracht op een schroefveer en de uitrekking van die veer. Dat is een verband tussen *oorzaak* en *gevolg*.

Proef 6, onderzoek: de veerconstante

- Neem een schroefveer, een statief met ophanghaak, een liniaal en een set stapelgewichtjes met elk een massa van 50 g.
- Hang de veer aan de haak. Meet de lengte van de onbelaste veer.
- Hang aan de veer eerst één schijfje en meet de nieuwe lengte. Herhaal dat met twee schijfjes, dan met drie, enzovoorts. Noteer alle metingen in een tabel.
- Bereken voor elke meting de kracht (F), de uitrekking (u) en F/u . Noteer je berekeningen in een tweede tabel.
- Maak een grafiek van de veer, met horizontaal de uitrekking en verticaal de kracht.
- Neem een tweede veer, wat sterker (stugger) of minder sterk dan de eerste. Herhaal b t/m e, nu voor veer 2. Maak de grafiek van veer 2 in hetzelfde assenstelsel.



Conclusies uit proef 6. Recht evenredig

Voor elke veer geldt: de veerkracht en de uitrekking veranderen gelijk op. Dat betekent:

- Als de kracht groter wordt, dan wordt de uitrekking even veel keer groter.
- Kracht gedeeld door bijbehorende uitrekking geeft steeds dezelfde uitkomst.
- De grafiek van kracht tegen uitrekking is een rechte lijn door de oorsprong. Zo'n rechte lijn heeft een constant hellingsgetal.

Je vat deze drie conclusies zo samen:

Kracht en uitrekking zijn recht evenredig. Afgekort: $F \sim u$.

Veerconstante

De constante uitkomst van F/u noem je de *veerconstante*, afgekort met hoofdletter C . De veerconstante zegt hoe sterk (stug) de veer is. Elke veer heeft zijn eigen veerconstante. Hoe sterker (stugger) de veer, hoe groter de veerconstante. Met de veerconstante kun je de sterkte (stugheid) van verschillende veren zuiver vergelijken.

De veerconstante (C) van een veer geeft aan hoeveel newton kracht er nodig is om de veer een (denkbeeldige) uitrekking van 1 m (of 1 cm) te geven. De eenheid van de veerconstante is N/m of N/cm.

In formule: $C = \frac{F}{u}$

Grafiek, hellingsgetal

Je kunt de veerconstante ook uit de grafiek halen. Het hellingsgetal van de grafiek (de steilheid) is namelijk gelijk aan de veerconstante. Voor een nauwkeurige bepaling van de veerconstante uit de grafiek lees je de grafiek zo ruim mogelijk af.

De veerconstante meten met de computer

Je kunt de veerconstante ook met de computer meten. Je hebt dan nodig:

- Een afstandssensor. Die meet de uitrekking van de veer en zet de meetwaarde om in een bijpassend elektrisch signaal.
- Een krachtensor. Die meet de veerkracht en zet de meetwaarde om in een bijpassend elektrisch signaal.
- Een meetinterface. Die maakt de elektrische signalen geschikt voor de computer.
- Een meetprogramma, geïnstalleerd op de computer. Daarmee kan de computer de elektrische signalen van sensor en meetinterface combineren tot de veerconstante.

Opgaven

34. Op de vorige bladzij staat: 'Hoe sterker de veer, hoe groter de veerconstante'.

- Leg uit dat deze bewering klopt met de formule voor de veerconstante.

35. Welke veer is de sterkste?

Je hebt drie veren.

Veer 1 heeft een veerconstante van 250 N/m.

Veer 2 heeft een veerconstante van 300 N/m.

Veer 3 heeft een veerconstante van 40 N/cm.

a. Leg uit welke veer de sterkste is.

b. Leg uit welke veer de zwakste is.

36. Berekeningen met de veerconstante

a. Een veer met een veerconstante van 0,82 N/cm rek je 4 cm uit.

- Bereken hoeveel kracht je daarvoor nodig hebt.

b. Op een veer van 1,6 N/cm oefen je een kracht van 5 N uit.

- Bereken de uitrekking.

c. Je hangt aan een veer van 4,2 N/cm twee massaschijfjes van elk 50 g.

- Bereken de uitrekking.

d. Een man van 75 kg staat op een personenweegschaal. Daarin zit een sterke veer, die door de zwaartekracht op de man 0,8 cm wordt ingeduwd.

- Bereken de veerconstante van deze veer.

e. Veer C rekt 2,8 cm uit door een kracht van 0,98 N. Veer D rekt 3,7 cm uit door een kracht van 2,9 N.

- Ga met een berekening na welke veer de sterkste is.

37. Grafieken

Hiernaast staan de grafieken van twee veren, A en B.

a. Bepaal zonder berekening welke veer de sterkste is: A of juist B.

b. Bepaal van beide veren de veerconstante.

38. De vering van auto's motoren en scooters

a. Auto's hebben vering. Motoren en scooters ook.

- Leg uit wat die vering doet.

b. Vergelijk de vering van een auto met het veertje in een balpen.

- Leg met behulp van de formule voor de veerconstante uit welke veer de grootste veerconstante heeft.

