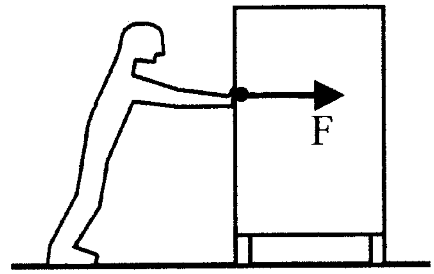
KRACHTEN

§ 1 Inleiding van krachten

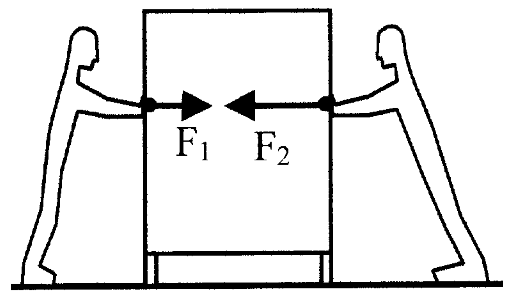
Het tekenen van krachten

Iwan duwt tegen een kast. Zie de figuur hiernaast. De kracht van Iwan op de kast wordt in de figuur met een pijl weergegeven. De pijl begint bij het zogenaamde *aangrijpingspunt* van de kracht. Het aangrijpingspunt is de plaats waar de kracht op het voorwerp werkt en wordt vaak met een dikke stip getekend. De richting van de pijl geeft de richting van de kracht aan. De letter F geeft aan dat de pijl een kracht voorstelt. F is een afkorting van "*force*" wat kracht betekent.



De lengte van de pijl

Jan duwt met kracht F_1 tegen een kast; Klaas met kracht F_2. Zie de figuur hiernaast. Omdat Klaas twee keer zo hard duwt wordt F_2 door een twee keer zo lange pijl weergegeven. Binnen een figuur met twee of meer krachten geldt in het algemeen dat de verhouding van de pijllengtes gelijk is aan de verhouding van de grootten van de bijbehorende krachten.



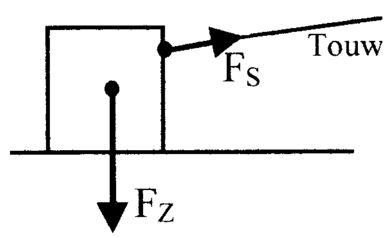
Newton als eenheid van kracht

Elke kracht heeft drie kenmerken namelijk een grootte, een richting en een aangrijpingspunt. De grootte van de kracht wordt uitgedrukt in *newton* (afgekort: N). Zo duwt Jan in het vorige voorbeeld bijvoorbeeld met een kracht van 100 newton en Klaas met een kracht van 200 newton. Korter opgeschreven is dit: $F_1 = 100$ N en $F_2 = 200$ N. De eenheid newton is niet zo groot. Zoals we verderop zullen zien is de benodigde kracht om een blokje van 100 gram op te tillen één newton.

Schaal bij het tekenen van krachten

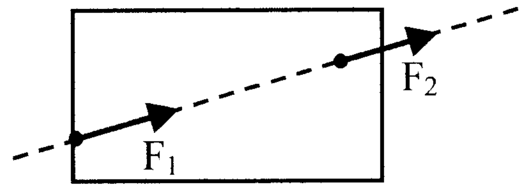
Bij het tekenen van krachten wordt vaak een schaal gebruikt. Bijvoorbeeld dat 1 newton overeenkomt met 2 centimeter. Dat wil zeggen dat een kracht van 1 N getekend wordt als een pijl met een lengte van 2 cm. En dat een kracht van 3 N als een pijl met een lengte van 6 cm. Enzovoort. Een korte notatie voor deze schaal is: 1 N ≡ 2 cm. Het teken ≡ betekent: "komt overeen met".

In de figuur hiernaast wordt een blok hout met behulp van een touw over de grond gesleept. In de figuur zijn twee krachten die op het blok werken getekend. Dit zijn de zwaartekracht F_Z (= kracht waarmee de aarde aan het blok trekt) en de spankracht F_S (= kracht waarmee het touw aan het blok trekt). Stel dat voor deze krachten geldt: $F_Z = 10$ N en $F_S = 5$ N. Bij de schaal 5 N ≡ 1 cm moet de pijl van F_Z dan 2 cm lang zijn en de pijl van F_S 1 cm lang.



Aangrijpingspunt verschuiven langs de werklijn

Zoals hiervoor is besproken kan een kracht door een pijl worden voorgesteld. De **werklijn** van een kracht is de denkbeeldige (rechte) lijn die samenvalt met zijn bijbehorende pijl. In de figuur hiernaast stelt de onderbroken lijn de werklijn van kracht F_1 weer.

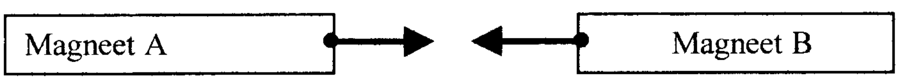


Experimenten wijzen uit dat de werking van een kracht niet verandert als het aangrijpingspunt van deze kracht langs de werklijn wordt verschoven. Een voorwaarde hierbij is natuurlijk wel dat de grootte en de richting van de kracht gelijk blijft. In de bovenstaande figuur kan kracht F_1 dus zonder gevolgen vervangen worden door kracht F_2.

Derde wet van Newton (actie = - reactie)

De derde wet van Newton (ook wel "actie = - reactie" genoemd) gaat over twee voorwerpen die krachten op elkaar uitoefenen. Deze wet luidt als volgt.
Als voorwerp A een kracht op voorwerp B uitoefent, oefent voorwerp B gelijktijdig een kracht op voorwerp A uit. De kracht van B op A is even groot maar tegengesteld gericht aan de kracht van A op B.

In de volgende twee voorbeelden wordt de derde wet van newton toegelicht.
In de onderstaande figuur trekken de magneten A en B elkaar aan. De kracht van B op A wijst naar rechts. De kracht van A op B wijst naar links. Beide krachten zijn even groot.



In de onderstaande linker figuur schopt een voet (A) een bal (B) weg. De kracht van B op A wijst naar links (zie middelste figuur). De kracht van A op B wijst naar rechts (zie rechter figuur).

Het minteken in "actie = - reactie" geeft aan dat beide krachten tegengesteld gericht zijn. Helaas is de aanduiding "actie = - reactie" misleidend. Want in het dagelijks leven komt de reactie pas als de actie al bezig is. De actiekracht en de reactiekracht werken echter volstrekt gelijktijdig.

Opgaven bij § 1

Opgave 1
Omschrijf de volgende begrippen.
a.
aangrijpingspunt van een kracht

b.
werklijn van een kracht

c.
schaal (bij het tekenen van een kracht)

Opgave 2
Welke drie kenmerken heeft een kracht?

Opgave 3
Wat is de eenheid van kracht?

Is deze eenheid groot of klein? Licht dit met een voorbeeld toe.

Opgave 4
Vul in. Het effect van een kracht verandert niet als het ______________________
van de kracht verschoven wordt langs zijn ____________________.

Opgave 5
Omschrijf de wet “actie = - reactie”.

Opgave 6
Je tekent een kracht van 5 N. Hoe lang moet de pijl dan zijn bij de schaal 1 N ≡ 3 cm?

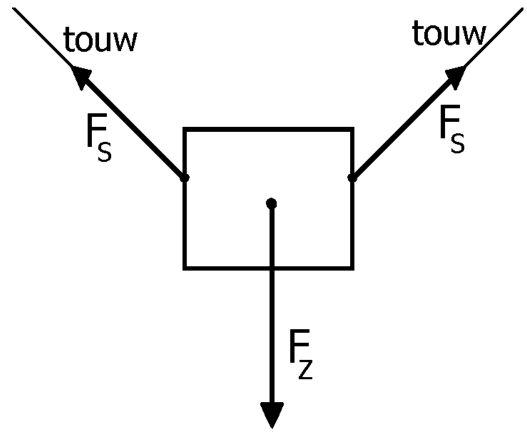
Opgave 7
Je tekent een kracht van 9 N. Hoe lang moet de pijl dan zijn bij de schaal 18 N ≡ 3 cm?

Opgave 8
Je tekent een 16 cm lange pijl. Hoe groot is de kracht bij de schaal 3 N ≡ 4 cm?

Opgave 9
Je tekent een 23 cm lange pijl. Hoe groot is de kracht bij de schaal 15 N ≡ 40 cm?

Opgave 10

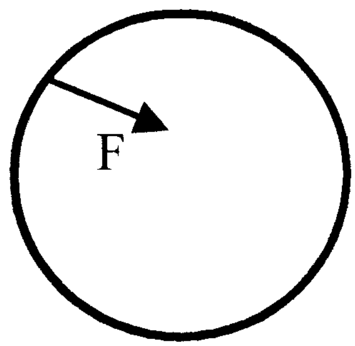
Een blok hangt aan twee touwen. Zie de figuur hiernaast. Op het blok werken drie krachten namelijk de zwaartekracht F_Z en twee spankrachten F_S.
Bepaal met een liniaal de lengte van de pijlen.



Bereken hoe groot deze krachten zijn (in newton) bij de schaal 100 N ≡ 2 cm.

Opgave 11

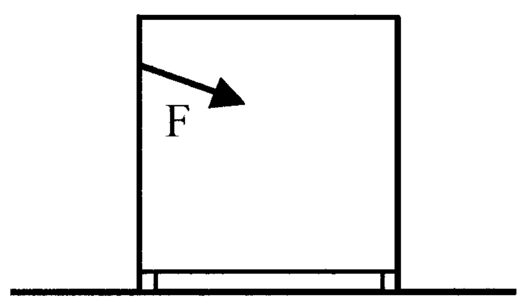
De kracht F werkt op een stalen ring. Zie de figuur hiernaast.



a.
Teken de werklijn van kracht F.
b.
Teken de kracht die op een andere plaats van de ring werkt maar toch hetzelfde effect zou hebben als kracht F.

Opgave 12

Jan staat links van een kast en probeert deze naar rechts te duwen. Piet staat rechts van de kast en probeert deze naar links te duwen. In de figuur hiernaast is de kast weergegeven en de daarop werkende kracht F van Jan. Teken in dezelfde figuur Piets kracht als beide krachten in evenwicht zijn (elkaar opheffen). Laat in de figuur zien hoe je aan je antwoord komt.

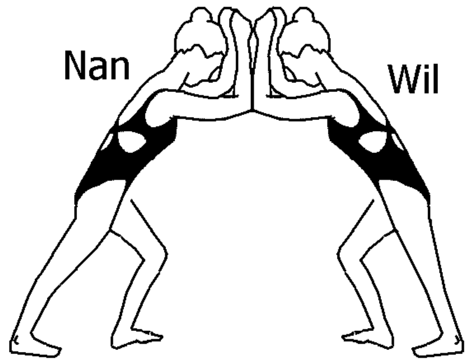


Opgave 13

Johan geeft Roel een kopstoot. Op welk hoofd werkt de grootste kracht? Kies hierbij uit de volgende mogelijkheden: a) Roels hoofd, b) Johans hoofd, c) op beide hoofden een even grote kracht.

Opgave 14

Nan en Wil willen kijken wie de sterkste van de twee is. Ze proberen elkaar naar achteren te duwen zoals in de figuur hiernaast is afgebeeld. Op een bepaald moment is Wil even afgeleid en wint Nan de duwwedstrijd. Op dat moment oefent Nan met haar ellebogen een kracht van 200 N op Wil uit.

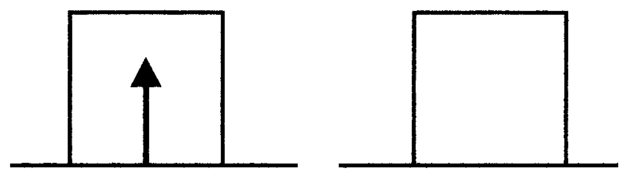


Jan zegt dat op datzelfde moment de ellebogen van Wil met minder dan 200 N tegen Nan duwen omdat Wil verliest.
Wat Jan zegt klinkt logisch maar is fout! Leg kort uit waarom het fout is.

Welke krachten op Nan en op Wil ziet Jan over het hoofd maar spelen toch een belangrijke rol bij de uitslag van de duwwedstrijd?

Opgave 15

Een stalen blok rust op een tafelblad. Zie de twee figuren hiernaast. In de linker figuur is de kracht getekend van de tafel op het blok. Teken in de rechter figuur de kracht van het blok op de tafel. Welke wet heb je hierbij gebruikt?



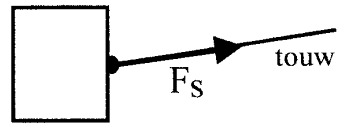
Opgave 16

Leg met behulp van de derde wet van Newton uit dat als een appel naar beneden valt, onze aarde eigenlijk omhoog valt. Waarom merken we daar in de praktijk niets van?

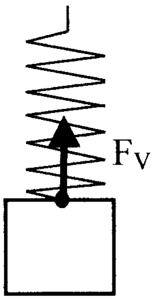
§ 2 Verschillende soorten krachten

Veel voorkomende krachten

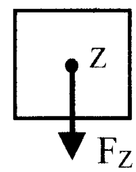
De spankracht F_S is de kracht waarmee een touw (of ketting, koord enzovoort) aan een voorwerp trekt. De spankracht werkt dus op het voorwerp en grijpt aan op de plaats waar het touw aan het voorwerp bevestigd is. De spankracht wijst altijd van het voorwerp af in de richting van het touw.



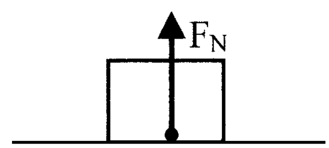
De veerkracht F_V is de kracht waarmee een spiraalveer aan een voorwerp trekt (of duwt). De veerkracht werkt dus op het voorwerp en grijpt aan op de plaats waar de veer aan het voorwerp bevestigd is. Als de veer uitgerekt is wijst de veerkracht van het voorwerp af; bij een ingedrukte veer wijst de veerkracht naar het voorwerp toe.



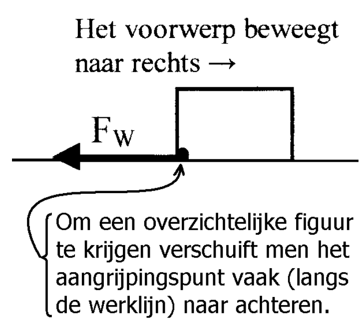
De zwaartekracht F_Z is de kracht waarmee de aarde (of een andere planeet) aan een voorwerp trekt. De zwaartekracht werkt dus op het voorwerp en grijpt in het zwaartepunt Z van het voorwerp aan. De zwaartekracht wijst altijd naar beneden.



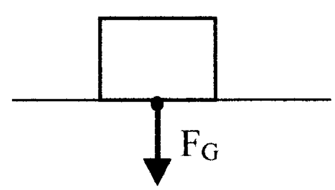
De normaalkracht F_N is de kracht waarmee een plat vlak zoals het ondersteunende grondvlak tegen een voorwerp aan duwt. De normaalkracht werkt dus op het voorwerp en grijpt aan waar vlak en voorwerp elkaar raken. De normaalkracht staat altijd *loodrecht* op het vlak.



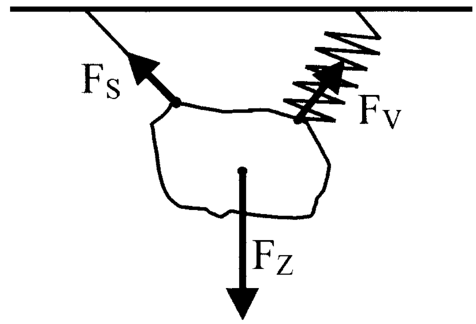
De wrijvingskracht F_W is de kracht op een voorwerp ten gevolge van wrijving tussen dat voorwerp en zijn omgeving. De wrijvingskracht wijst tegengesteld aan de bewegingsrichting van het voorwerp. Als een voorwerp over een ondergrond schuift, grijpt de wrijvingskracht op de onderkant van het voorwerp aan en wijst naar achteren.



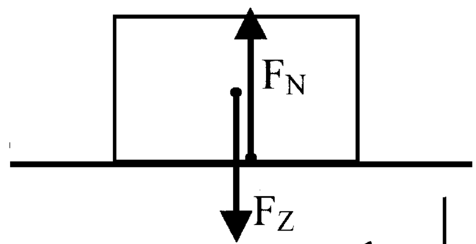
Het gewicht F_G van een voorwerp is een bijzondere kracht die eigenlijk niet in het bovenstaande rijtje van krachten thuis hoort. Deze kracht werkt namelijk NIET op het voorwerp zelf!!!! Het gewicht is de kracht die het voorwerp op zijn omgeving uitoefent zoals op het ondersteunende grondvlak of op het ophangtouw. Vallende voorwerpen zijn dus per definitie gewichtsloos.



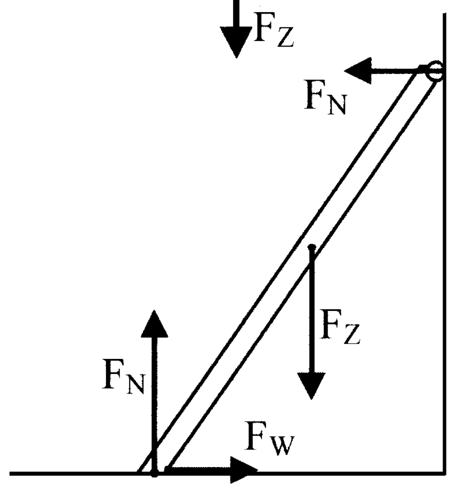
Voorbeeld
In de figuur hiernaast hangt een steen aan een touw en aan een veer. Er werken drie krachten op de steen. Deze krachten zijn ook in de figuur weergegeven.



Voorbeeld
In de figuur hiernaast ligt een blok op tafel. Er werken twee krachten op het blok namelijk de zwaartekracht en de normaalkracht. Om overlap van beide krachten te voorkomen is de zwaartekracht iets naar links en de normaalkracht iets naar rechts verschoven.

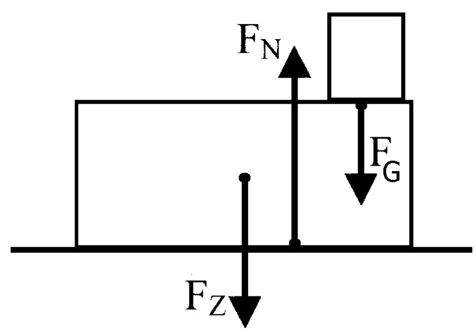


Voorbeeld
In de figuur hiernaast staat een ladder tegen de muur. Aan de bovenkant van de ladder bevinden zich wrijvingsloze wieltjes. Er werken vier krachten op de ladder. Deze zijn in de figuur weergegeven.



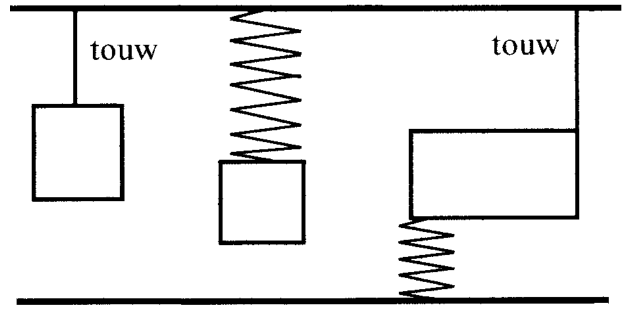
Merk op dat er een wrijvingskracht op de ladder werkt terwijl de ladder in rust is. Sommigen denken ten onrechte dat er alleen op *bewegende* voorwerpen een wrijvingskracht kan werken.
Merk ook op dat er twee normaalkrachten op de ladder werken namelijk van de vloer en van de muur.

Voorbeeld
In de figuur hiernaast ligt een blok op tafel. Op het blok ligt een tweede blok. Op het onderste blok werken drie krachten. Deze zijn in de figuur weergegeven.

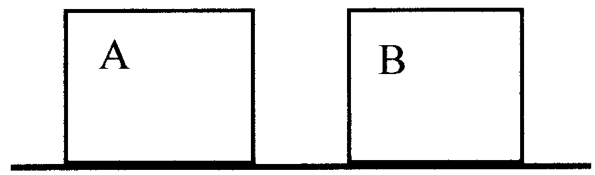


Merk op dat er op het bovenste blok ook krachten werken namelijk de zwaartekracht en de normaalkracht. Deze zijn echter bewust niet getekend. Het is namelijk af te raden om in één figuur de krachten op meerdere voorwerpen te tekenen (tenzij de voorwerpen op een zekere afstand van elkaar staan). Hiermee wordt verwarring voorkomen over of een getekende kracht op het ene of op het andere voorwerp werkt.

Opgaven bij § 2

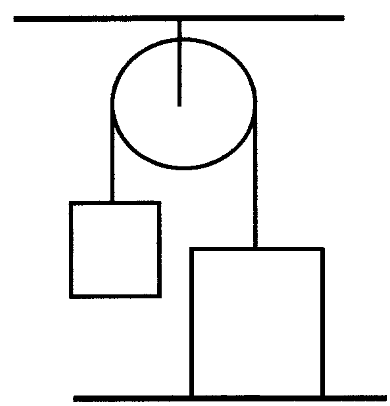


Opgave 1
In de figuur hiernaast zijn de drie rechthoekige blokken in rust. Teken bij elk blok alle krachten die hierop werken. Zet bij elke pijl het symbool voor deze kracht (zoals F_Z of F_S).

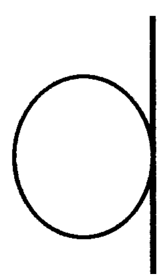


Opgave 2
In de figuur hiernaast rusten de blokken A en B op de grond.
Teken de twee krachten (met bijbehorende symbolen) die op blok **A** werken. Voorkom overlap van de pijlen door deze een beetje opzij te schuiven.
Teken de kracht (met bijbehorend symbool) die blok **B** op de grond uitoefent (het gewicht van het blok dus).

Opgave 3
In de figuur hiernaast staat een kunstwerk op tafel. Teken alle krachten (plus de bijbehorende symbolen) die op dit kunstwerk werken. Zet bij elke pijl het symbool voor deze kracht.



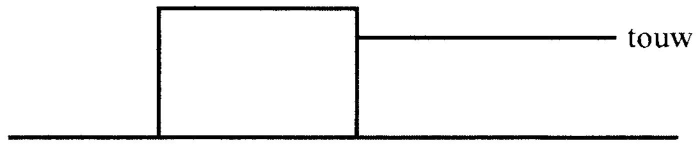
Opgave 4
Twee blokken hangen aan een katrol. Het rechter blok is het zwaarst en rust op de grond. Teken bij beide blokken de krachten die hierop werken (plus bijbehorende symbolen). Voorkom bij het zwaarste blok overlap van de pijlen door deze een klein beetje opzij te schuiven.



Opgave 5
In de figuur hiernaast is een tennisbal getekend op het moment dat deze tegen de muur weerkaatst. Teken de krachten (plus symbolen) die op dat moment op de tennisbal werken.

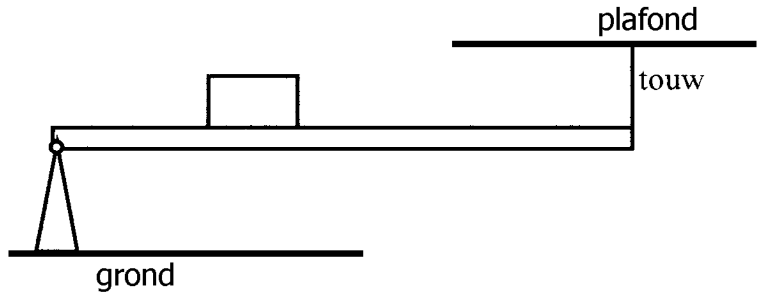
Opgave 6

In de figuur hiernaast wordt een blok met een constante snelheid over de grond naar rechts gesleept. Teken de vier krachten (met symbolen) die op het blok werken.
Om de figuur overzichtelijk te houden volgen hier twee adviezen.
1) Schuif het aangrijpingspunt van de wrijvingskracht zover mogelijk naar achteren.
2) Teken de zwaartekracht iets links en de normaalkracht iets rechts van het midden.



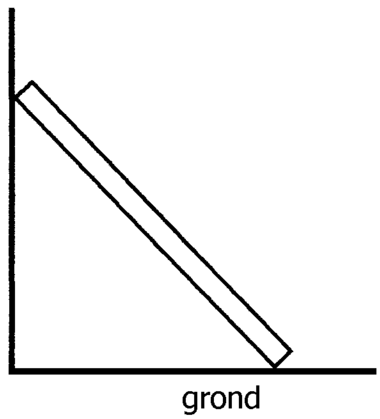
Opgave 7

Een horizontale balk kan rond zijn linker uiteinde draaien. Teken alle krachten (met symbolen) op deze balk.



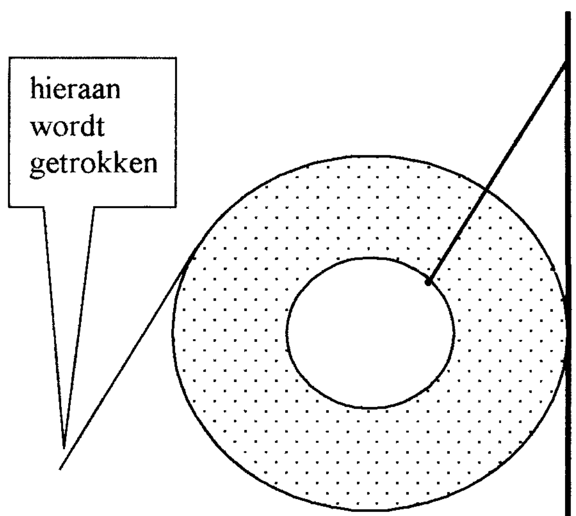
Opgave 8

Een plank staat tegen een gladde muur (dus zonder wrijving). Teken alle krachten (met symbolen) op de plank.



Opgave 9

Een WC-rol hangt in een houder aan de muur. Zie de figuur rechts. Aan het WC-papier wordt getrokken. Teken alle krachten (met symbolen) op de WC-rol.



§ 3 Massa en zwaartekracht

Overzicht van de grootheden en eenheden in deze paragraaf
In de onderstaande tabel staan de grootheden en eenheden die in deze paragraaf aan bod komen.

Grootheid	Eenheid
m = massa	kg = kilogram
F_Z = zwaartekracht	N = newton
g = gravitatieversnelling	N/kg = newton per kilogram

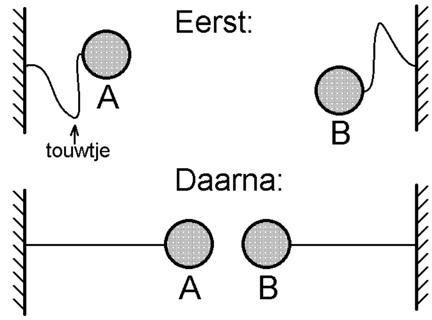
Massa
De massa van een voorwerp geeft aan hoe zwaar dat voorwerp is. De massa wordt uitgedrukt in *kilogram* (kg) of *gram* (g). De massa is ONafhankelijk van de plaats van dit voorwerp in het heelal. Neem bijvoorbeeld een leerling met een massa van 50 kg (korte notatie: m = 50 kg). Hij heeft dan een massa van 50 kg op aarde, maar ook op de maan en zelfs ver van ons zonnestelsel verwijderd.

Omdat de woorden "hoe zwaar" in de ruimte hun betekenis verliezen, is er een betere omschrijving van het begrip massa nodig. Zoals de volgende.
De massa van een voorwerp geeft aan in welke mate het voorwerp zich tegen snelheidsveranderingen verzet.
Met twee voorbeelden wordt deze omschrijving toegelicht.
1)
Een lege vrachtwagen kan veel sneller optrekken en remmen dan een volgeladen vrachtwagen. De enorme massa van de volle vrachtwagen verzet zich tegen snelheidsveranderingen.
2)
Een ruimteschip bevindt zich zeer ver van alle planeten en sterren. Een astronaut gooit een gevulde vuilniszak door een luik naar buiten (de ruimte in). Het kost de astronaut moeite om de zware vuilniszak een behoorlijke snelheid te geven omdat de vuilniszak massa heeft.

Opmerking
In het dagelijks leven wordt vaak het woord gewicht gebruikt terwijl de massa bedoeld wordt. In de natuurkunde is het gewicht echter iets anders namelijk de kracht van het voorwerp op zijn ondergrond (of op zijn ophangtouw). Zo kan een voorwerp wel gewichtloos zijn (bijvoorbeeld tijdens het vallen; dan is er geen ondergrond en geen ophangtouw) maar nooit massaloos.

Massa's trekken elkaar aan

Als massa's bij elkaar in de buurt zijn, dan trekken zij elkaar aan. Stel bijvoorbeeld dat twee zware kogels A en B in een ruimteschip zweven dat rondjes om de aarde maakt. Door hun onderlinge aantrekkingskracht bewegen de kogels dan naar elkaar toe. Zie de figuur hiernaast. De onderlinge aantrekking is sterker naarmate de massa's van A en B groter zijn en de afstand tussen A en B kleiner is.



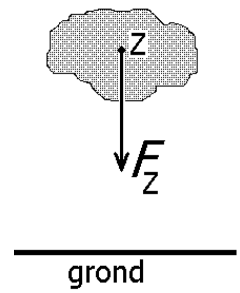
Stel dat kogel A onze aarde is en kogel B een voetbal die boven de grond wordt losgelaten. De voetbal valt dan door de aantrekking naar de aarde toe. De aantrekkingskracht op de voetbal wordt in die situatie de 'zwaartekracht' genoemd.

Zwaartekracht

De zwaartekracht op een voorwerp kan als volgt omschreven worden.

De zwaartekracht op een voorwerp is de kracht waarmee de Aarde of een ander hemellichaam aan dat voorwerp trekt.

De zwaartekracht heeft het symbool F_Z en grijpt in het zwaartepunt Z van het voorwerp aan. Zie de figuur hiernaast waarin de zwaartekracht op een steen is getekend.



Gravitatieversnelling

Onder de gravitatieversnelling (gravitatie = zwaartekracht) verstaan we het volgende.

De gravitatieversnelling is gelijk aan de zwaartekracht op een voorwerp per eenheid van massa (kilogram).

Bij het aardoppervlak werkt er op elke kilogram een zwaartekracht van 9,8 newton. Blijkbaar is de gravitatieversnelling dan 9,8 newton per kilogram. Dit wordt genoteerd als g = 9,8 N/kg. Jupiter trekt harder aan voorwerpen dan de aarde. Op Jupiter geldt namelijk: g = 25 N/kg.

De gravitatieversnelling verschilt van planeet tot planeet. Zie de onderstaande tabel.

Hemellichaam	Mercurius	Venus	Aarde	Maan	Mars	Jupiter	Zon
Gravitatieversnelling (N/kg)	3,7	8,9	9,8	1,6	3,7	25	274

De naam gravitatieversnelling slaat op de versnelling (= tempo waarin de snelheid toeneemt) van vallende voorwerpen. Daarom wordt de gravitatieversnelling ook wel valversnelling genoemd. Zo valt een voorwerp op aarde ongeveer zes keer zo snel als op onze maan. Dat komt omdat de aarde ook zes keer zo hard aan dat voorwerp trekt als de maan. Op de maan is g namelijk slechts 1,6 N/kg in plaats van 9,8 N/kg.

De zwaartekracht berekenen

Bij elke planeet of maan geldt dat de zwaartekracht op een voorwerp evenredig is met de massa van dat voorwerp. Laten we als voorbeeld onze eigen planeet **Aarde** nemen.
Op een massa van 1 kg werkt een zwaartekracht van 9,8 N.
Op een massa van 2 kg werkt een zwaartekracht van 2 x 9,8 N = 19,6 N.
Op een massa van 3 kg werkt een zwaartekracht van 3 x 9,8 N = 29,4 N.
Enzovoort.
In het algemeen kan de zwaartekracht met de volgende formule berekend worden.

$$F_Z = m \times g$$

Deze formule kan in twee andere vormen geschreven worden namelijk:

$$g = \frac{F_Z}{m} \qquad \text{en} \qquad m = \frac{F_Z}{g}$$

Voorbeelden

a)
Een voorwerp met een massa van 4,0 kg bevindt zich op aarde.
Bereken de zwaartekracht op het voorwerp.
Oplossing: $F_Z = m \cdot g = 4{,}0\ \text{kg} \cdot 9{,}8\ \text{N/kg} = 39\ \text{N}$

b)
Op een verre planeet bevindt zich een voorwerp met een massa van 2,0 kg.
Op het voorwerp werkt een zwaartekracht van 30 N.
Bereken de gravitatieversnelling van deze planeet.
Oplossing: $g = \frac{F_Z}{m} = \frac{30\ \text{N}}{2{,}0\ \text{kg}} = 15\ \text{N/kg}$

c)
Een voorwerp bevindt zich op de maan. De zwaartekracht op het voorwerp is 16 N.
Bereken de massa van het voorwerp.
Oplossing: $m = \frac{F_Z}{g} = \frac{16\ \text{N}}{1{,}6\ \text{N/kg}} = 10\ \text{kg}$

Opgaven bij § 3

Opgave 1
Geef twee omschrijvingen van de massa van een voorwerp.

Opgave 2
Je probeert een hamer met één vinger in balans te houden. Eerst ondersteun je de onderkant van de houten steel en is het zware (stalen) deel boven. Daarna ondersteun je juist het zware deel en wijst de steel naar boven. Welke manier is makkelijker? Tip: massa verzet zich tegen snelheidsveranderingen.

Opgave 3
Wat verstaan we onder de zwaartekracht op een voorwerp?

Opgave 4
Een steen op het maanoppervlak werd in het verleden door een Apollo-ruimtereis naar de aarde gebracht.
Veranderde de massa van de steen hierdoor? Zo ja, hoe?
Veranderde de zwaartekracht op de steen hierdoor? Zo ja, hoe?

Opgave 5
De planeten Uranus en Neptunus zijn bijna even groot (dezelfde diameter). De massa van Neptunus is echter zo'n 19% groter. Welke van de volgende beweringen is dan waar? a) Neptunus trekt iets harder aan voorwerpen dan Uranus. b) Neptunus trekt iets minder hard aan voorwerpen dan Uranus. c) Neptunus en Uranus trekken bijna even hard aan voorwerpen.

Opgave 6
Sommigen denken dat er in de ruimte nergens zwaartekracht is. Dat dit een misvatting is blijkt uit het volgende voorbeeld. De dampkring rond de aarde is ongeveer 100 kilometer dik. Daarbuiten spreken we over de ruimte. De zwaartekracht op een hoogte van 6378 kilometer (= straal van de aarde) boven het aardoppervlak is echter nog steeds 25% van de zwaartekracht op zeeniveau. En dan nu de vraag. Een astronaut ondervindt op zeeniveau een zwaartekracht van 800 N. Bereken zijn zwaartekracht op een hoogte van 6378 kilometer.

Opgave 7
Geef een voorbeeld van een situatie waarbij een voorwerp wel massa heeft maar er geen zwaartekracht op dit voorwerp werkt.

Opgave 8
Iris springt van een hoge ladder naar beneden. Op een bepaald moment is zij halverwege haar sprong. Welke van de volgende beweringen zijn dan waar? a) Haar massa is nul. b) Haar zwaartekracht is nul. c) Haar gewicht is nul.

Opgave 9
Omschrijf het begrip gravitatieversnelling op twee verschillende manieren.

Opgave 10
Bereken hoeveel keer zo hard de Aarde aan een kilogram trekt als de Maan.

Opgave 11
Op welke planeet kun je hoger springen: op de Aarde of op Mars? Licht je antwoord toe.

Opgave 12
Een voorwerp op aarde heeft een massa van 4,0 kg. Bereken hoe groot de zwaartekracht op dit voorwerp is.

Opgave 13
Op een voorwerp (op aarde) werkt een zwaartekracht van 895 N. Bereken zijn massa.

Opgave 14
Bereken de zwaartekracht op een voorwerp van 100 gram (op aarde). Rond dit af op een geheel getal.