39. Veerunsters

Hiernaast staan nogmaals de veerunsters van opgave 4. Elke veer is bij de maximale kracht 7 cm uitgerekt.

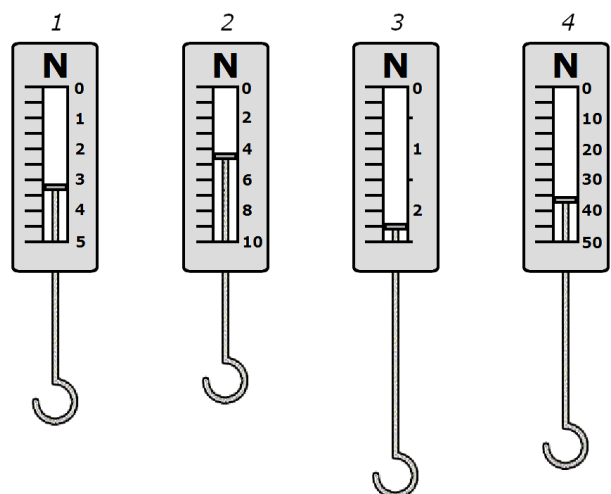
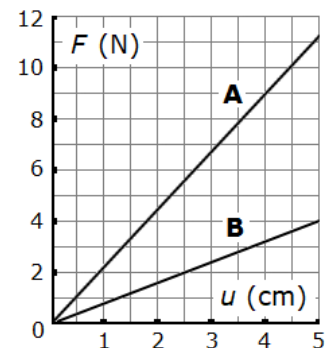
a. Bereken van elke veer de veerconstante.

b. Ga na dat de sterkste veer de grootste veerconstante heeft.

c. Teken op het werkblad de grafieken van veerunsters 1 en 2.

d. Ga voor elke grafiek na dat het hellingsgetal gelijk is aan de veerconstante van de veerunster.

Aanwijzing: Lees de grafieken zo ruim mogelijk af. Dat is nauwkeuriger.



9 Snelheid

Om in §10 wat meer over kracht en snelheidsverandering te kunnen zeggen moet je eerst precies weten wat snelheid is.

Snelheid

Iedereen weet wel zo'n beetje wat snelheid is. Zo'n beetje is in de natuurkunde niet genoeg. Daarom deze definitie:

Snelheid (v) is verplaatsing (Δs) per tijdsduur (Δt). De eenheid van snelheid is m/s.

In formule: $v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$

Snelheid wordt afgekort met de kleine letter v , van *velocity*. Plaats wordt afgekort met de kleine letter s , van *space*. De afkorting van tijd is de kleine letter t . Het voorvoegsel ' Δ ' (spreek uit: *delta*) komt uit het Griekse alfabet en betekent 'de verandering van'.

Δs betekent dus: de verandering van plaats. In één woord: de *verplaatsing*.

Δt betekent dus: de verandering van tijd. In één woord: de *tijdsduur*.

Eenparige beweging

Soms beweegt een voorwerp met constante snelheid. Een auto op een rechte snelweg bijvoorbeeld, die 100 km/h rijdt. Zo'n beweging noem je een *eenparige beweging*.

Een eenparige beweging is een beweging met constante snelheid: $v = \text{constant}$.

Opgaven

40. Muggen

Je slaapkamer is 5,4 m lang. Er zit een mug op de muur. Hij vliegt in 8 s met constante snelheid naar de andere kant van je slaapkamer.

a. Bereken de snelheid van de mug.

Een andere mug vliegt met 2,1 m/s.

b. Bereken hoeveel tijd deze mug nodig heeft om je slaapkamer over te steken.

41. Gemiddelde snelheid

Een lift stijgt in 12 s van de 1e naar de 4e verdieping. De afstand tussen deze verdiepingen is 9 m.

a. Bereken de gemiddelde snelheid van de lift.

b. Leg uit waarom in vraag a het woord 'gemiddelde' staat.

Een bloempot valt van 3 m hoogte uit een raam en is na 0,78 s op de grond.

c. Is de valsnelheid van de bloempot constant?

d. Is de valbeweging van de bloempot een eenparige beweging?

e. • Verbeter deze vraag: *Bereken de snelheid van de bloempot.*

• Beantwoord de verbeterde vraag.

42. M/s en km/h

Een auto rijdt met 25 m/s.

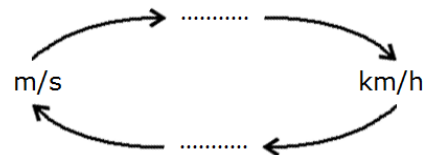
a. Bereken hoeveel m de auto in een uur aflegt.

b. Reken antwoord a om in km.

c. Vul in: 25 m/s = ... km/h.

d. Vul in: 1 m/s = ... km/h.

e. Vul de open plekken in het schema hiernaast in.