Opgave 15
Op een vreemde planeet werkt er op een voorwerp met een massa van 2,3 kg een zwaartekracht van 46 N. Bereken de gravitatieversnelling op deze planeet.

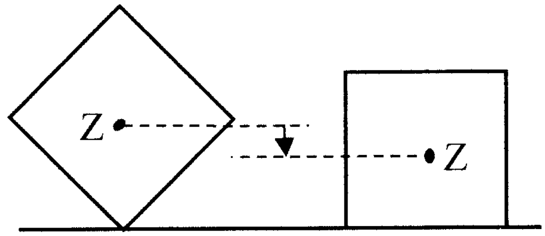
Opgave 16
Een voorwerp met een massa van 26 kg ligt op Mars. Bereken de zwaartekracht op dit voorwerp.

Opgave 17
De zwaartekracht op een voorwerp dat zich op Mercurius bevindt is 9,3 N. Bereken de massa van het voorwerp.

§ 4 Zwaartepunt

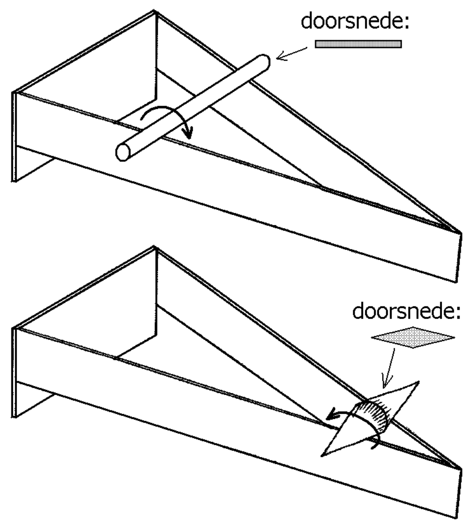
Zwaartepunt

Het zwaartepunt van een voorwerp is het punt waar de zwaartekracht op dat voorwerp aangrijpt. Als een voorwerp een zekere bewegingsvrijheid heeft, dan “zoekt” dit voorwerp altijd een plaats of stand uit waarbij het zwaartepunt zo laag mogelijk is. Bijvoorbeeld zal een kogeltje in een kom naar het laagste punt rollen en zal een kubus op één van zijn platte vlakken liggen. Zie de figuren hiernaast.



Naar boven rollen

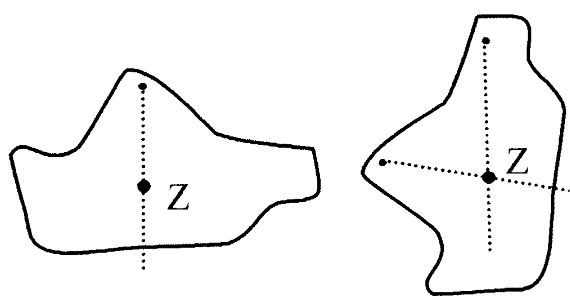
Ronde voorwerpen rollen van nature naar beneden. In de figuur hiernaast is echter een bijzondere situatie afgebeeld. Eerst wordt een ronde staaf op twee rails gezet (bovenste figuur). Zoals verwacht rolt de staaf naar beneden. Daarna wordt een voorwerp dat in beide richtingen taps toeloopt op de rails gezet (onderste figuur). Tot ieders verbazing rolt het voorwerp nu omhoog.



De verklaring hiervoor is het feit dat de rails hogerop verder uit elkaar liggen. Daardoor komt het tweede voorwerp dieper tussen de rails te liggen. Tijdens het omhoog rollen daalt het zwaartepunt van het voorwerp dus toch.

Het zwaartepunt van een plat voorwerp bepalen

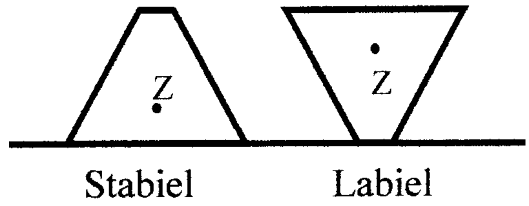
Als een plat voorwerp, zoals een schijf, in een punt draaibaar wordt opgehangen, zal zijn zwaartepunt precies onder het draaipunt komen te liggen. Dan bevindt het zwaartepunt zich namelijk zo laag mogelijk. Je kunt nu op het voorwerp een zogenoemde *zwaartelijn* tekenen. Dit doe je door vanuit het ophangpunt een verticale lijn naar beneden te trekken. Zie de stippellijn in de linker figuur hiernaast. Uiteraard ligt het zwaartepunt ergens op deze zwaartelijn.



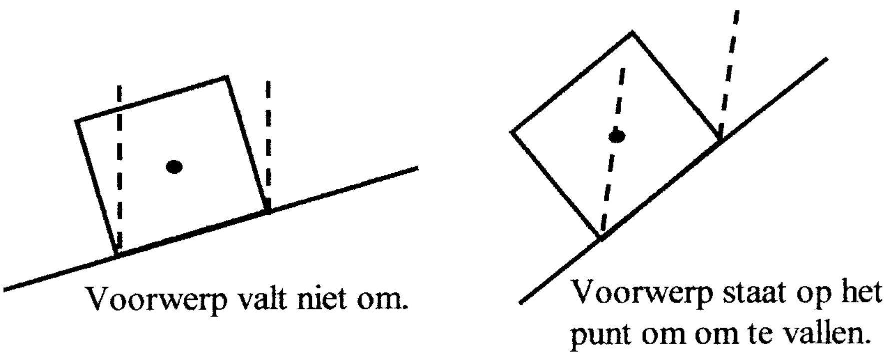
Als het voorwerp in een ander punt draaibaar wordt opgehangen, kan je een nieuwe zwaartelijn tekenen. Het zwaartepunt van het voorwerp bevindt zich dan in het snijpunt van beide zwaartelijnen. Zie de rechter figuur.

Stabiliteit van voorwerpen

We noemen een voorwerp stabiel als het niet snel omvalt en labiel als het juist wel snel omvalt. Een voorwerp is stabieler naarmate het steunvlak groter is en het zwaartepunt lager ligt. Zie de figuren hiernaast.

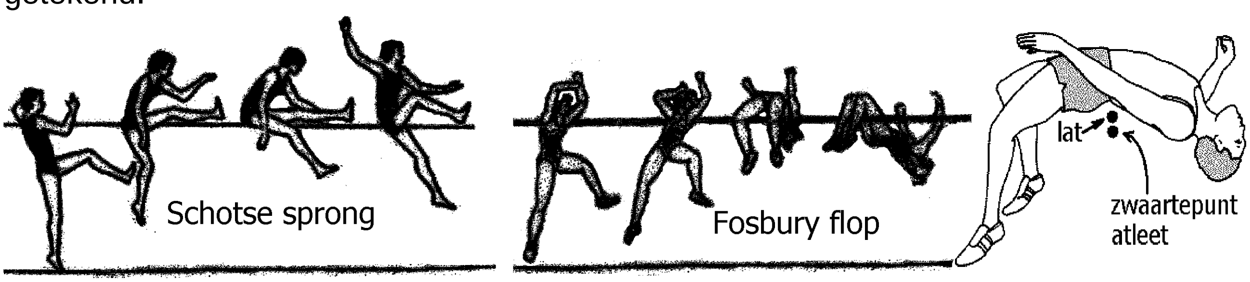


Om de stabiliteit van een voorwerp te testen kan dit op een hellend grondvlak gezet worden. Een voorwerp zal niet omvallen zolang het zwaartepunt in het gebied ligt tussen de denkbeeldige verticale lijnen door de uiterste steunpunten. Zie de onderstaande figuur.



Zwaartepunt bij hoogspringen

Bij atletiek speelt het zwaartepunt van het lichaam een grote rol. Zo zal een atleet bij hoogspringen zijn zwaartepunt zo laag mogelijk willen houden. Zie de onderstaande figuren waarin de ouderwetse Schotse sprong en de moderne Fosbury flop zijn getekend.



Bij de Schotse sprong komt het zwaartepunt van de atleet ver boven de lat uit. Bij de Fosbury flop komt het zwaartepunt gedurende de hele sprong niet boven de lat uit. In de meest rechtse tekening is dat weergegeven.

Opgaven bij § 4

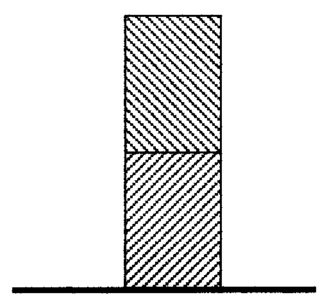
Opgave 1
Wat verstaan we onder het zwaartepunt van een voorwerp?

Opgave 2
Een voorwerp heeft vele zwaartelijnen. Elk ophangpunt heeft namelijk zijn eigen zwaartelijn. Toch hebben alle zwaartelijnen één ding gemeen. Wat is dat?

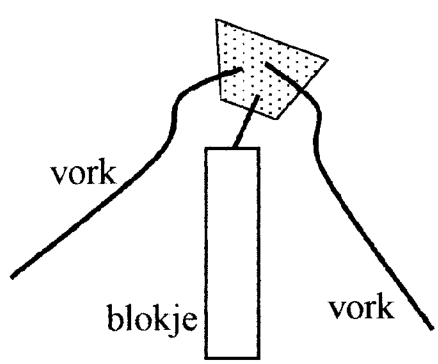
Opgave 3
Welke twee eigenschappen moet een stabiel voorwerp bezitten?

Opgave 4
Twee atleten, A en B, springen over een muur. Atleet A voert de Schotse sprong uit, atleet B de fosbury flop.
Bij welke atleet komt zijn zwaartepunt hoger (A of B)? ________
Welke atleet moet zich voor de sprong krachtiger tegen de grond afzetten (A of B)? __________

Opgave 5
Een massieve houten en een massieve ijzeren cilinder worden aan elkaar vastgeplakt. Zie de figuur hiernaast. Het geheel wordt op een vlakke ondergrond gezet. Moet het hout of het ijzer boven zitten om een maximale stabiliteit te verkrijgen? Licht je antwoord toe.

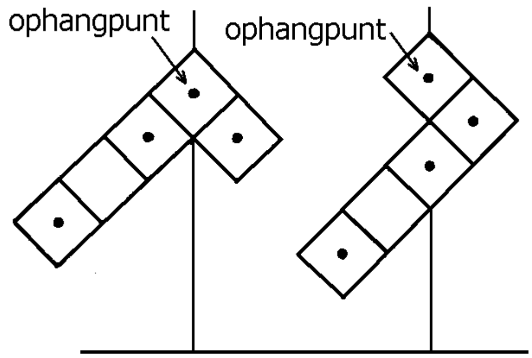


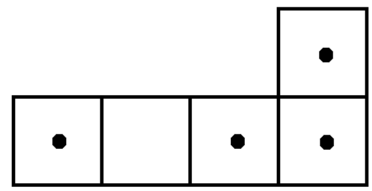
Opgave 6
In een kurk worden twee vorken geprikt. Zie de figuur hiernaast. In de onderkant van de kurk wordt een naald geprikt. Vervolgens wordt het geheel op een blokje gezet. Tot ieders verbazing valt het niet van het blokje af maar schommelt rond een bepaalde stand. Geef hier een verklaring voor.



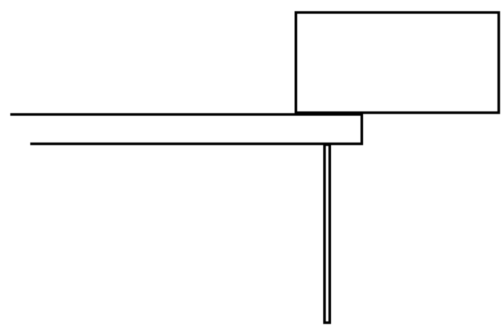
Opgave 7
In een L-vormige plaat zijn gaten geboord, waardoor de plaat op verschillende manieren aan een pen draaibaar kan worden opgehangen. De plaat is inhomogeen (de plaat heeft dus niet overal dezelfde samenstelling). In de bovenste twee figuren hiernaast zijn twee evenwichtsstanden van de plaat te zien.

In de onderste figuur is de plaat nogmaals afgebeeld. Geef in deze figuur de plaats van het zwaartepunt aan.

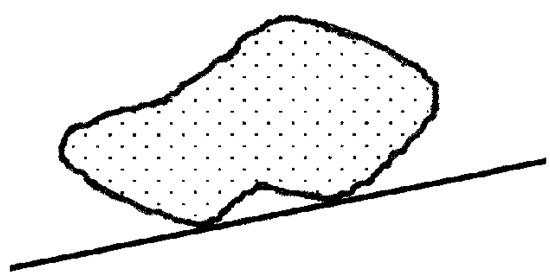




Opgave 8
Een doos met onbekende inhoud steekt een eind buiten de tafel uit. Zie de figuur hiernaast. Toch valt de doos niet.
a.
Geef in deze figuur aan in welk gebied het zwaartepunt van de doos met zekerheid moet liggen.
b.
Hoe zou het komen dat het zwaartepunt hier ligt?



Opgave 9
Een steen rust op een schuine ondergrond. Zie de figuur hiernaast. Geef in deze figuur aan in welk gebied van de steen zijn zwaartepunt met zekerheid moet liggen.



Opgave 10

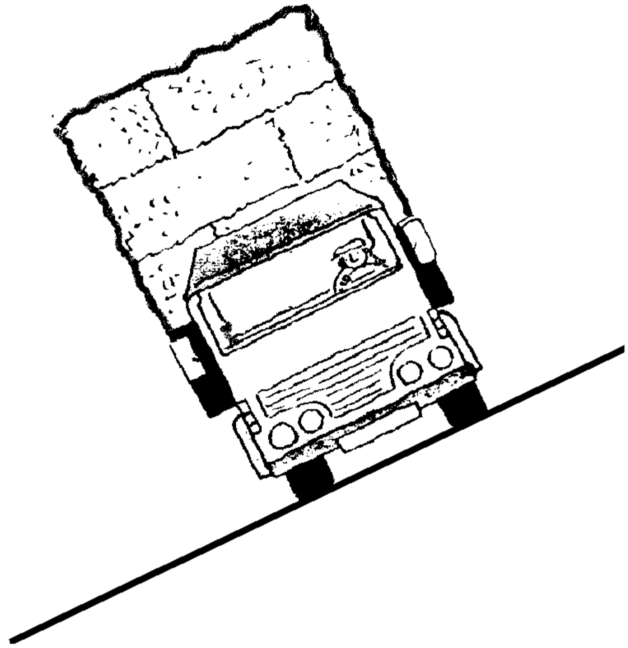
Hiernaast is een met hooi geladen vrachtwagen getekend. Deze wagen is symmetrisch beladen en staat op een scheve helling op het punt te kantelen.

a.

Bepaal in de figuur de ligging van het zwaartepunt van deze wagen. Laat in de tekening zien hoe je het zwaartepunt bepaald hebt.

b.

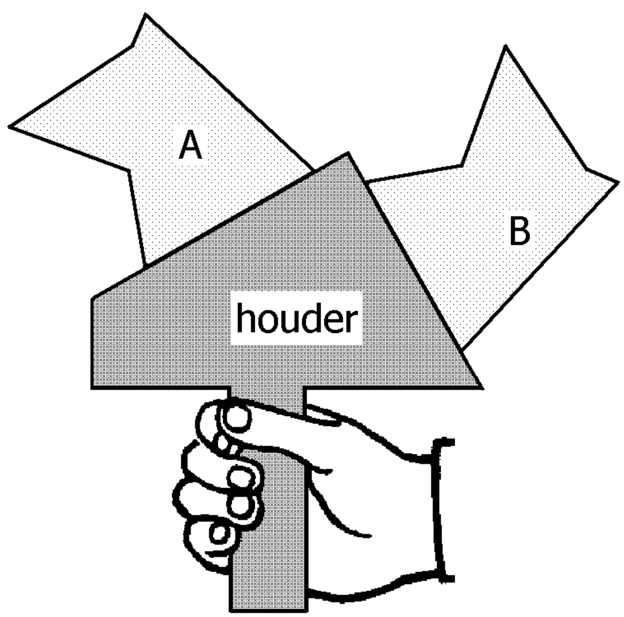
De wagen zou in onbeladen toestand in deze situatie _________________ zijn. (vul in: even stabiel, minder stabiel of stabieler) Leg dit kort uit.



Opgave 11

Een speelgoedfabrikant bedenkt een nieuw spel genaamd “De Vaste Hand”. Het is daarbij de kunst om een houder zo lang mogelijk vast te houden zonder dat de op de houder liggende voorwerpen A en B gaan kantelen. Zie de figuur hiernaast. De houder is aan de bovenkant bedekt met schuurpapier om te voorkomen dat A en B gaan schuiven. De voorwerpen A en B zijn precies gelijk aan elkaar. In de figuur kantelen A en B nèt niet. Bij een andere stand van de houder zou A of B wel kantelen.

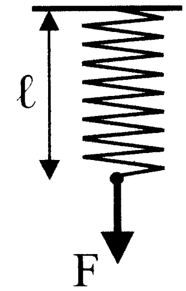
Bepaal in de figuur zo nauwkeurig mogelijk de plaats van het zwaartepunt van voorwerp A. Maak daarbij gebruik van het feit dat A en B identiek zijn en net niet kantelen. Laat duidelijk zien hoe je aan je antwoord komt.



§ 5 Spiraalveer, veerconstante

Veerlengte

Een spiraalveer kan langer gemaakt worden door aan de veer te trekken. Als de trekkracht F groter wordt, dan wordt de veerlengte ℓ natuurlijk ook groter. Zie de figuur hiernaast en ook het getallenvoorbeeld in de tabel.

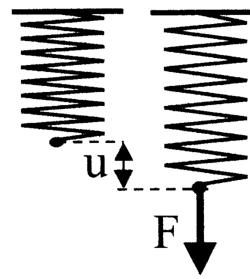


F (N)	ℓ (cm)
0	15
2	16
4	17
6	18
8	19
10	20

Als er niet aan de veer getrokken wordt (dus als F = 0 N), dan wordt de veer "ongespannen" genoemd. De veerlengte in die toestand wordt met ℓ_o aangegeven. In het getallenvoorbeeld geldt dus ℓ_o = 15 cm.

Uitrekking

Vaak wordt niet alleen gekeken naar de veerlengte maar ook naar de uitrekking u. Hieronder verstaan we de toename van de veerlengte ten opzichte van de ongespannen toestand. Zie de figuur hiernaast.



F (N)	u (cm)
0	0
2	1
4	2
6	3
8	4
10	5

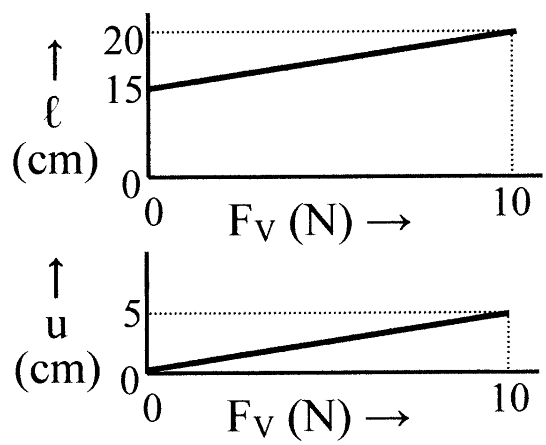
Uitgaande van de getallen in de eerste tabel is in de tweede tabel de uitrekking berekend. Bijvoorbeeld is de uitrekking bij een trekkracht van 10 N gelijk aan: u = 20 cm – 15 cm = 5 cm.
In het algemeen kan u uit ℓ en ℓ_o berekend worden volgens de formule:

$$u = \ell - \ell_o$$

<u>Opmerking</u>
In het bovenstaande werd steeds het woord trekkracht gebruikt. Dat is de kracht op de veer door bijvoorbeeld je hand. Volgens de wet "actie = - reactie" is de trekkracht echter even groot als de veerkracht (= kracht op je hand door de veer). Vanaf nu wordt alleen nog maar het woord veerkracht gebruikt.

Het (veerlengte,veerkracht)-diagram en het (uitrekking,veerkracht)-diagram

De grafieken hiernaast hebben betrekking op het bovenstaande getallenvoorbeeld. Het (veerlengte,veerkracht)-diagram van een spiraalveer is een rechte lijn die niet door de oorsprong gaat. Het (uitrekking,veerkracht)-diagram is een rechte lijn die juist wel door de oorsprong gaat.



Veerconstante

Zolang een spiraalveer niet te ver wordt uitgerekt geldt dat de veerkracht en de uitrekking “evenredig” met elkaar zijn. Dat wil zeggen dat als de veerkracht twee keer zo groot wordt, de uitrekking ook twee keer zo groot wordt. Automatisch betekent dit dat de veerkracht gedeeld door de bijbehorende uitrekking steeds dezelfde uitkomst geeft. Neem als voorbeeld de tweede tabel. De uitkomst van 2 N / 1 cm is gelijk aan de uitkomst van 4 N / 2 cm en ook gelijk aan de uitkomst van 6 N / 3 cm enzovoort. Deze uitkomst noemt men de “veerconstante” (symbool C) en is in het bovenstaande getallenvoorbeeld dus 2 N/cm. Kort opgeschreven: C = 2 N/cm.

Elke spiraalveer heeft zijn eigen veerconstante. Slappe veren (dus veren die je met weinig kracht kunt uitrekken) hebben een kleine veerconstante. Stugge veren (dus veren die moeilijk uit te rekken zijn) hebben een grote veerconstante. Dit kun je op de volgende manier begrijpen. Stel dat veer A een veerconstante heeft van 0,2 N/cm en veer B een veerconstante heeft van 4 N/cm. Als je beide veren 1 cm langer wilt maken, dan heb je bij veer A een kracht van 0,2 N nodig en bij veer B een kracht van 4 N.

Verband tussen veerkracht, uitrekking en veerconstante

De volgende tabel somt de hier van belang zijnde grootheden met hun eenheden op.

Grootheid	Eenheid
F_V = veerkracht	N = newton
u = uitrekking	cm = centimeter
C = veerconstante	N/cm = newton per centimeter

De veerconstante kan berekend worden met de volgende formule.

$$C = \frac{F_V}{u}$$

Deze formule kan in twee andere vormen geschreven worden namelijk:

$$F_V = C \times u \qquad \text{en} \qquad u = \frac{F_V}{C}$$

Voorbeeld van een opdracht

Een spiraalveer heeft in ongespannen toestand een lengte van 6,7 cm. De veerconstante van de veer is 0,23 N/cm. Bereken de veerlengte als er een blokje van 100 gram aan gehangen wordt.

<u>Oplossing</u>

De zwaartekracht op het blokje is: $F_z = m \cdot g = 0{,}10\,\text{kg} \cdot 9{,}8\,\text{N/kg} = 0{,}98\,\text{N}$

De veerkracht op het blokje is even groot. Dus: F_V = 0,98 N.

Voor de uitrekking u van de veer geldt dus: $u = \frac{F_V}{C} = \frac{0{,}98\,\text{N}}{0{,}23\,\text{N/cm}} = 4{,}3\,\text{cm}$

De nieuwe veerlengte is dan: $\ell = \ell_o$ + u = 6,7 cm + 4,3 cm = 11,0 cm.

Opgaven bij § 5

Opgave 1
Wat verstaan we onder de uitrekking van een spiraalveer?

Opgave 2
Wat verstaan we onder de veerconstante van een spiraalveer?

Opgave 3
Een spiraalveer met een grote veerconstante is ____________________ uit te rekken. Zo'n veer noemen we ____________. Vul hierbij in: moeilijk of makkelijk en stug of slap.

Opgave 4
Een spiraalveer heeft in de ongespannen toestand een lengte van 12 cm. Hoe groot is de uitrekking als de nieuwe lengte 15 cm is?

Opgave 5
Een uitgerekte spiraalveer heeft een lengte van 9 cm. Bereken de lengte in ongespannen toestand als de uitrekking 2 cm is.

Opgave 6
Een spiraalveer rekt 4,5 cm uit als er een trekkracht van 2 N op werkt. Bereken de veerconstante van de veer.

Opgave 7
Een spiraalveer met een veerconstante van 0,5 N/cm wordt 2,5 cm uitgerekt. Bereken de kracht die hiervoor nodig is.

Opgave 8
Een spiraalveer met een veerconstante van 1,3 N/cm wordt met een kracht van 2,1 N uitgerekt. Bereken de uitrekking van de veer.

Opgave 9
Een spiraalveer heeft een lengte van 6,0 cm in ongespannen toestand. De veerconstante van de veer bedraagt 0,35 N/cm. Bereken de lengte van de veer als deze met een kracht van 1,2 N wordt uitgerekt.

Opgave 10
Een spiraalveer met een veerconstante van 0,28 N/cm wordt met een kracht van 1,0 N uitgerekt tot een lengte van 12,0 cm. Bereken de lengte van de veer in ongespannen toestand.

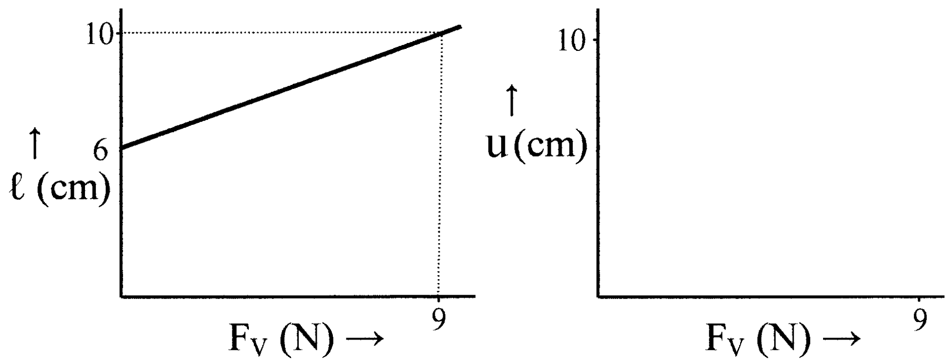
Opgave 11

Een spiraalveer heeft een veerconstante van 0,23 N/cm. Als hij niet gespannen is heeft hij een lengte van 20,0 cm. Bereken hoeveel kracht er nodig is om de veer 25,0 cm lang te maken.

Opgave 12

In de linker grafiek hiernaast is de veerlengte tegen de veerkracht uitgezet.

Teken in de rechter grafiek het verband tussen de uitrekking en de veerkracht.



Bereken bovendien de veerconstante van de veer.

Opgave 13

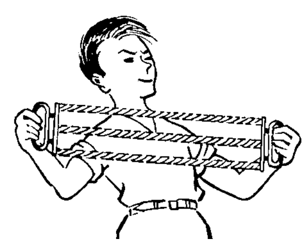
Een spiraalveer met een veerconstante van 1,2 N/cm wordt verticaal opgehangen. De lengte van de veer in ongespannen toestand is 12,0 cm. Bereken de lengte van de veer als er aan de veer een massa van 230 gram gehangen wordt.

Opgave 14

Een verticaal opgestelde spiraalveer heeft ongespannen een lengte van 19 cm. Als er een massa van 408 gram aan hangt is de veerlengte 22 cm. Bereken de veerconstante van de veer.

Opgave 15

Max kan een expander met één veer maximaal 60 cm uitrekken. Hoe ver kan hij een expander met drie veren dan maximaal uitrekken?



Opgave 16

Iris kan een expander met drie veren 30 cm uitrekken. Marieke kan een expander met twee veren 40 cm uitrekken. Alle veren zijn even stug. Wie oefent de grootste kracht uit? Licht je antwoord toe.

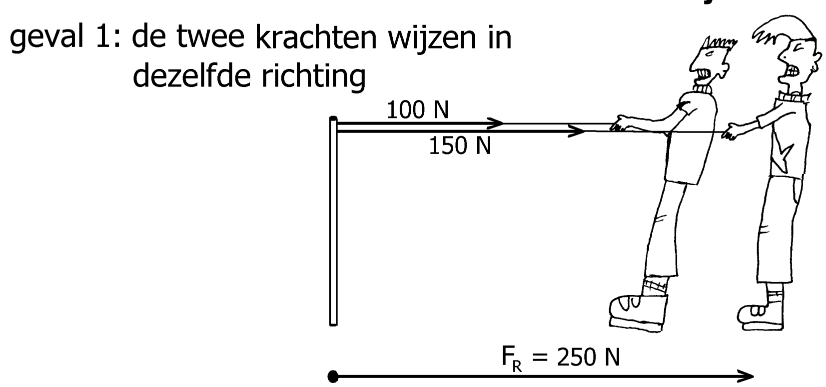
§ 6 Resultante en parallellogramconstructie

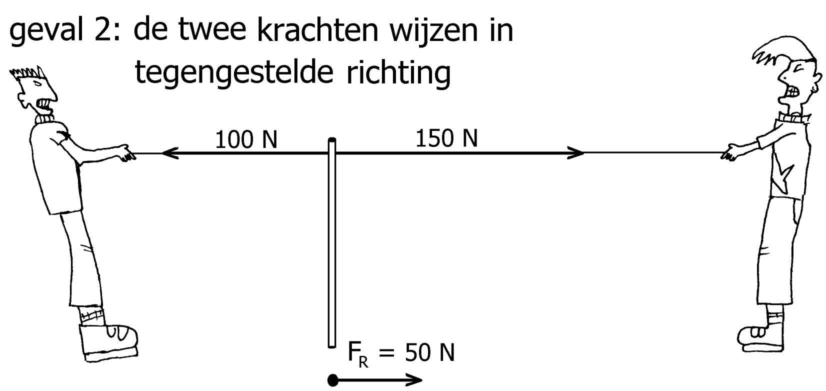
Resultante

In veel situaties werken er op een voorwerp twee of meer krachten. Van deze krachten gaat een zekere werking uit. Vaak kunnen deze krachten worden vervangen door één enkele nieuwe kracht met dezelfde werking als de oorspronkelijke krachten. Deze kracht noemen we dan de **resulterende kracht** of **resultante** en heeft het symbool F_R. Bij het vinden van de resulterende kracht moeten de oorspronkelijke krachten worden "samengesteld".

Deze paragraaf beperkt zich tot situaties waarin de aangrijpingspunten van de krachten gelijk zijn of in ieder geval dicht bij elkaar liggen. In de volgende paragraaf liggen de aangrijpingspunten op veel grotere afstand van elkaar.

Voorbeeld: samenstellen van twee krachten met dezelfde werklijn





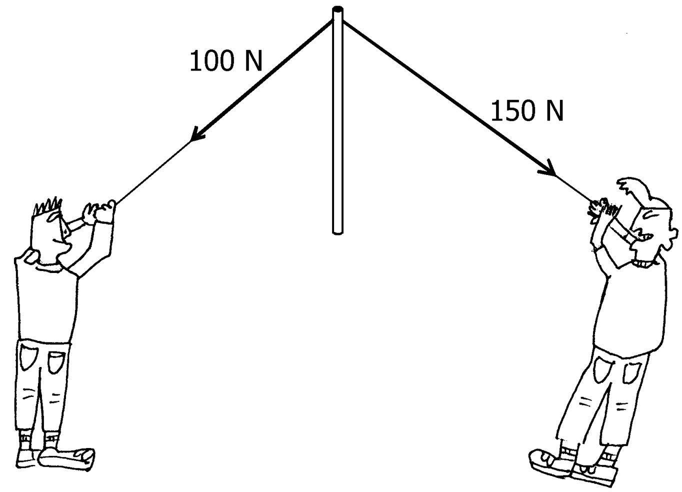
Jan en Piet hebben ieder een touw in handen en trekken hiermee aan een paaltje. Jan trekt met 150 N en Piet met 100 N. Zie de figuren hiernaast. De getekende krachten werken op het paaltje.

In de bovenste figuur trekken Jan en Piet in dezelfde richting. Dat betekent dat beide krachten elkaar versterken. De resulterende kracht op het paaltje kan dan gevonden worden door de twee krachten bij elkaar op te tellen. Dus geldt:
$F_R = 250$ N.
Natuurlijk wijst de resulterende kracht op het paaltje naar rechts (net als de oorspronkelijke twee krachten).

In de onderste figuur trekken Jan en Piet in tegengestelde richting. Dat betekent dat beide krachten elkaar tegenwerken (verzwakken). De resulterende kracht op het paaltje kan dan gevonden worden door beide krachten van elkaar af te trekken. Dus geldt:
$F_R = 50$ N. Deze resulterende kracht wijst naar rechts omdat de naar rechts wijzende kracht (150 N) het "wint" van de naar links wijzende kracht (100 N).

Voorbeeld: de resultante van twee krachten met verschillende werklijnen

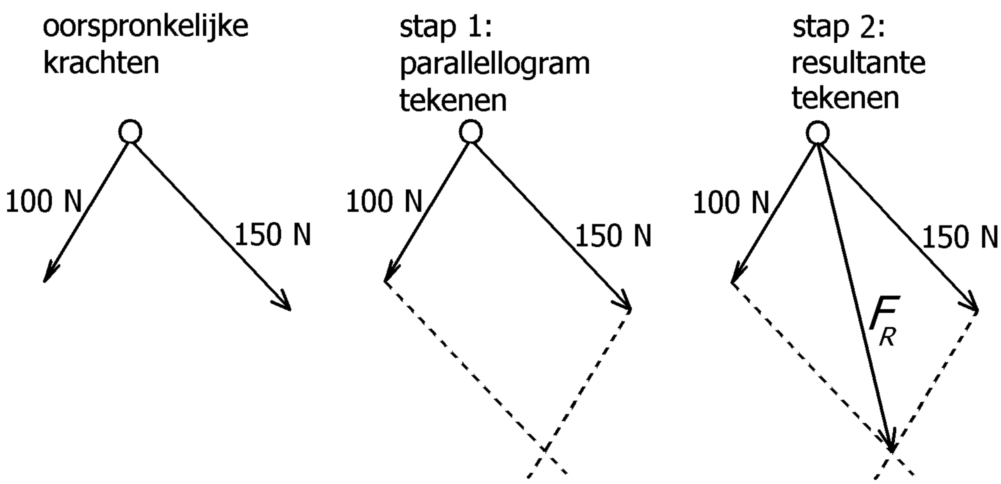
In de figuur hiernaast trekken Jan en Piet weer met 150 N en 100 N aan het paaltje. Hun trekkrachten wijzen deze keer niet in dezelfde richting of in tegengestelde richting. Dat betekent dat de krachten elkaar niet volledig versterken en ook niet volledig verzwakken. De grootte van de resulterende kracht ligt daarom ergens tussen 250 N (behorend bij maximale versterking) en 50 N (behorend bij maximale verzwakking).



Om de grootte en richting van de resulterende kracht te bepalen, moeten we een parallellogramconstructie maken. Dat wordt hieronder uitgelegd.

Parallellogramconstructie

Met de parallellogramconstructie kunnen de twee krachten in het bovenstaande voorbeeld worden samengesteld. Zie de onderstaande figuur (dit stelt het bovenaanzicht voor).

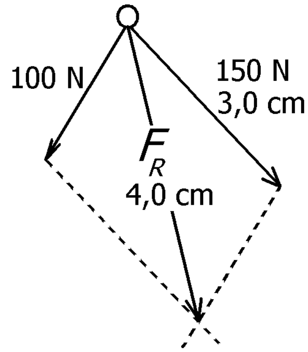


De parallellogramconstructie bestaat uit twee stappen. In de eerste stap wordt een parallellogram getekend. De oorspronkelijke pijlen (krachten) vormen twee van de vier zijden. De overige twee zijden lopen hier evenwijdig aan en worden meestal gestippeld weergegeven. In de tweede stap wordt de resulterende kracht F_R getekend. De pijl hiervan loopt van het aangrijpingspunt naar het hoekpunt aan de overkant van het parallellogram.

Bepaling van de grootte van de resulterende kracht

In het voorgaande voerden we de parallellogramconstructie uit om de resulterende kracht te vinden. Maar hoeveel newton is de resulterende kracht nu eigenlijk? Het antwoord hierop kun je vinden door de pijllengte van de resulterende kracht te vergelijken met de pijllengte van een bekende kracht. Zie het volgende voorbeeld.