43. Reken om

a. 15 m/s = ... km/h

d. 120 km/h = ... m/s

b. 2,5 m/s = ... km/h

e. 50 km/h = ... m/s

c. 15 m/s = ... km/h

f. 15 km/h = ... m/s

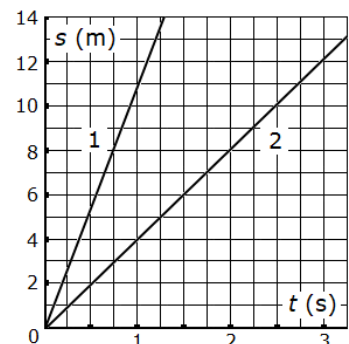
44. Fiets en scooter

Hiernaast zie de s, t -grafieken van een fiets en een scooter.

a. Leg uit of de fiets en de scooter eenparig bewegen.

a. Leg uit welke grafiek van de fiets is.

b. Bepaal met behulp van de grafieken de snelheid van de fiets en de snelheid van de scooter, in m/s en in km/h.

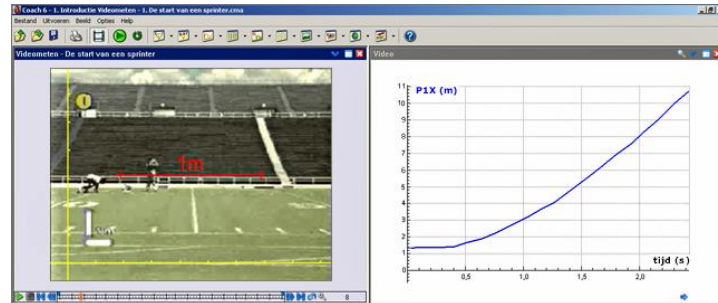


Metten aan beweging

Je kunt een beweging onderzoeken met een meetlat en een stopwatch, of met een snelheidsmeter. Handiger is het om de beweging te filmen en het filmpje dan met een speciaal computerprogramma te onderzoeken.

Proef 7: videometen

De start van een sprinter is gefilmd. Onderzoek de beweging met het onderdeel 'Videometen' van het programma 'Coach'. De instructies staan bij het filmpje.



Hierboven zie je een beeld uit het filmpje. Daarnaast staat de zogeheten *plaats,tijd-grafiek* (kortweg: *s,t*-grafiek) van de sprinter. Die is met de computer gemaakt. Je kunt op elk tijdstip de plaats van de sprinter aflezen, dat is hoeveel meter hij vanaf de start heeft afgelegd.

Opgaven

45. De startende sprinter

Leg met behulp van de *s,t*-grafiek van de startende sprinter uit...

- ...dat zijn beweging niet eenparig was.
- ...of zijn snelheid toenam of juist afnam.

46. Grafieken

Hier links onder zie je vier *s,t*-grafieken die bij de volgende bewegingen horen.

- Een auto die met constante snelheid rijdt.
- Een wandelaar die met constante snelheid loopt.
- Een auto die optrekt.
- Een auto die afremt.

a. Leg uit welke grafiek bij welke beweging hoort.

b. Leg uit welke bewegingen eenparig zijn.

47. Hier midden onder zie je de *s,t*-grafieken van een optrekkende auto en een optrekkende fiets.

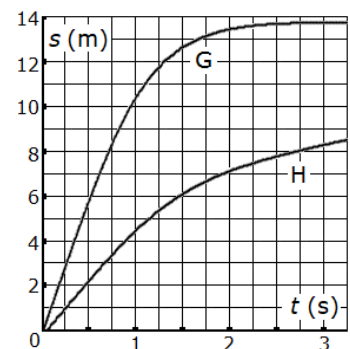
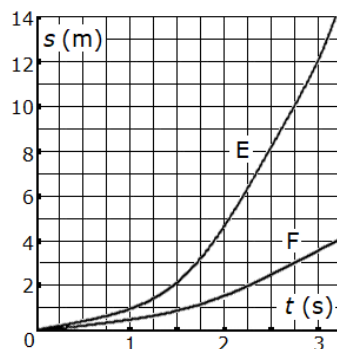
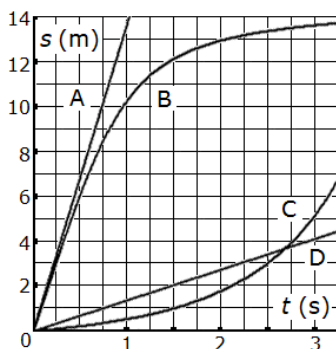
a. Leg uit welke grafiek van de auto is E of juist F.

b. Leg uit of de auto en de fiets eenparig bewegen.

48. Hier rechtsonder zie je de *s,t*-grafieken van twee remmende auto's.

a. Leg uit welke auto afremt tot stilstand: G of juist H.

b. Leg uit of de auto's eenparig bewegen.



49. Geluid

Geluid heeft een snelheid van 343 m/s (door lucht van kamertemperatuur).

- Je zit achter in de klas, op 10 m van je docent.
 - Bereken hoeveel s het stemgeluid van je docent nodig heeft om je oren te bereiken.
- Bereken in hoeveel s geluid een afstand van 1 km aflegt.

Als geluid tegen een muur terugkaatst en daarna opnieuw je oren bereikt, hoor je soms een *echo*

- Je staat 80 m van een muur. Je geeft een gil.
 - Bereken na hoeveel s je de echo hoort.