De figuur hiernaast toont de parallellogramconstructie uit het voorgaande. Ook zijn in de figuur de lengte van twee pijlen gegeven (opmeten met een liniaal). Je vindt dan F_R = 200 N.



verhouding van de krachten = verhouding van de pijllengtes

dus $\dfrac{F_R}{150\text{ N}} = \dfrac{4{,}0\text{ cm}}{3{,}0\text{ cm}}$

dus $F_R = 200\text{ N}$

Evenwicht van krachten

Stel dat een voorwerp in rust is. Dan heffen de krachten die op dat voorwerp werken, elkaar op. De resulterende kracht op dat voorwerp is dan nul. We spreken in dat geval over evenwicht. Neem bijvoorbeeld een voetbal die op de grond rust. De twee krachten die op de bal werken (de zwaartekracht en de normaalkracht) heffen elkaar precies op. Ook in situaties met drie krachten is er vaak sprake van evenwicht. Neem bijvoorbeeld een stalen kogel die aan twee touwen tussen twee palen hangt. Zie de onderstaande figuur a. Op de kogel werken twee spankrachten en de zwaartekracht. Zie figuur b. De resulterende kracht van de twee spankrachten wijst naar boven. Zie figuur c. De resulterende kracht van de spankrachten heft de zwaartekracht precies op. De uiteindelijke resulterende kracht op de kogel is dus nul.

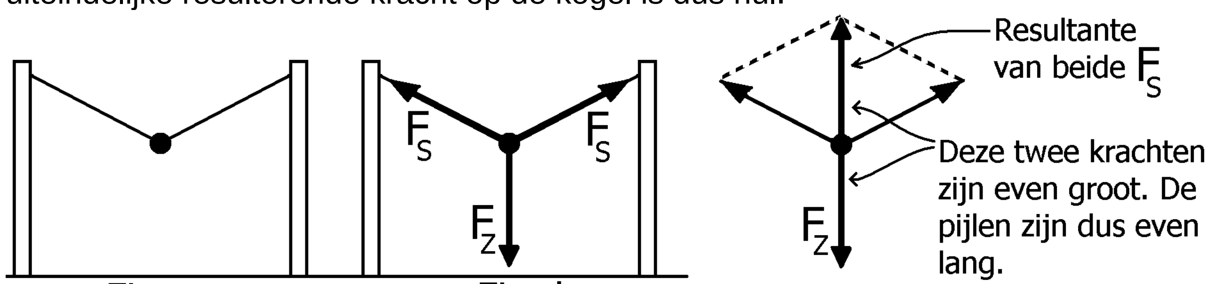
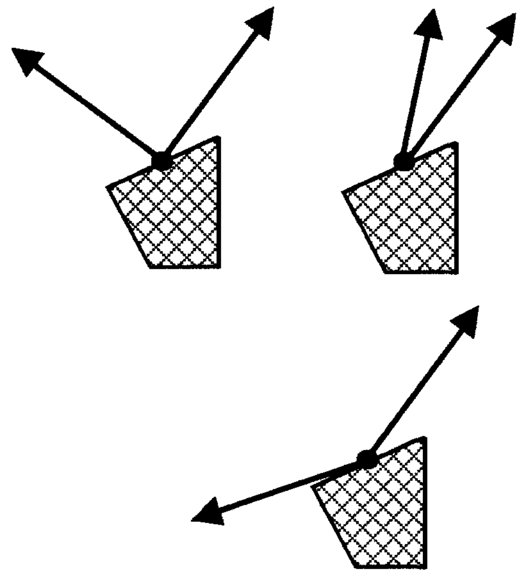


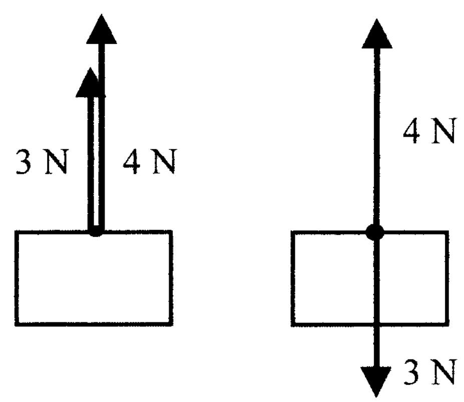
Fig. a Fig. b Fig. c

Opgaven bij § 6

<u>Opgave 1</u>
Op een voorwerp werken steeds twee krachten. Zie de figuren hiernaast. Construeer (teken nauwkeurig) in alle drie de gevallen de resulterende kracht met behulp van de parallellogramconstructie.

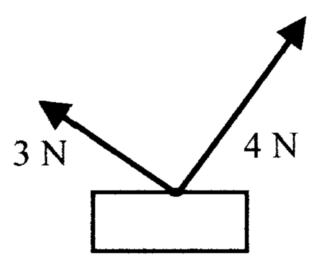


<u>Opgave 2</u>
Op een voorwerp werken steeds twee krachten van 3 N en van 4 N. Zie de figuren hiernaast. Schrijf onder de figuren hoe groot de resulterende kracht is.
Teken in beide figuren de resulterende kracht.

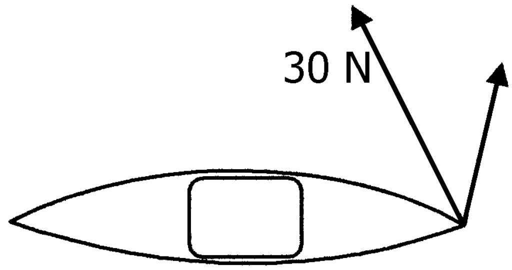


F_R = ______ F_R = ______

<u>Opgave 3</u>
Op een voorwerp werken twee krachten namelijk van 3 N en van 4 N. Deze krachten staan loodrecht op elkaar. Zie de figuur hiernaast. Construeer de resultante van deze twee krachten. Bepaal daarna hoe groot deze resultante is. Doe dat op twee manieren namelijk
1) door de lengte van de pijlen op te meten,
2) met de wet van Pythagoras.

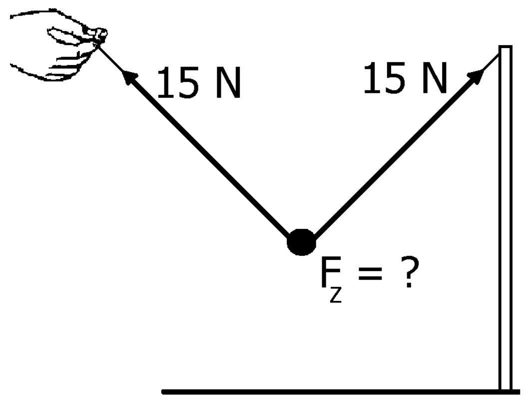


Opgave 4
Iris en Marieke trekken ieder aan de voorste punt van een kano. Iris trekt met 30 N. Zie het bovenaanzicht in de figuur hiernaast.
Teken de resultante van beide krachten.
Bepaal de grootte van deze resultante.



Jo komt erbij en trekt aan dezelfde punt van de kano zodanig dat de drie krachten in evenwicht zijn.
Construeer Jo's kracht. Zet F_{JO} bij deze kracht.

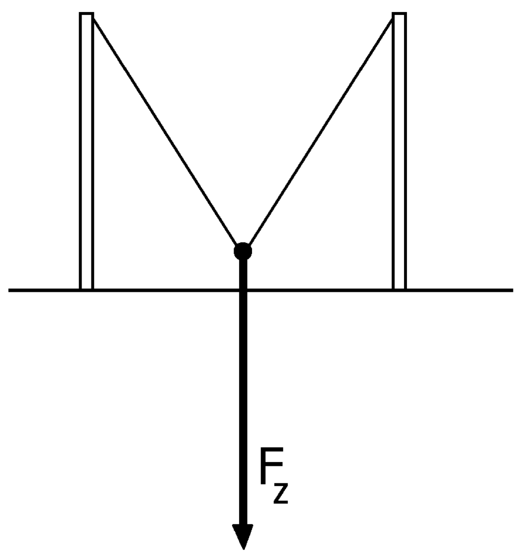
Opgave 5
Een ijzeren kogel hangt aan twee touwen. De spankracht van deze twee touwen bedraagt 15 N.
Construeer de resultante van de spankrachten.
Construeer de zwaartekracht op de kogel.
Bepaal hoe groot de zwaartekracht is.



Bereken de massa van de kogel.

Opgave 6
Een kogel hangt aan twee touwen. Zie de figuur hiernaast. In de figuur is de zwaartekracht op de kogel getekend.
Construeer de spankrachten op de kogel. Laat duidelijk zien hoe je aan je antwoord komt.

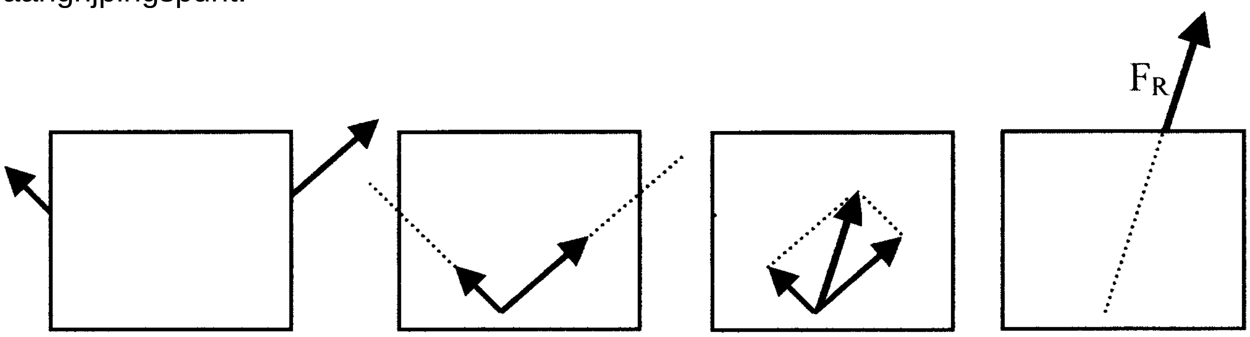
De zwaartekracht bedraagt 12 N.
Bepaal de grootte van de spankrachten.



§ 7 Verschillende aangrijpingspunten

Samenstellen van twee krachten met verschillende aangrijpingspunten

In deze paragraaf kijken we naar het geval waarin krachten, werkend op een voorwerp, verschillende aangrijpingspunten hebben. Zie de volgende figuur waarin er sprake is van twee krachten. Om de parallellogramconstructie toe te kunnen passen, moeten de krachten eerst hetzelfde aangrijpingspunt krijgen. Dit wordt in stap 1 bereikt. In deze stap worden de krachten langs hun werklijn verschoven zodat ze in het snijpunt van de werklijnen aangrijpen. In stap 2 wordt de parallellogramconstructie uitgevoerd. In stap 3 wordt de resulterende kracht langs zijn werklijn verschoven naar een geschikt aangrijpingspunt.



Oorspronkelijke krachten | stap 1: verschuiven van de krachten | stap 2: parallellogram-constructie | stap 3: verschuiven van de resultante

Evenwicht van krachten

Stel dat een voorwerp in rust is en in rust blijft. Dan werkt er geen resulterende kracht op het voorwerp. Er kunnen in zo'n geval best krachten op het voorwerp werken. Alleen heffen deze krachten elkaar dan op. Hierbij spelen naast de grootte en de richting ook de aangrijpingspunten van de krachten een rol.

Neem bijvoorbeeld een kano waar drie krachten (met verschillende aangrijpingspunten) op werken. Zie figuur a hiernaast (bovenaanzicht). In figuur b is de resultante van de krachten op de voorpunt en achterpunt geconstrueerd. Deze heft de derde kracht op de kano precies op. Want de krachten zijn namelijk even groot, tegengesteld gericht en hebben bovendien dezelfde werklijn.

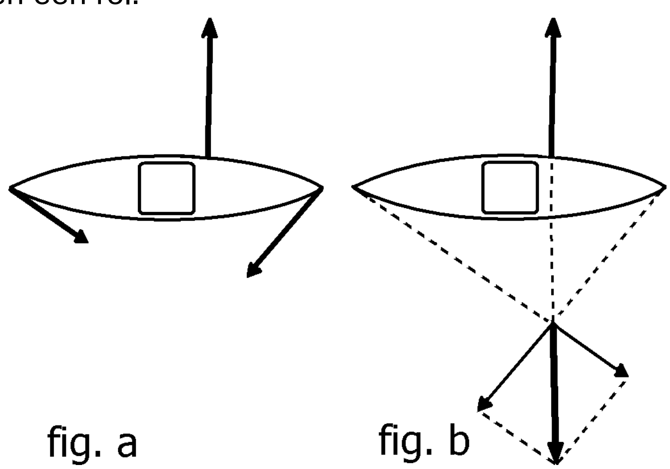
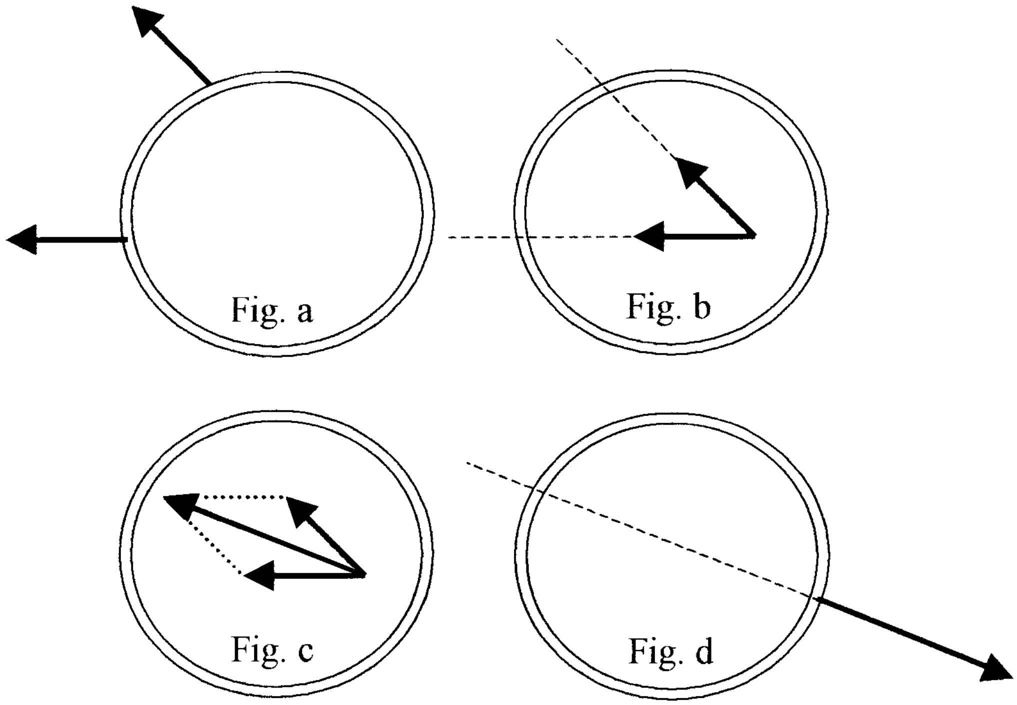


fig. a fig. b

Voorbeeld van een opgave

Jan en Piet trekken ieder aan een stalen ring. Zie figuur a hiernaast. Welke kracht moet Roel op de ring uitoefenen om een evenwichtssituatie te bereiken?



Oplossing

In figuur b zijn de krachten van Jan en Piet langs hun werklijn verschoven zodat zij in hetzelfde punt aangrijpen. In figuur c is de resultante van de krachten van Jan en Piet bepaald. In figuur d is Roels kracht getekend. Omdat Roel voor evenwicht moet zorgen is zijn kracht even groot maar tegengesteld gericht aan de resultante van Jan en Piet. Daarom is de pijl "omgeklapt". Tenslotte is Roels pijl ook nog langs zijn werklijn verschoven om aan te kunnen grijpen op een punt van de ring.

Evenwichtsvoorwaarden

Algemeen geldt dat een voorwerp in evenwicht is als alle krachten die op dat voorwerp werken elkaar opheffen. Kortom:

$$\text{evenwicht} \Leftrightarrow F_R = 0\ \text{N}$$

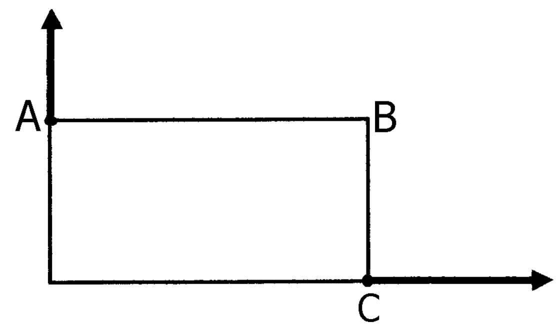
In sommige situaties kan deze evenwichtsvoorwaarde vereenvoudigd worden. Bijvoorbeeld bij voorwerpen die rond een scharnierpunt kunnen draaien. Zoals we in de volgende paragraaf zullen zien kan de evenwichtsvoorwaarde dan geschreven worden als:

$$\text{evenwicht} \Leftrightarrow M_L = M_R$$

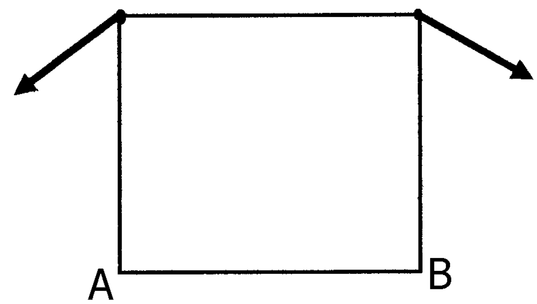
Opgaven bij § 7

Opgave 1
Sanne en Iris proberen een tafel te verschuiven. Zie het bovenaanzicht in de figuur hiernaast. Sanne trekt aan hoekpunt A, Iris aan hoekpunt C. Construeer de resultante van beide krachten. Laat deze kracht aangrijpen op zijde AB.

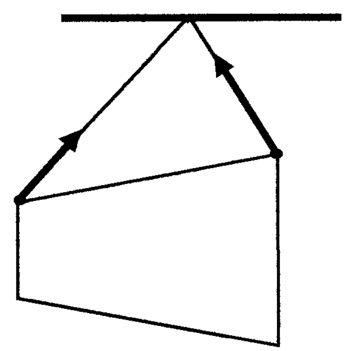
Bepaal hoe groot deze resultante is als verder gegeven is dat de kracht van Iris 60 N bedraagt.



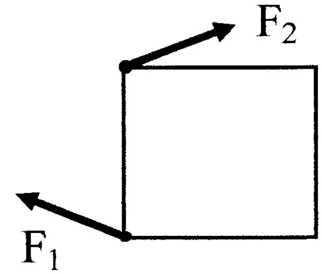
Opgave 2
Op een voorwerp werken drie krachten die in evenwicht met elkaar zijn (de resulterende kracht is dus nul!).
In de figuur hiernaast zijn twee van de krachten getekend. De derde kracht grijpt aan op zijde AB en is niet getekend. Construeer deze derde kracht.



Opgave 3
Een kurk hangt aan twee draadjes. Zie de figuur hiernaast. Op de kurk werken drie krachten namelijk twee spankrachten en de zwaartekracht. De spankrachten zijn in de figuur weergegeven. Construeer de zwaartekracht op de kurk.



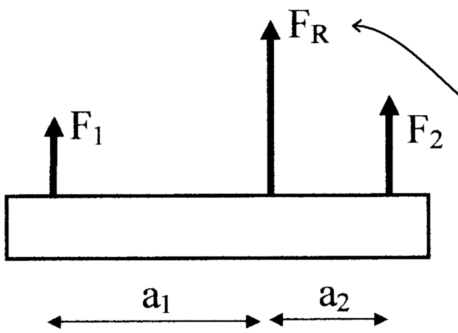
Opgave 4
Op een voorwerp werken twee krachten F_1 en F_2. Bestaat er een derde kracht die het voorwerp in evenwicht kan brengen? Zo ja: teken deze kracht dan. Zo nee, waarom dan niet?



Opgave 5

UITBREIDING VAN DE THEORIE (MAAR VALT BUITEN DE EIGENLIJKE LESSTOF)
In de tekst van deze paragraaf werd uitgelegd hoe je twee krachten, die op een voorwerp werken, kunt samenstellen tot één nieuwe kracht: de resulterende kracht. Als de krachten verschillende aangrijpingspunten hebben, dan moeten deze krachten eerst langs hun werklijn worden verschoven. Deze methode gaat echter niet op als de werklijnen evenwijdig zijn. Dan bestaat er namelijk geen snijpunt van de werklijnen.
Daar gaat deze opgave over.
Nu volgt eerst het “recept” om in zulke gevallen de resulterende kracht te vinden.

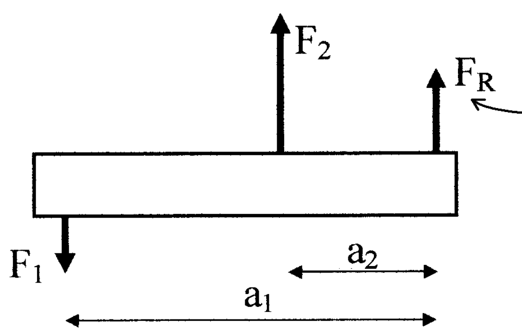
Geval 1: op een voorwerp werken twee krachten F_1 en F_2 die in dezelfde richting wijzen.



Voor de grootte van F_R geldt:
$F_R = F_1 + F_2$

Voor de plaats van F_R geldt:
$F_1 \bullet a_1 = F_2 \bullet a_2$

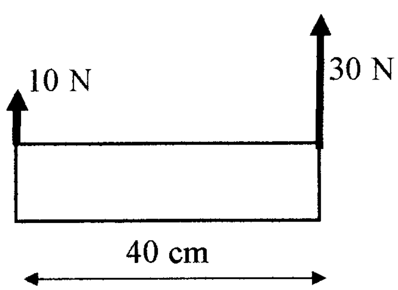
Geval 2: op een voorwerp werken twee krachten F_1 en F_2 die in tegengestelde richting wijzen.

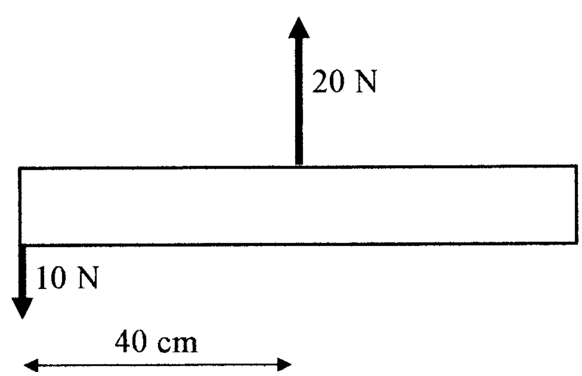


Voor de grootte van F_R geldt:
$F_R = F_2 - F_1$

Voor de plaats van F_R geldt:
$F_1 \bullet a_1 = F_2 \bullet a_2$

Probeer nu in de volgende twee gevallen de grootte en plaats van de resulterende kracht te vinden.

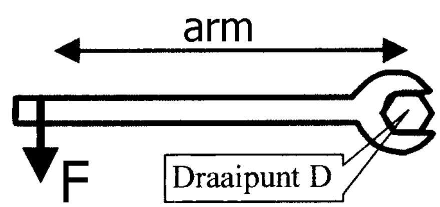




§ 8 Evenwicht bij draaibare voorwerpen

Voorbeeld

Hiernaast is een moersleutel getekend waarmee een vastgeroeste moer losgedraaid moet worden. Op de sleutel wordt kracht F uitgeoefend. De kracht heeft een zogenaamde "arm". Hieronder verstaan we de afstand tussen de kracht en de moer. Zie de figuur.



Uit ervaring weten we dat de kans op het loskomen van de moer groter wordt als de <u>kracht groter wordt</u> en als de <u>arm groter wordt</u>. Als we het effect van de kracht op de draaiing van de sleutel willen weten is "kracht keer arm" dus van belang. In de natuurkunde staat deze grootheid bekend als het "moment" van de kracht.

Theorie

In veel situaties kan een voorwerp rond een bepaald punt draaien. Dit draaipunt wordt vaak met D aangeduid. Als er een kracht op het voorwerp werkt, veroorzaakt deze kracht vaak een draaiing. Naast de kracht zelf spelen de arm en het moment van de kracht hierbij een belangrijke rol.

De arm van de kracht is de afstand tussen de kracht en het draaipunt.
Het moment van de kracht wordt berekend met "kracht keer arm".
Het moment van de kracht kan worden omschreven als "de mate waarin de kracht draaiing van het voorwerp veroorzaakt (of tenminste wil veroorzaken)".

In de onderstaande tabel zijn de symbolen van de drie grootheden vermeld. Ook zijn de belangrijkste eenheden genoemd.

Grootheid	Eenheid
F = kracht	newton (N)
d = arm	meter (m) of centimeter (cm)
M = moment	newtonmeter (Nm) of newtoncentimeter (Ncm)

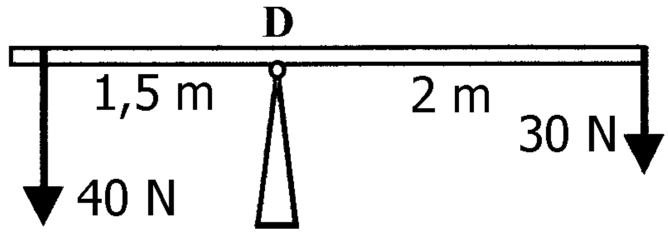
De formule voor het moment van een kracht is dus:

$$M = F \cdot d$$

Als bijvoorbeeld de kracht F gelijk is aan 100 newton en de arm d gelijk is aan 0,20 meter, dan geldt: $M = F \bullet d$ = 100 N • 0,20 m = 20 Nm. De eenheid van moment is dus 'newtonmeter'.

Evenwicht van een balk met het draaipunt ergens in het midden

In de figuur hiernaast kan de balk rond punt D draaien. Links en rechts van D werken er twee krachten op de balk namelijk van 40 N en van 30 N. De momenten hiervan hebben een tegengesteld effect.



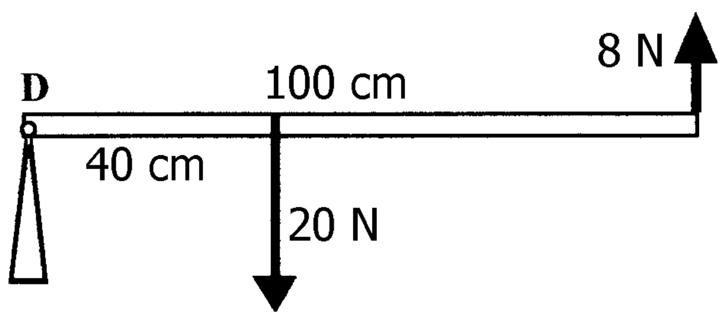
De kracht van 40 N heeft een moment dat de balk linksom wil laten draaien (dus tegen de wijzers van de klok in). Daarom heet dit moment *linksom draaiend*. Dit wordt genoteerd als: M_L = 40 N • 1,5 m = 60 Nm.

De kracht van 30 N heeft een moment dat de balk rechtsom wil laten draaien (dus met de wijzers van de klok mee). Daarom heet dit moment *rechtsom draaiend*. Dit wordt genoteerd als: M_R = 30 N • 2 m = 60 Nm.

De balk is in evenwicht omdat het moment linksom even groot is als het moment rechtsom. Kort opgeschreven: $M_L = M_R$

Evenwicht van een balk met het draaipunt aan een uiteinde

In de figuur hiernaast kan een balk rond punt D draaien. Dit punt bevindt zich bij het linker uiteinde. Rechts van het draaipunt werken er twee krachten op de balk namelijk van 8 N en van 20 N.
De kracht van 8 N levert een moment linksom. Hiervoor geldt:
M_L = 8 N • 100 cm = 800 Ncm.
De kracht van 20 N heeft een moment rechtsom. Hiervoor geldt:
M_R = 20 N • 40 cm = 800 Ncm.
De balk is in evenwicht omdat $M_L = M_R$.



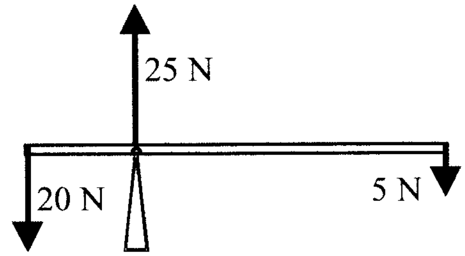
Theorie

In het algemeen zijn voorwerpen die rond een punt kunnen draaien in evenwicht als de momenten elkaar opheffen. Als er slechts twee momenten zijn, dan moet het moment linksom even groot zijn als het moment rechtsom. Kortom:

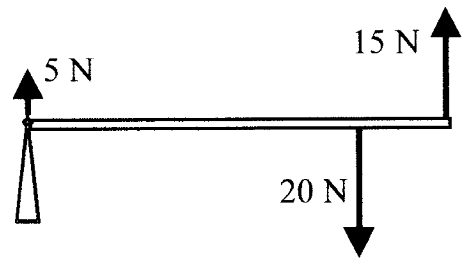
$$\textbf{evenwicht} \Leftrightarrow \mathbf{M_L = M_R}$$

De kracht van het draaipunt op het voorwerp
In het algemeen zal een draaibaar voorwerp een kracht bij het draaipunt ondervinden. Deze kracht zorgt ervoor dat de resulterende kracht op het voorwerp nul wordt in de evenwichtssituatie. Zie de volgende voorbeelden.

In de figuur hiernaast is een draaibare balk in evenwicht afgebeeld. Het draaipunt ligt links van het midden. Op het linker uiteinde werkt een kracht van 20 N naar beneden en op het rechter uiteinde een kracht van 5 N naar beneden. De naar boven gerichte kracht die door het scharnierpunt op de balk wordt uitgeoefend is dan: 20 N + 5 N = 25 N.



In de figuur hiernaast is weer een balk in evenwicht afgebeeld. Het draaipunt ligt nu helemaal links. Rechts van het draaipunt werkt een kracht van 20 N naar beneden en van 15 N naar boven. De kracht die door het scharnierpunt op de balk (naar boven) wordt uitgeoefend is dan: 20 N - 15 N = 5 N.



Bij het uitrekenen van de kracht in het scharnierpunt moet steeds gelden:
alle krachten naar boven (opgeteld) = alle krachten naar beneden (opgeteld).
De kracht in het draaipunt speelt geen rol in de formule $M_L = M_R$.
Dat komt omdat de arm van deze kracht nul is. Het moment is dan natuurlijk ook nul.

Opgaven bij § 8

Opgave 1
Wat verstaan we onder de arm van een kracht?

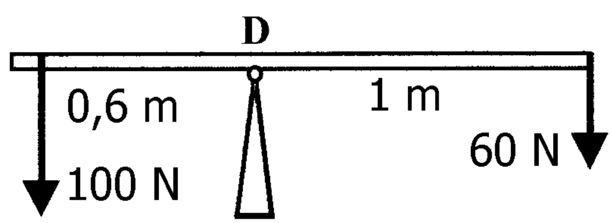
Wat verstaan we onder het moment van een kracht?

Opgave 2
Wat is de voorwaarde voor evenwicht als er op een draaibaar voorwerp twee momenten werken?

Opgave 3
Een kracht van 5 N heeft een arm van 200 cm.
Bereken het moment van deze kracht uitgedrukt in Ncm.
Doe hetzelfde maar dan in Nm.

Opgave 4
Een balk die om een scharnierpunt kan draaien, ondervindt meestal een kracht bij dit scharnierpunt. Leg uit waarom het moment van deze kracht nul is.

Opgave 5
In de figuur hiernaast kan een balk draaien rond punt D.
Bepaal het moment van de kracht van 100 N.



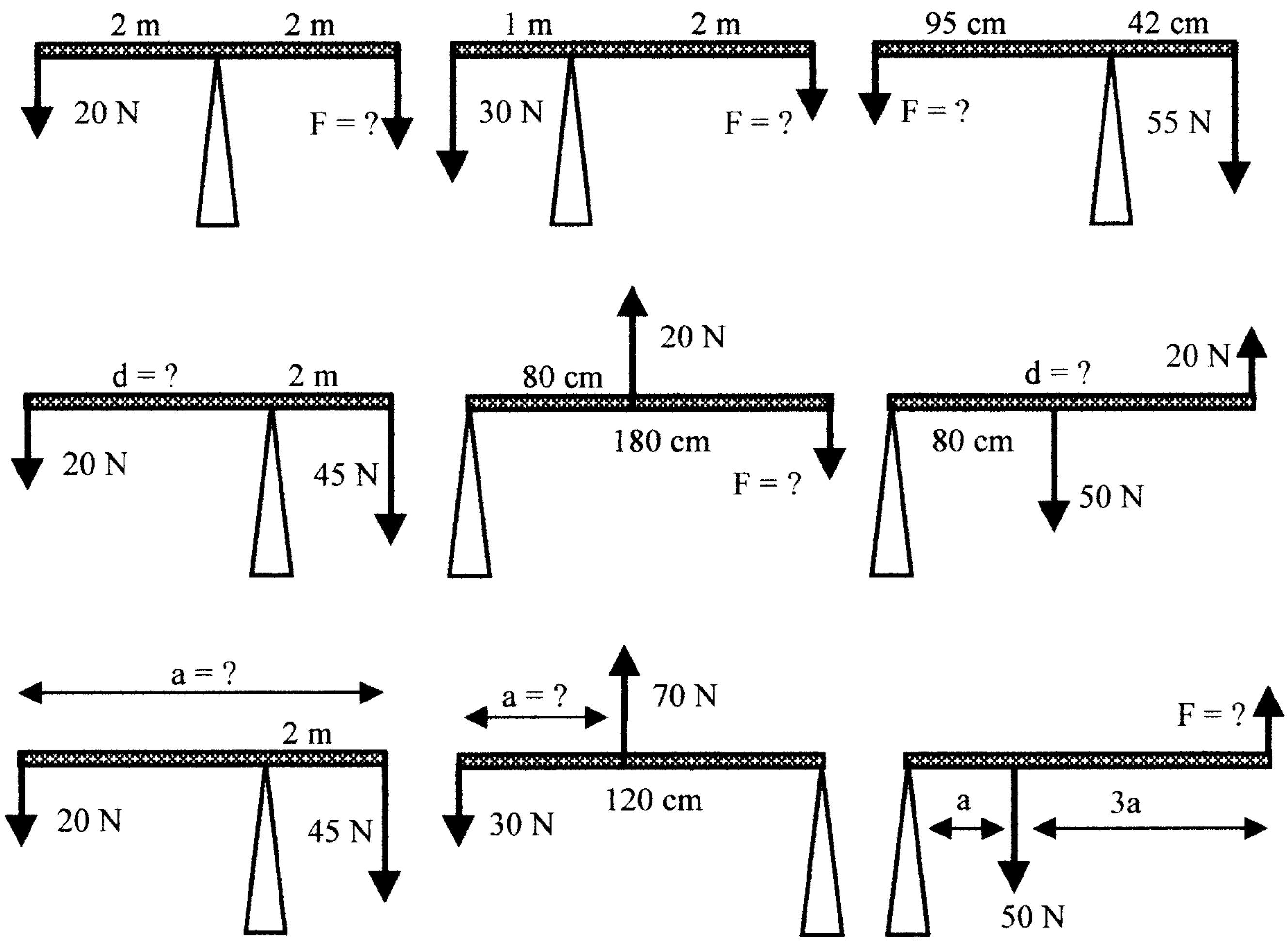
Is dit moment rechtsom of linksom draaiend?

Bepaal het moment van de kracht van 60 N.

Leg uit waarom de balk in evenwicht is.

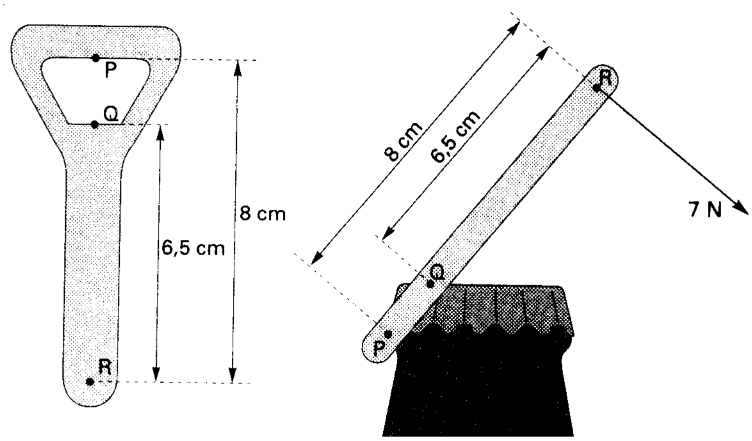
Laat zien dat de kracht die de balk in het scharnierpunt ondervindt 160 N is.