10 Kracht en beweging. Snelheidsverandering

Kracht kan niet alleen de vorm maar ook de snelheid van voorwerpen veranderen. Daarover gaat deze paragraaf. Zie ook de applet [Kracht en beweging](#) op de natuurkundesite.

Proef 8: monorail

Een glijder kan over een rechte, horizontale monorail bewegen. Zie de foto hieronder.

- Geef de glijder een zetje.
 - Waarnemingen: Eerst gaat de glijder bewegen. Dan neemt zijn snelheid af, die afname begint direct na het zetje. Na ongeveer 30 cm staat hij weer stil.
- De monorail is hol. Blaas er lucht door (met een elektrische luchtblazer, een soort omgekeerde stofzuiger). Die lucht komt er door de kleine gaatjes aan de zijkanten van de monorail weer uit. Zo glijdt de glijder niet meer over het staal van de monorail maar over een luchtkussen. Dat geeft veel minder weerstandskracht (schuifwrijving).

Geef de glijder opnieuw een zetje.

 - Waarnemingen: De glijder gaat weer bewegen. Nu neemt zijn snelheid nauwelijks af. Hij staat pas na een paar keer heen en weer gaan weer stil.



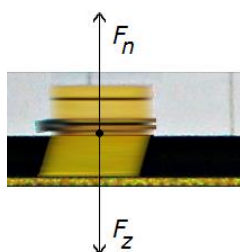
Monorail met glijder

Conclusies uit proef 8

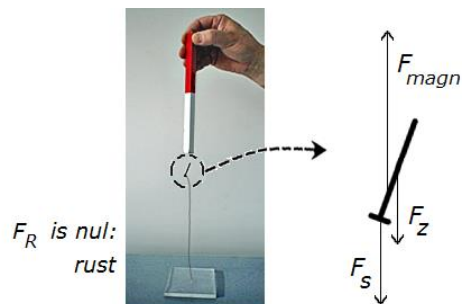
- Door de spierkracht gaat de glijder bewegen, door de weerstandskracht remt de glijder weer af.
 - Kracht is de oorzaak van snelheidsverandering
- Als de weerstandskracht heel klein is remt de glijder nauwelijks af.
 - Als er helemaal geen weerstandskracht zou zijn, dan zou de glijder met constante snelheid blijven bewegen.

Resultante kracht en snelheid

In de foto linksonder zie je de glijder over de monorail gaan. Omdat er lucht door de monorail wordt geblazen is de schuifwrijvingskracht vrijwel nul. Daarom is er geen vector van de weerstandskracht getekend. Je ziet wel vectoren van de zwaartekracht en de normaalkracht, want die werken natuurlijk wel. Omdat die elkaar opheffen is uiteindelijk de resultante kracht (F_R) op de glijder nul. Gevolg: de snelheid van de glijder is (vrijwel) constant.



F_R is nul:
eenparige beweging
(constante snelheid)



F_R is nul:
rust

Vergelijk dat met de zwevende spijker (proef 5, opgave 23). Je ziet hem hier rechtsboven nogmaals. De magnetische kracht omhoog is even sterk als de zwaartekracht en de spankracht samen, die beide omlaag werken. Ook op de spijker is de resultante kracht dus nul.

Gevolg: de spijker is in rust.

Rust, eenparige beweging, afremmen of juist versnellen – wat er met de snelheid van een voorwerp gebeurt wordt bepaald door de resultante kracht.

Als de resultante kracht op een voorwerp nul is dan zijn er twee mogelijkheden.

- Het voorwerp is in rust.
- Het voorwerp beweegt eenparig.

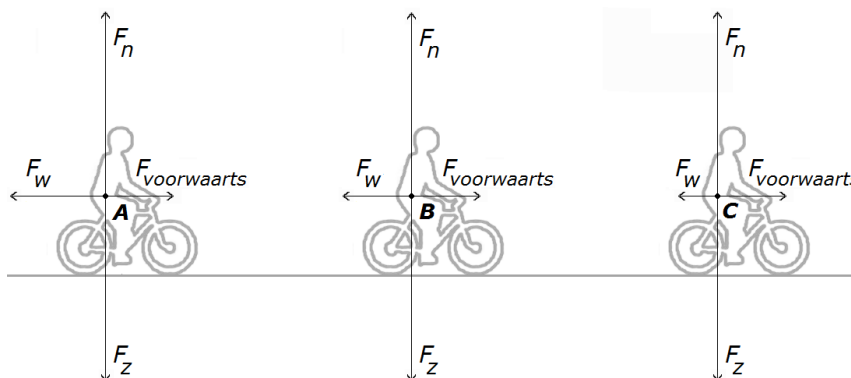
Als de resultante kracht op een voorwerp niet nul is dan zijn er twee mogelijkheden:

- Het voorwerp versnelt.
- Het voorwerp vertraagt.

Voorbeeld: een fietser

Kijk bijvoorbeeld naar de fietser, die je hieronder drie maal ziet. Op de fietser werken vier krachten: F_z , F_n , $F_{\text{voorwaarts}}$ en F_w . Voor het overzicht zijn ze vanuit hetzelfde punt getekend.

- F_z en F_n heffen elkaar steeds op.
- Voor fietser A geldt: F_w is groter dan $F_{\text{voorwaarts}}$, dus F_R wijst tegen de beweging in: vertraging.
- Voor fietser B geldt: F_w is even groot als $F_{\text{voorwaarts}}$, dus $F_R = 0$: constante snelheid.
- Voor fietser C geldt: F_w is kleiner dan $F_{\text{voorwaarts}}$, dus F_R wijst met de beweging mee: versnelling.



Opgaven

- Je laat een pen vallen.
 - Leg uit waardoor de valbeweging versneld is.
- Raceauto's zijn laag. Leg uit waarom.
- Bij het ontwerpen van nieuwe modellen gebruiken autofabrikanten en zogeheten *windtunnel*.
 - Leg uit waarom.
- Een racefietser zit altijd voorovergebogen. Zie de foto hiernaast.
 - Leg uit dat hij zo een hogere snelheid kan bereiken.



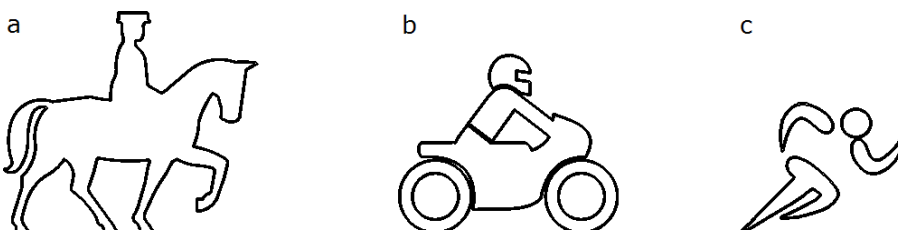
54. Vallende bal

Rechts zie je een vallende bal. De figuur toont acht posities van de bal, met steeds dezelfde tussentijd.

- Leg uit hoe je ziet dat de valbeweging versneld is.
- Teken op het werkblad in de onderste positie de krachten op de bal.

55. Drie bewegingen

- Hieronder zie je drie bewegingen.
- Teken op het werkblad de krachten.
 - Een paardrijder vermindert zijn snelheid.
 - Een motorrijder rijdt met constante snelheid.
 - Een renner versnelt vlak na de start.



11 Kracht en evenwicht. Draaiing

Arm en krachtmoment

Bij een draaibeweging zijn niet alleen de grootte en richting van de krachten belangrijk. Ook is van belang waar het aangrijpingspunt van de krachten is, preciezer gezegd: hoe ver het aangrijpingspunt van het draaipunt ligt. Daarom deze twee definities:

- De arm (r) van een kracht is de loodrechte afstand van de kracht tot het draaipunt.
- Het krachtmoment (M) van een kracht is het product van kracht (F) en arm (r):

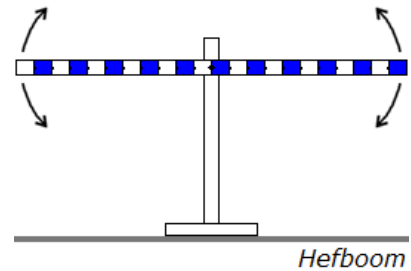
$$M = F \cdot r$$

De eenheid van moment is newtonmeter (Nm).

Proef 9: draai-evenwicht

Een zwakke kracht kan met een grote arm de draaiwerking van een sterke kracht compenseren. Daarover gaat deze proef.

- Neem een statief met een draaiasje, een hefboom en twee sets stapelgewichtjes.
- Hang de hefboom aan het asje.
- Hang eerst één gewichtje rechts van het draaiasje. Constater dat de hefboom nu rechtsom (met de klok mee) wil draaien.
- Hang dan één gewichtje links van het draaiasje. Constater dat de hefboom nu linksom (tegen de klok in) wil draaien.
- Probeer de draaiing linksom met de draaiing rechtsom te compenseren. Dat lukt alleen als je aan de twee krachten dezelfde arm geeft.
- Hang links twee gewichtjes en rechts één. Probeer de hefboom in evenwicht te brengen.
- Doe dit voor allerlei combinaties van gewichtjes: links twee en rechts drie, enzovoorts.
 - Waarneming: de hefboom is in evenwicht als $(F \cdot r)_{rechtsom} = (F \cdot r)_{linksom}$, dus als $M_{linksom} = M_{rechtsom}$.



Soms noem je een draaiing rechtsom positief en een draaiing linksom negatief. Dan kun je de waarneming ook anders opschrijven: $M_{rechtsom} + M_{linksom} = 0$.

Conclusie uit proef 9: de hefboomwet (of momentenwet)

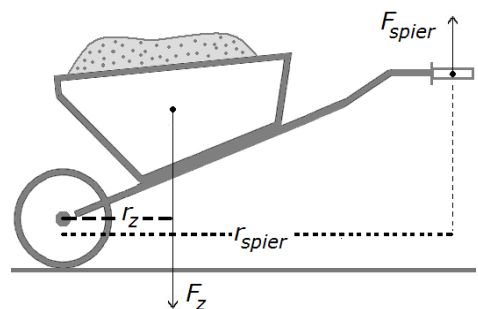
Er is draai-evenwicht als geldt:

$$M_{linksom} = M_{rechtsom} \quad \text{of} \quad M_{linksom} + M_{rechtsom} = 0.$$

Toepassing: de kruiwagen

Hiernaast zie je een kruiwagen met 50 kg zand. De zwaartekracht op het zand (F_z) is dus 490 N. De vectoren van F_z en F_{spier} zijn getekend. Je kunt in de figuur nameten dat de arm van F_{spier} 3,5 keer zo groot is als die van F_z .