Opgave 6
In de onderstaande figuren is steeds een balk afgebeeld die rond een punt kan draaien. Steeds is de balk in evenwicht. Reken in de volgende situaties de onbekende grootheid uit.

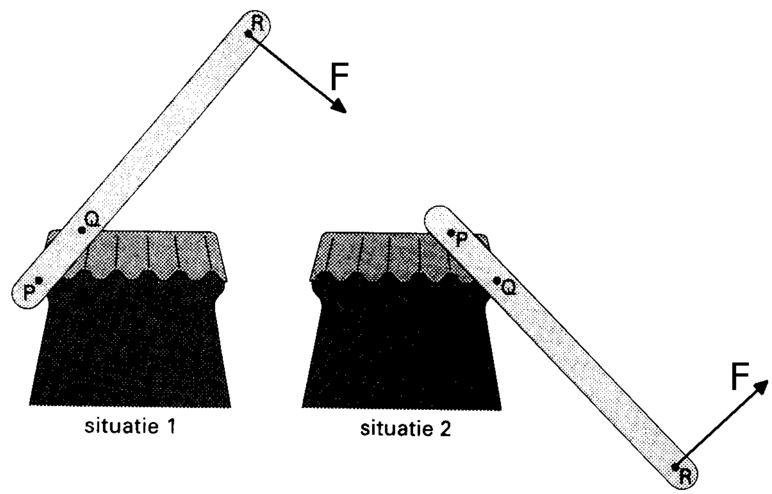


Opgave 7
Bepaal in elke figuur uit de vorige opgave in welke richting de kracht wijst die de balk bij het scharnierpunt ondervindt. Bereken ook de grootte van deze kracht.

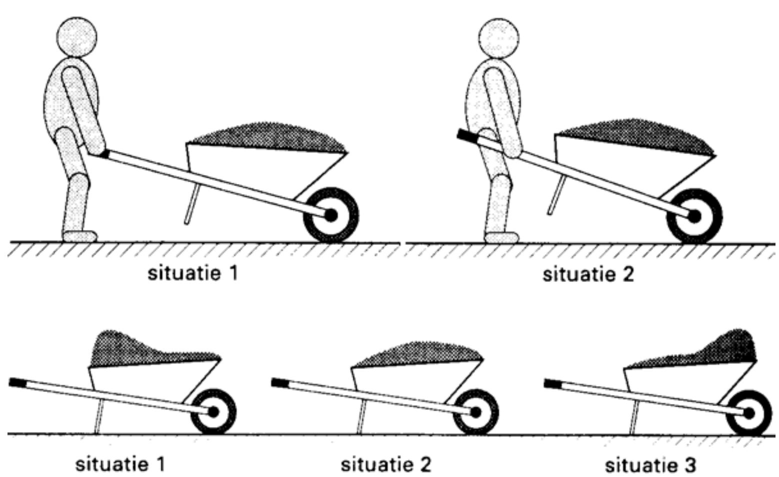
Opgave 8
Een flessenopener wordt gebruikt om een dop los te krijgen. In de situatie van de figuur hiernaast is in R een kracht van 7 N nodig om de dop los te krijgen. Enkele maten zijn in deze figuur gegeven. Hoe groot is het moment van de kracht van 7 N ten opzichte van het draaipunt van de opener?



Opgave 9
De flessenopener kan op twee manieren gebruikt worden om de dop van een fles te verwijderen. Zie de figuur hiernaast. De kracht waarmee de opener wordt bediend, grijpt beide keren aan in R. Deze kracht F is in beide gevallen even groot en staat loodrecht op de opener. In welke situatie is het moment van kracht F ten opzichte van het draaipunt van de opener het grootst? Leg je antwoord uit.



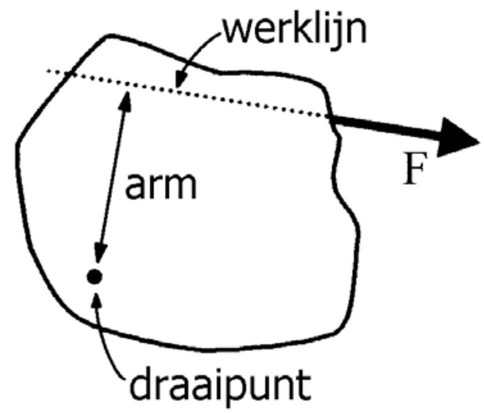
Opgave 10
Loek wil een kruiwagen met zand verplaatsen met zo weinig mogelijk “hijskracht”. Hij vraagt zich twee dingen af. Ten eerste waar hij zijn handen moet houden. Vergelijk hierbij de bovenste figuren hiernaast. Ten tweede hoe de kruiwagen het beste met zand beladen kan worden. Vergelijk hierbij de onderste figuren hiernaast. Geef antwoord op Loeks vragen en licht dit toe.



§ 9 De arm van een kracht

Algemenere omschrijving van de "arm" van een kracht

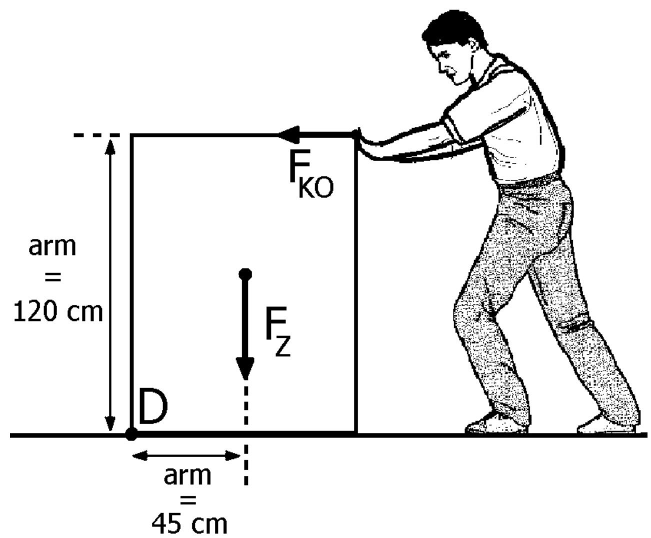
In de vorige paragraaf werd de arm van een kracht omschreven als de afstand van de kracht tot het draaipunt. Deze omschrijving is echter onvolledig. Het aangrijpingspunt van een kracht mag namelijk langs zijn werklijn verschoven worden zonder dat het de werking van de kracht verandert. Het verschuiven van het aangrijpingspunt langs de werklijn mag dus ook geen gevolgen voor het moment van de kracht hebben. Een betere omschrijving van de arm van een kracht is daarom de volgende. Zie ook de figuur hiernaast.



De arm van een kracht is de afstand tussen het draaipunt en de werklijn van deze kracht.

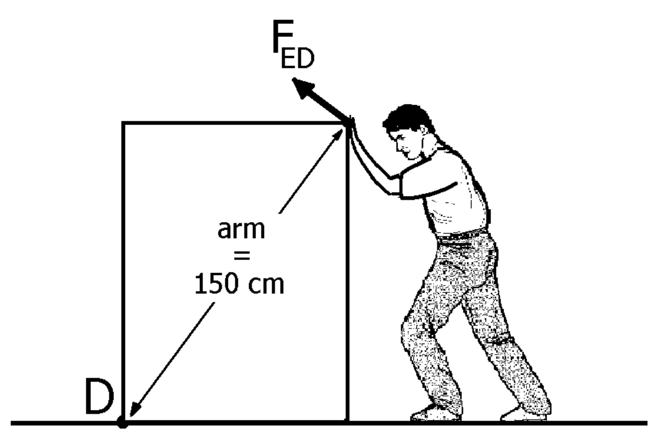
Voorbeeld

Een kast is 90 cm breed en 120 cm hoog. Ko probeert de kast rond draaipunt D te kantelen. Zie de figuur hiernaast. De zwaartekracht en de duwkracht van Ko werken op de kast (en natuurlijk ook de kracht in het draaipunt).
De zwaartekracht heeft een arm van 45 cm.
Ko's duwkracht heeft een arm van 120 cm.
Ga dat na in de figuur.



Als de massa van de kast bekend is, kan de vereiste duwkracht van Ko berekend worden.
Stel bijvoorbeeld dat de massa 50 kg is.
Dan geldt:
$F_Z = m \cdot g$ = 50 kg • 9,8 N/kg = 490 N.
Vervolgens geldt:
moment linksom = moment rechtsom
F_{KO} • 120 cm = 490 N • 45 cm
F_{KO} = 184 N

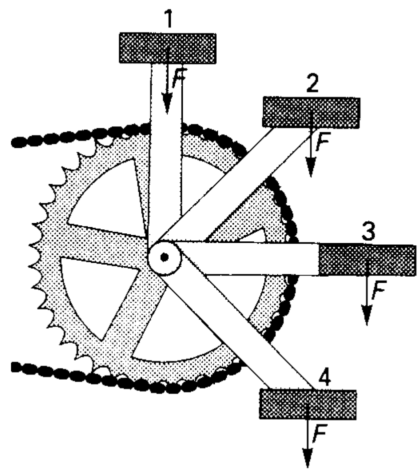
Ed probeert de kast ook om te duwen. Zie de figuur hiernaast. Bij de duwrichting van Ed hoort een grotere arm namelijk 150 cm. Daardoor hoeft Ed minder kracht te zetten dan Ko.



Opgaven bij § 9

Opgave 1
Wat verstaan we onder de arm van een kracht?

Opgave 2
In de figuur hiernaast is een pedaal van een fiets getekend in vier standen. In deze vier standen wordt een even grote kracht F verticaal omlaag op de pedaal uitgeoefend. Bekijk het moment van de kracht F ten opzichte van de as (= draaipunt).

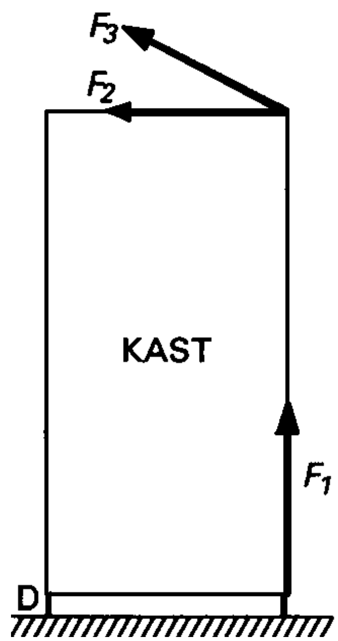


In welke stand is het moment het grootst?

In welke stand is het moment nul?

In welke twee standen zijn de momenten even groot?

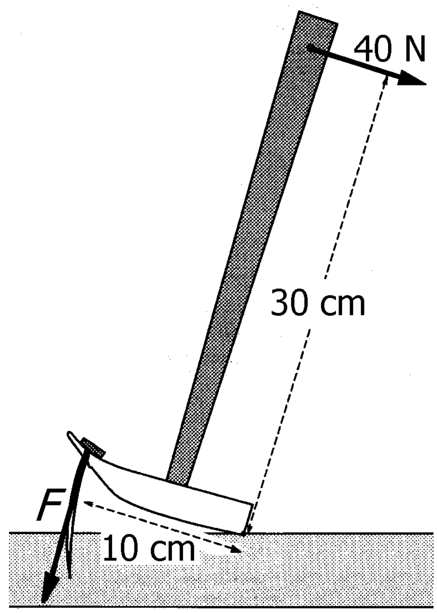
Opgave 3
Een kast moet een stukje gekanteld worden om er iets onder te schuiven. Drie manieren om de kast te kantelen om draaipunt D zijn de volgende.
* Onderaan optillen met kracht F_1.
* Bovenaan duwen met een horizontaal gerichte kracht F_2.
* Bovenaan schuin omhoog duwen met een kracht F_3.
In de figuur hiernaast is de kast weergegeven.
De richting van de genoemde krachten is aangegeven door pijlen.



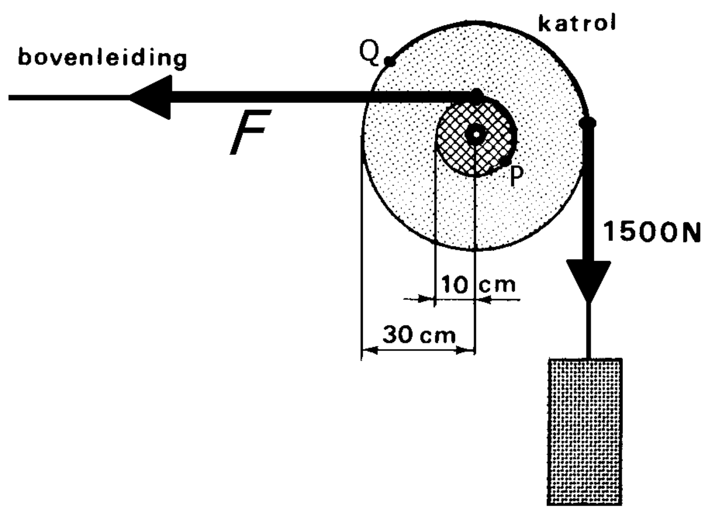
Bij welke manier is de arm van de kracht ten opzichte van D het grootst?

Bij welke manier is de benodigde kracht om de kast te kantelen dus het kleinst?

Opgave 4
Nan trekt een spijker uit een plank met behulp van een klauwhamer. In de figuur hiernaast zijn de krachten op de hamer, afkomstig van Nan en van de spijker, getekend. Ook zijn de armen van beide krachten aangegeven. De kracht van Nan bedraagt 40 N. De kracht van de spijker is met F aangeduid.
Bereken hoe groot deze kracht F is.
Opmerking:
Volgens de wet "actie is min reactie" is F even groot als de kracht waarmee de spijker uit de plank getrokken wordt.



Opgave 5
De bovenleiding van een elektrische trein wordt gespannen door middel van een gewicht van 1500 N. Hierbij wordt een speciale katrol gebruikt. Deze bestaat uit twee stalen wielen die aan elkaar vast zitten. Het ene wiel heeft een grotere diameter dan het andere wiel. Zie de figuur hiernaast.



Het uiteinde van de bovenleiding is om het kleine wiel gewonden en vastgemaakt in punt P.
De kabel waar het gewicht aan hangt is om het grote wiel gewonden en vastgemaakt in punt Q.
In de figuur zijn de spankracht van de bovenleiding en de spankracht van het gewicht voorgesteld door dikke pijlen.

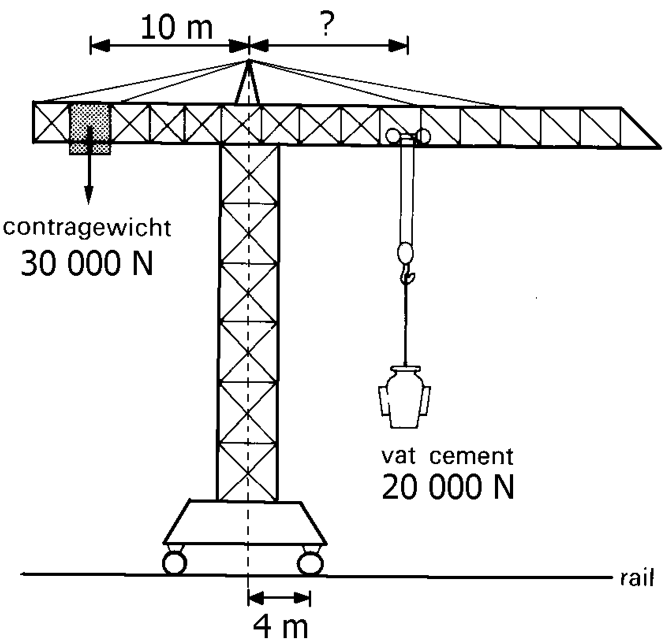
Bepaal de arm van de spankracht F in de bovenleiding (ten opzichte van het draaipunt).

Bepaal ook de arm van de spankracht van 1500 N.

Bereken de spankracht (F) in de bovenleiding.

Opgave 6

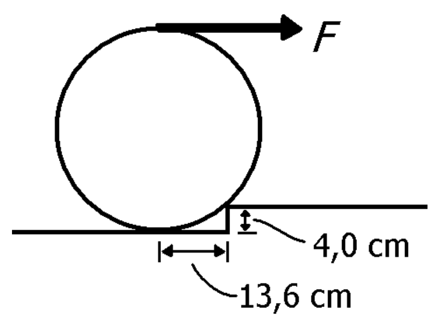
Een bouwkraan is gemonteerd op een wagentje dat op rails over een bouwterrein kan rijden. Zie de figuur hiernaast. Het gevaar bestaat dat de bouwkraan gaat kantelen als het vat cement te ver naar rechts wordt verplaatst.
Om welk punt zou de bouwkraan in dat geval gaan kantelen?



Bereken hoever het vat cement naar rechts kan worden verplaatst (gerekend vanaf het midden) voordat de kraan gaat kantelen.

Opgave 7

Een bierton met een massa van 60,0 kg en een diameter van 50,0 cm wordt voortgerold over een vloer. Op een bepaald moment blijft de bierton steken voor een 4,0 cm hoge drempel. Het laagste punt van de bierton heeft een afstand tot de drempel van 13,6 cm (gemeten langs het vloeroppervlak). Zie de figuur hiernaast (vertekend!).
De kracht F waarmee de bierton over de drempel getrokken wordt grijpt in het bovenste punt van de bierton aan en is horizontaal gericht.
Bereken hoe groot de zwaartekracht op de bierton is.