Dus is een spierkracht van $490 : 3,5 = 140$ N voldoende om 490 N zand te verplaatsen.



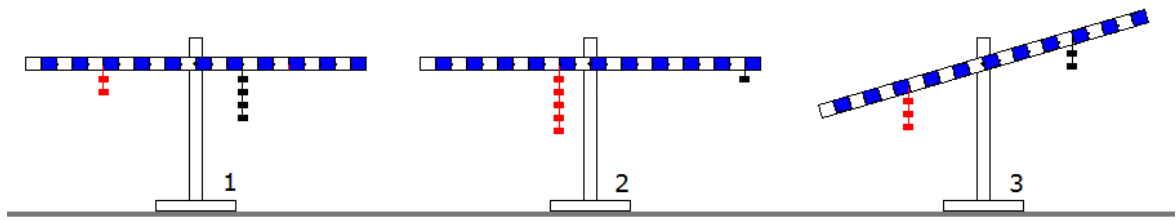
Opgaven

56. Applets

Op de natuurkundesite staan twee applets over draaiing.

- Ga met de applet [Draai-evenwicht \(2\)](#) de theorie van deze paragraaf nog eens na.
- De applet [Draai-evenwicht \(1, incl. game\)](#) is wat realistischer. Hier kun je ook een game spelen.

57. Hieronder staan drie hefboomen. Alle gewichtjes zijn even zwaar.
 a. Reken na dat hefboom 1 en 2 in evenwicht zijn, en hefboom 3 niet.



Op de vorige bladzij staat: ' Een zwakke kracht kan met een grote arm de draaiwerking van een sterke kracht compenseren'.

- b. Leg uit op welke van de drie hefboomen deze bewering het meest van toepassing is.

58. Evenwicht

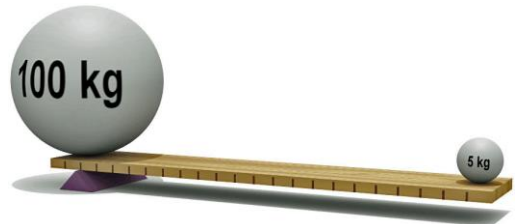
- Verklaar met behulp van de momentenwet de foto hiernaast.

59. Speeltuig

Abdel, massa 60 kg, zit op een wip, 2 m van het midden. Aan de andere kant zit Hendrik, massa 45 kg. De wip is in evenwicht.

- a. Bereken hoe ver Hendrik van het midden zit. Hendrik neemt zijn kleine broertje van 20 kg op schoot.

- b. Bereken hoe ver Abdel van het midden moet gaan zitten om de wip weer in evenwicht te brengen.



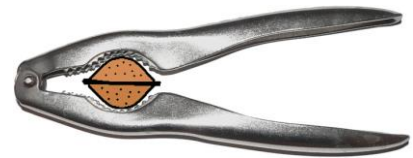
60. Notenkraker

Hiernaast zie je een notenkraker.

- a. Leg met behulp van de momentenwet de werking van de notenkraker uit.

Je knijpt met een spierkracht van 5 N

- b. Maak met behulp van de foto een schatting van de kracht op de noot.



E 12 Energie

Dit dictaat gaat over kracht. Kracht en vervorming, kracht en beweging, kracht en evenwicht. De woorden en 'kracht' en 'energie' worden in het dagelijks leven door elkaar gebruikt. In de natuurkunde mag dat beslist niet. Kracht en energie zijn twee verschillende grootheden, elk met een eigen eenheid. Omdat ze wel veel met elkaar te maken hebben besluit dit dictaat over kracht toch met een paragraaf over *energie*.

Energie

Wat energie is weet iedereen. Je hebt energie als je in staat bent om wat te doen: sporten, kranten bezorgen, nadenken. Maar met energie is het net als met kracht en met snelheid: in de natuurkunde heb je een precieze omschrijving nodig, een definitie:

Energie bezitten betekent: de mogelijkheid hebben om arbeid te verrichten.

De afkorting van energie is de hoofdletter *E*. De eenheid van energie is de *joule*, afgekort met de hoofdletter *J*.

Soorten energie

Energie komt in de natuur in verschillende soorten voor. Op de volgende bladzij staan er drie.

1. Veerenergie

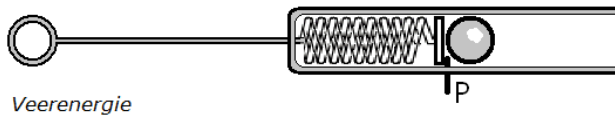
Als je in het apparaatje hier linksonder het palletje (P) wegtrekt, ontspant de veer zich en wordt de kogel weggeschoten. Een ingeduwde (of uitgerekte) veer heeft dus energie: veerenergie. Je berekent de veerenergie van een veer met veerconstante C en induwing/uitrekking u met deze formule:

$$E_v = \frac{1}{2} \cdot C \cdot u^2$$

2. Bewegingsenergie

Met een hamer kun je een spijker in een plank slaan. Hoe sneller je de hamer beweegt, hoe dieper de spijker in het hout verdwijnt. Een bewegend voorwerp heeft dus energie: bewegingsenergie. Je noemt die ook wel *kinetische energie*. Je berekent de kinetische energie van een voorwerp met massa m en snelheid v met deze formule:

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$



Kinetische energie



3. Zwaarte-energie

Soms is de grond niet stevig genoeg om een huis op te kunnen bouwen. Dan moeten er eerst lange palen de grond in worden geslagen. Dat noem je heien. In hei-installaties wordt een zwaar blok opgehesen, dat dan wordt losgelaten en op de kop van een heipaal valt. Die wordt dan de grond in geslagen.

Een heiblok met massa m dat over een hoogte h is opgehesen heeft dus energie: zwaarte-energie. Je berekent zwaarte-energie met deze formule:

$$E_z = F_z \cdot h \quad (= m \cdot 9,81 \cdot h)$$

Energie-omzetting

De ene soort energie kan in de andere worden omgezet.

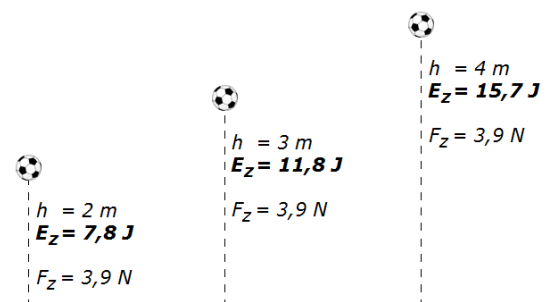
- Als het opgehesen heiblok valt, wordt de zwaarte-energie van het blok omgezet in kinetische energie.
- Als de veer zich ontspant, wordt de veerenergie van de veer omgezet in kinetische energie van het kogeltje. Bovendien wordt de energie van de veer overgedragen op het kogeltje.

Energie is wat anders dan kracht

Energie is wat anders dan kracht. Dat kun je eenvoudig zien als je zwaarte-energie vergelijkt met zwaartekracht. Neem bijvoorbeeld een bal van 400 g. In de figuur hiernaast zie je:

- Hoe hoger boven de grond, hoe groter E_z . Dat is ook begrijpelijk, want als je een bal van 4 m hoogte laat vallen, komt hij met een hardere klap op de grond dan wanneer je hem van 2 m laat vallen.
- F_z is op elke hoogte hetzelfde.

(Reken je de waarden van E_z en F_z maar na).



Opgaven

61. Formules

- a. Op de vorige bladzij staat de formule voor veerenergie: $E_v = \frac{1}{2} \cdot C \cdot u^2$
Hieronder staan twee foute formules, (1) en (2).

$$(1) E_v = \frac{1}{2} \cdot \frac{C}{u^2} \quad (2) E_v = \frac{1}{2} \cdot \frac{u^2}{C}$$

- Leg van elke foute formule uit waarom hij fout is.
- b. Voor zwaarte-energie geldt: $E_z = F_z \cdot h$
- Leg uit waarom deze formule fout is: $E_z = \frac{F_z}{h}$

62. Veerenergie

- a. Een veer met veerconstante 40 N/m is 2 cm ingedrukt.
– Bereken de veerenergie.
- b. Een andere veer met veerconstante 3,8 N/cm is 2,5 cm uitgerekt.
– Bereken de veerenergie.
- c. Een derde veer is 15 cm uitgerekt en heeft een veerenergie van 0,56 J.
– Bereken de veerconstante.

63. Bewegingsenergie

- a. Een auto en een fiets rijden beide met 20 km/h.
– Leg uit (zonder berekening dus) welk voertuig de grootste bewegingsenergie heeft.
- b. De auto plus bestuurder heeft een massa van 1050 kg, de fiets plus berijder heeft een massa van 90 kg.
– Bereken van beide de bewegingsenergie.
- c. Een voetbal heeft een massa van 400 g en een bewegingsenergie van 98 J.
– Bereken de snelheid van de voetbal, in m/s en in km/h.

64. Energie-omzetting

Je schiet een voetbal van 400 g 12 m omhoog.