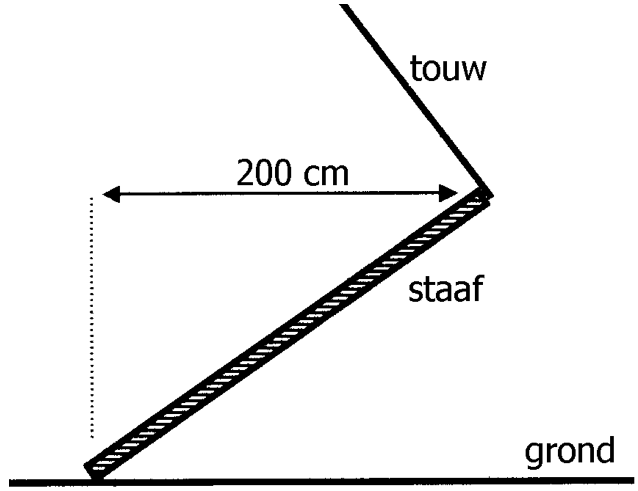
Hoe groot is de arm van de zwaartekracht ten opzichte van het kantelpunt (drempel)?

Bereken hoe groot kracht F moet zijn om de bierton over de drempel te trekken.

Stel dat je met een minimale kracht de bierton over de drempel heen moet trekken. Waar moet het aangrijpingspunt van F dan liggen (uiteraard ergens op de omtrek van de bierton)? En hoe moet F dan gericht zijn?

Opgave 8

Een stalen staaf rust met één uiteinde op de grond. Het andere uiteinde van de staaf wordt met behulp van een touw hoog gehouden. Zie de figuur hiernaast. De staaf glijdt niet over de grond (voldoende wrijving!). De staaf heeft een lengte van 260 cm, een massa van 51 kg en een zwaartepunt dat precies in het midden ligt. Bereken de spankracht van het touw als verder nog gegeven is dat het touw loodrecht op de staaf staat.
Tip: kies de onderkant van de staaf als kantelpunt.



§ 10 Wet van de traagheid (1^{ste} wet van Newton)

Eerste wet van Newton (wet van de traagheid)

Isaäc Newton (1642 – 1727), de grootste natuurkundige ooit, kwam tot het volgende inzicht.
Als er géén resulterende kracht op een voorwerp werkt, dan blijft zijn snelheid constant in grootte en in richting.
Deze regel wordt de eerste wet van Newton genoemd of ook wel de wet van de traagheid. Deze regel geldt natuurlijk ook voor stilstaande voorwerpen want dan is de snelheid constant nul.

Blijkbaar heeft elk voorwerp van nature de neiging om in zijn bewegingstoestand te blijven. Er is een (resulterende) kracht nodig om de snelheid van het voorwerp te veranderen. Naarmate de massa van een voorwerp groter is, zal deze kracht groter moeten zijn. In dit verband wordt wel gezegd dat “massa traag is”. Let wel: traag in het veranderen van de snelheid.
Verder geldt:

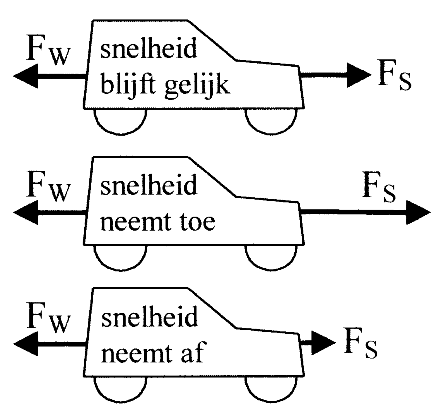
- Als de resulterende kracht op een voorwerp in de bewegingsrichting wijst, dan neemt de snelheid toe.
- Als de resulterende kracht op een voorwerp tegen de bewegingsrichting in wijst, dan neemt de snelheid af.

Voorbeeld 1

Het ruimteschip “Nostromo” uit de film Alien beweegt met grote snelheid in de ruimte. Er werkt geen wrijvingskracht op de Nostromo omdat er in de ruimte geen lucht is. Er werkt ook geen zwaartekracht op de Nostromo omdat deze ver verwijderd is van alle sterren en bijbehorende planeten. Tenslotte werkt er ook geen stuwkracht op de Nostromo omdat de raketmotoren uit staan. Kortom: er werken totaal geen krachten op de Nostromo. Toch beweegt het ruimteschip met een constante snelheid door de ruimte.

Voorbeeld 2

Een auto is kapot en wordt met een sleepkabel voortgetrokken. Op de auto werken de spankracht F_S in voorwaartse richting en de wrijvingskracht (rolwrijving plus luchtwrijving) F_W in achterwaartse richting. Zie de figuren hiernaast. De zwaartekracht en de normaalkracht blijven hier buiten beschouwing omdat deze elkaar opheffen.

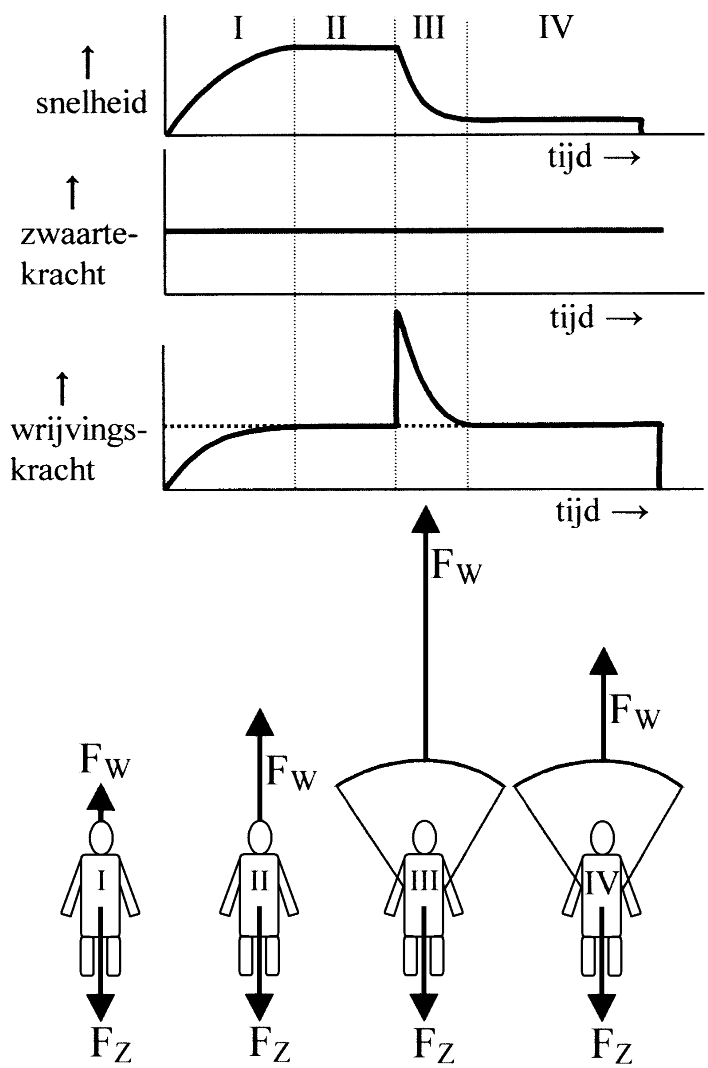


We kunnen nu de volgende gevallen onderscheiden.

- ♦ Als de spankracht even groot is als de wrijvingskracht blijft de snelheid van de auto constant. Er werkt dan geen resulterende kracht op de auto.
- ♦ Als de spankracht groter is dan de wrijvingskracht neemt de snelheid toe. De resulterende kracht op de auto wijst dan naar voren.
- ♦ Als de spankracht kleiner is dan de wrijvingskracht neemt de snelheid af. De resulterende kracht op de auto wijst dan naar achteren.

Voorbeeld 3

Jan is parachutespringer. Hij springt van een overhellende rots naar beneden. Hiernaast zijn drie grafieken weergegeven. In het bovenste diagram is de snelheid waarmee Jan daalt tegen de tijd uitgezet. In de diagrammen daaronder zijn de twee krachten die op Jan werken tegen de tijd uitgezet. De zwaartekracht is constant en hangt alleen van Jans massa (inclusief parachute) af. De luchtwrijvingskracht is afhankelijk van Jans snelheid en ook van de parachute (open of dicht).



De beweging van Jan kan in vier trajecten worden verdeeld (I, II, III en IV). Zie ook de tekeningen met krachten onder de grafieken.
In traject I is Jan net gesprongen en wordt zijn snelheid steeds groter. Dit komt omdat de zwaartekracht nog groter dan de wrijvingskracht is. Overigens neemt deze wrijvingskracht wel toe ten gevolge van de toenemende snelheid.
In traject II is de daalsnelheid constant omdat de zwaartekracht en de wrijvingskracht even groot zijn.
In traject III remt Jan sterk af omdat hij zijn parachute heeft opengetrokken. Daardoor is de wrijvingskracht sprongsgewijs toegenomen. Deze neemt echter wel af naarmate de snelheid kleiner wordt.
In traject IV is de daalsnelheid constant omdat de zwaartekracht en de wrijvingskracht even groot zijn. Dit traject eindigt met de landing op de grond.

Opgaven bij § 10

Opgave 1
Wat wordt bedoeld met de wet van de traagheid?

Opgave 2
Wat kun je over de resulterende kracht op een voorwerp zeggen als zijn snelheid constant is in grootte en in richting?

Opgave 3
Waarom is het gezegde “massa is traag” niet in tegenspraak met het feit dat zware voorwerpen toch heel snel kunnen bewegen?

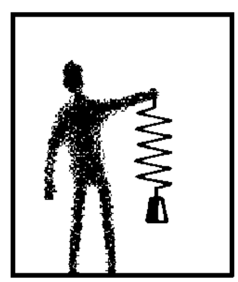
Opgave 4
Een auto rijdt op een horizontale weg. Op de auto werken de voortstuwende kracht (geleverd door de motor; naar voren wijzend) en de tegenwerkende kracht (alle wrijvingskrachten samen; naar achteren wijzend). De tegenwerkende kracht bedraagt 600 N.
Wat kun je over de grootte van de voortstuwende kracht zeggen in de volgende drie gevallen?

a. de snelheid van de auto is constant.

b. de snelheid van de auto neemt toe.

c. de snelheid van de auto neemt af.

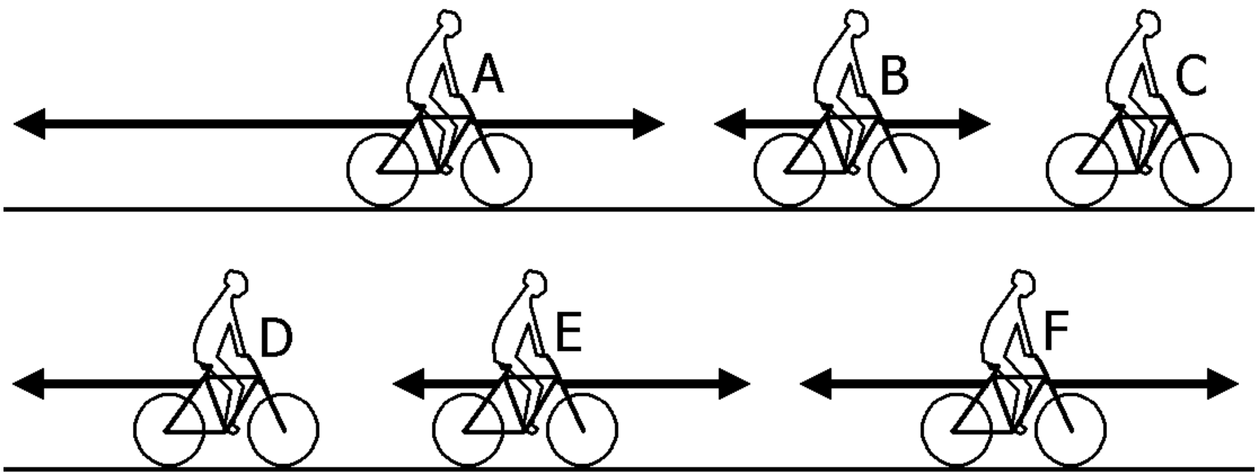
Opgave 5
Een persoon staat in een lift. De lift staat stil. De persoon heeft één uiteinde van een grote spiraalveer in zijn hand. Aan het andere uiteinde hangt een blok ijzer. Zie de figuur hiernaast. De lengte van de spiraalveer bedraagt in deze toestand 60 centimeter.
Een tweede persoon stapt de lift binnen en drukt op het knopje van de bovenste verdieping. Na een korte tijd waarin de lift optrekt beweegt de lift met een constante snelheid naar boven.
Zal in deze nieuwe situatie de veerlengte groter zijn dan, kleiner zijn dan of gelijk zijn aan 60 cm? Licht je antwoord toe.



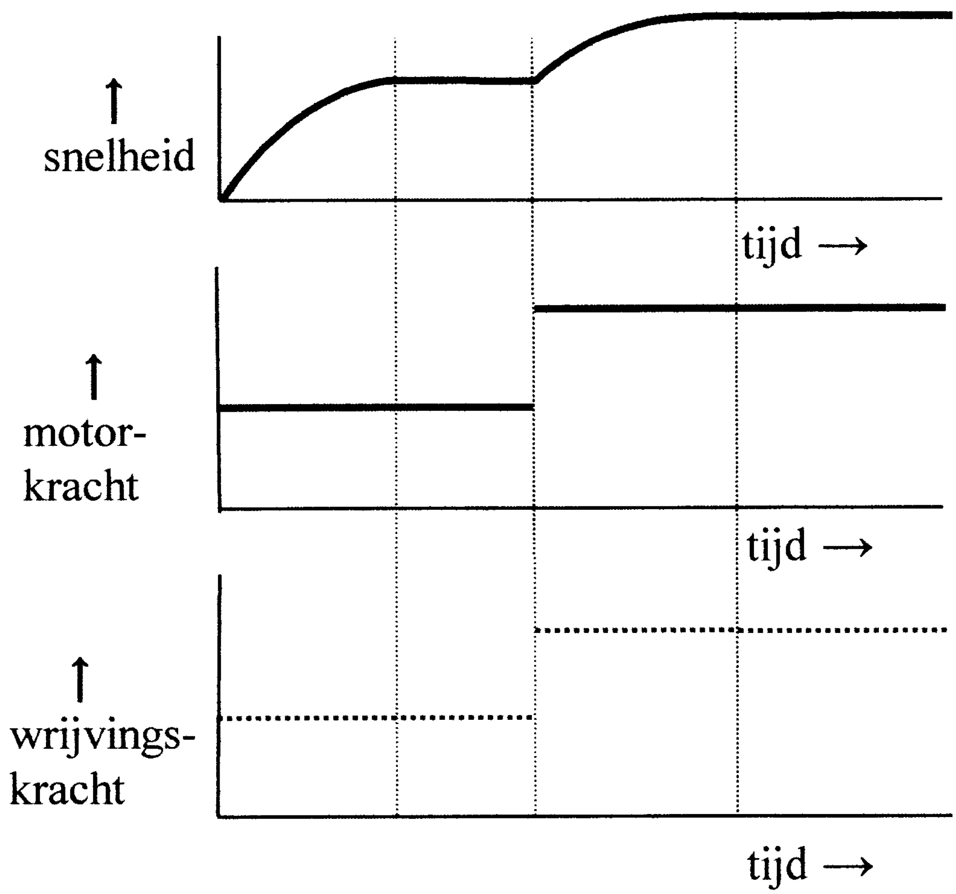
Opgave 6
Je staat in een lift. In welke situatie(s) heb je de grootste kans dat de liftkabels breken? Kies uit de volgende mogelijkheden.
-a- tijdens het optrekken bij het naar beneden gaan;
-b- tijdens het afremmen bij het naar beneden gaan;
-c- tijdens het optrekken bij het naar boven gaan;
-d- tijdens het afremmen bij het naar boven gaan;
-e- tijdens de constante snelheid naar boven;
-f- tijdens de constante snelheid naar beneden.

Opgave 7
Je rijdt met je fiets op een vlakke asfaltweg. Het is windstil. Je snelheid is constant 15 km/h. Op een bepaald moment ga je harder trappen. Hierdoor neemt je snelheid toe tot 25 km/h. Je blijft een tijdje met 25 km/h rijden. Plotseling gaat de asfaltweg over in een zandweg. Je trapkracht verander je niet. Door de toegenomen rolwrijving daalt je snelheid tot 10 km/h. Je blijft een tijdje met 10 km/h rijden. Op een bepaald moment stop je met trappen. Uiteindelijk sta je stil.

In de onderstaande figuur zijn een aantal momentopnamen van je fietstocht weergegeven. In elke figuur zijn de voorwaartse kracht (van het trappen) en de wrijvingskracht getekend (let niet op de aangrijpingspunten). Geef de juiste volgorde van de figuren. Let op: één figuur moet twee keer in je rijtje voorkomen.



Opgave 8
Een auto trekt vanuit stilstand op. Op een gegeven moment bereikt de auto een constante snelheid. Na deze snelheid enige tijd gereden te hebben trekt de auto verder op. Daarna wordt opnieuw een constante snelheid bereikt. De onderstaande figuren hebben betrekking op deze auto.
In het bovenste diagram is de snelheid van de auto tegen de tijd uitgezet.
In het middelste diagram is de motorkracht tegen de tijd uitgezet.
Schets in het onderste diagram het verloop van de wrijvingskracht (lucht- plus rolwrijving) tegen de tijd.
Als hulp hierbij kunnen de horizontale stippellijnen dienen. Deze stellen de motorkracht voor (uit het middelste diagram).
NB De diagrammen staan precies onder elkaar waarbij de tijdassen gelijk zijn.



Opgave 9
Jan werkt bij het circus en heeft een act met zijn scooter. Tijdens het rijden zit hij eerst rechtop. Op een bepaald moment gaat hij al rijdende op zijn scooter staan. Hij “vangt” hierdoor veel wind waardoor hij afgeremd wordt. Enige tijd later gaat hij op zijn scooter liggen waardoor hij juist veel minder luchtweerstand heeft en zijn snelheid weer toeneemt.
Hieronder staan drie diagrammen precies onder elkaar gezet.
In het bovenste diagram staat de snelheid van Jan (+ scooter) tegen de tijd uit.
In het middelste diagram staat de motorkracht van de scooter tegen de tijd uit. Uit de figuur blijkt dat de motorkracht niet verandert.
Schets in het onderste diagram het verloop van de wrijvingskracht (op Jan + scooter) tegen de tijd. De horizontale stippellijn in dit diagram stelt de motorkracht voor (uit het middelste diagram).