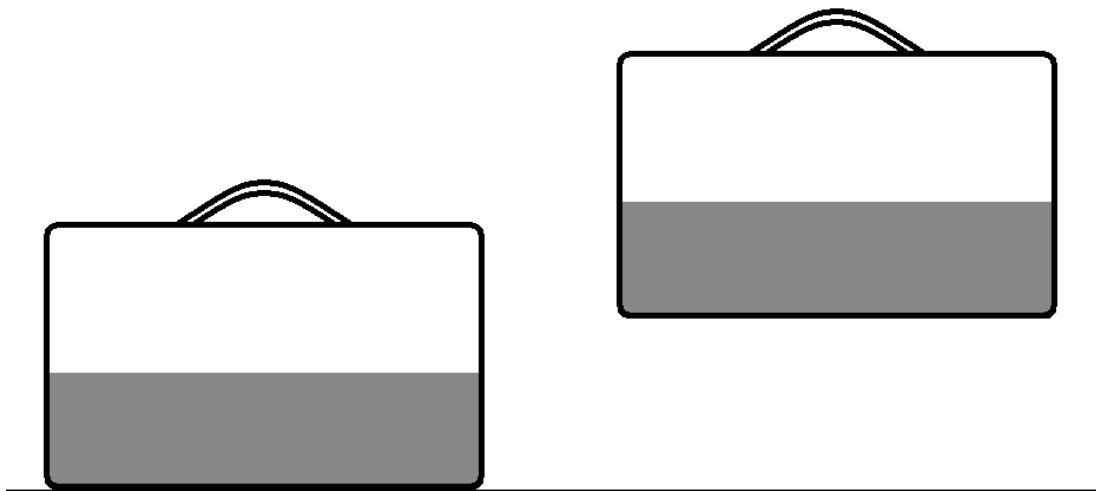
- a. Bereken de zwaarte-energie van de bal in het hoogste punt.
- b. Wat gebeurt er met de zwaarte-energie als de bal weer terugvalt?
- b. Bereken de kinetische energie waarmee de bal even later weer op de grond komt.
Aanwijzing: Neem aan dat de luchtweerstandskracht veel kleiner is dan de zwaartekracht.

Op de volgende bladzijden vind je bij een aantal opgaven een werkblad.

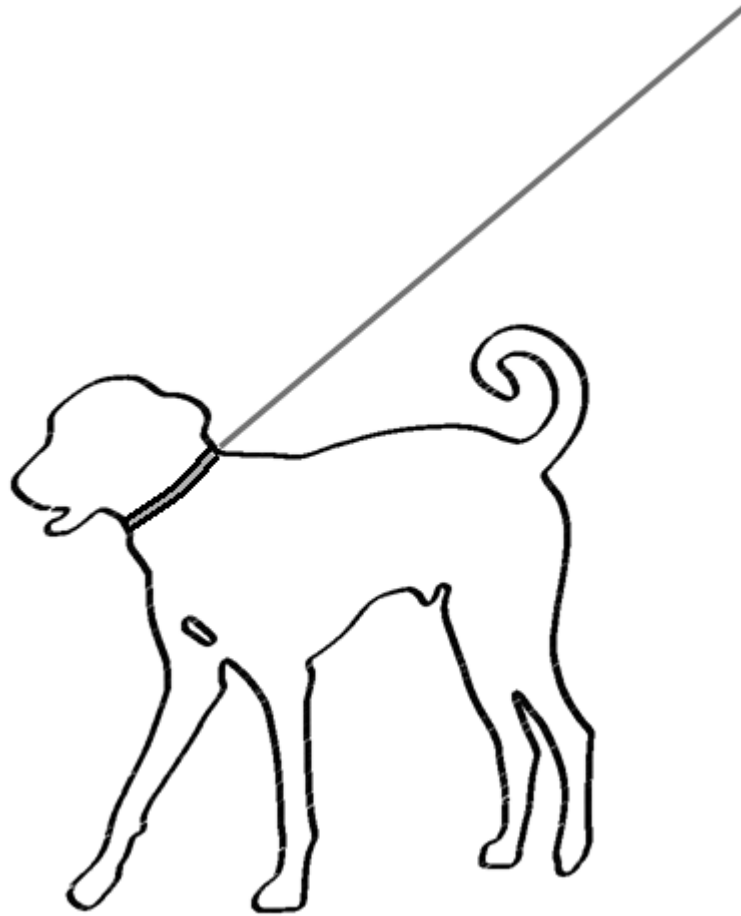
Werkblad bij opgave 12



Werkblad bij opgave 13



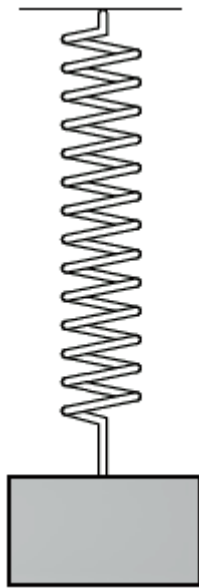
Werkblad bij opgave 14



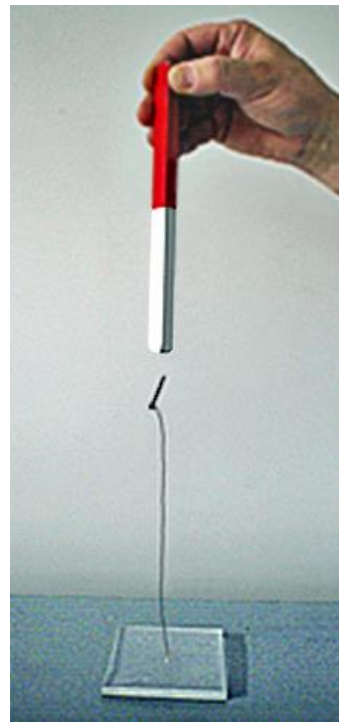
Werkblad bij opgave 18



Werkblad bij opgave 19



Werkblad bij opgave 23



Werkblad bij opgave 20



