
Kinematica: tweedimensionale bewegingen

9 september 2025

Inhoudsopgave

Deel IV

Dynamica: De wetten van Newton

Inleiding

In de voorgaande hoofdstukken hebben we in de kinematica enkel bewegingen beschreven, door o.a. de fysische grootheden positie, snelheid en versnelling te gebruiken. Nu willen we die bewegingen ook kunnen verklaren; waardoor bewegen voorwerpen en hoe doen ze dat, gegeven de oorzaken? In de dynamica wordt het concept kracht als oorzaak van beweging gegeven en geeft de tweede wet van Newton het verband tussen de kracht de beweging.

De drie beginselen van Newton vormen, samen met enkele krachten, de fundamentelementen waarop de klassieke mechanica is gebouwd.

We focussen hier op de dynamische uitwerking van een kracht, de statische laten we voornamelijk achterwege. Dat doen we door de lichamen te beschouwen als puntmassa's.

De eerste wet van Newton

Om een boek met een constante snelheid over de tafel te duwen, is een zekere kracht nodig. Met een smeermiddel tussen boek en tafel is al minder kracht nodig. In de praktijk geen wrijving realiseren is niet mogelijk maar duidelijk is dat hoe minder wrijving hoe minder kracht nodig is om het boek met een constante snelheid te laten bewegen. Eenmaal in beweging gebracht, nadert de benodigde kracht tot nul, en dat terwijl het boek met constante snelheid blijft bewegen.

Door aan te nemen dat er geen kracht nodig is om in beweging te blijven, valt deze opeenvolging van waarnemingen te verklaren.

Deze aanname zit vervat in de eerste wet van Newton.

Definition 1. De eerste wet van Newton

Een voorwerp behoudt zijn toestand van rust of van eenparige rechtlijnige beweging, tenzij er een resulterende kracht op werkt.

Remark 1. De eerste wet van Newton wordt ook wel de traagheidswet genoemd. De eigenschap dat een lichaam zijn rust of constante snelheid op een rechte lijn behoudt, wordt inertie of traagheid genoemd. Vandaar de alternatieve naam voor de wet.

Denkvraag 1 Als je tegen een van 300 km/h in de Thalys richting Parijs zit, voel je de zetel dan harder tegen jou duwen dan dat ze dat doet wanneer je nog stilstaat in Brussel-Zuid?

Denkvraag 2 (a) Hoe kunnen de broers Staf en Mathias Coppens in het filmpje gemaakt voor het programma Het Lichaam van Coppens blijven bewegen door de lucht terwijl de zetel toch niet meer duwt?

(b) Waarom wrijven de broers bruine zeep op de plank?

YouTube link: <https://www.youtube.com/watch?v=1-X8sG1JV6Q>

Oefening 3 Wanneer je met de fiets fietst, rechtdoor en met een constante snelheid, dan is de kracht die je voorwaarts uitoefent gelijk aan✓ de weerstandskracht die achterwaarts is gericht?

Met andere woorden: de resulterende kracht op jouw fiets is dan nul✓. De resulterende kracht is nul! Want als er een resulterende kracht was, dan zou volgens de wet van de traagheid de toestand van eenparige rechtlijnige beweging niet worden behouden, en zou je ofwel trager ofwel sneller gaan rijden.

De eerste wet van Newton

Als je met een constante snelheid fiets, is de kracht die je uitoefent precies voldoende om alle wrijvingskrachten op te heffen. Als je minder kracht uitoefent, vertraag je en als je meer kracht uitoefent versnel je.

Oefening 4 *Als je plots remt met je fiets kan je over je stuur vliegen. Hoe komt dat? Volgens de wet van de traagheid wil je je toestand van beweging voortzetten. Omdat de fiets slechts een beperkte kracht op jou kan uitoefenen, bestaat de kans dat die niet groot genoeg is om je tot stilstand te brengen.*

De tweede wet van Newton

De eerste wet vertelt ons niet volledig wat er gebeurt wanneer op een lichaam een kracht werkt. Ze vertelt ons niet wat de relatie tussen kracht en beweging is. Dat doet de tweede wet.

Een bal waar je harder tegen schopt, krijgt een grotere snelheid mee en een pingpongballetje vliegt gemakkelijker weg dan een basketbal wanneer je er een tik tegen geeft. Als je het nader onderzoekt, door bijvoorbeeld verschillende krachten op een wagentje met eventueel steeds andere massa's te laten inwerken en de bijbehorende versnellingen te meten, merk je dat de versnelling recht evenredig is met de resulterende kracht en dat massa en versnelling omgekeerd evenredig zijn. M.a.w. $a \sim F/m$. Als bovendien een kracht zijdelings inwerkt op een bewegend voorwerp, dan merk je dat de baan afbuigt, in de richting van de kracht.

De eenheid van de grootte kracht is de newton (symbool N). Eén newton wordt gedefinieerd als de grootte van de kracht die een massa van één kilogram een versnelling van één meter per seconde kwadraat geeft.

Bovenstaande observaties, samen met de definitie van de eenheid van kracht, zitten vervat in de tweede wet van Newton, die een kwantitatieve relatie tussen kracht en versnelling poneert.

Definition 2. De tweede wet van Newton

De versnelling van een voorwerp is recht evenredig met de erop inwerkende resulterende kracht en omgekeerd evenredig met de massa van het voorwerp. In symbolen:

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

Remark 2. De wet spreekt over de *resulterende* kracht. Het is de resulterende kracht die gelijk is aan $m\vec{a}$, niet zomaar een van de inwerkende krachten.

Remark 3. Het gaat over de resulterende kracht die *op* het voorwerp met massa m wordt uitgeoefend en over de versnelling a *van* het voorwerp. De krachten worden door andere voorwerpen op het voorwerp uitgeoefend. Het is niet dat het voorwerp een kracht ‘bezit’ of een kracht op zichzelf kan uitoefenen.

Remark 4. De formulevorm is een vectorvergelijking. Zoals de kracht is, is ook de versnelling. Omdat de formule een vectorvergelijking is, is de gegeven formule equivalent met de componentsvergelijkingen:

$$\vec{F} = m\vec{a} \quad \Leftrightarrow \quad \begin{cases} F_x = ma_x \\ F_y = ma_y \end{cases}$$

De tweede wet van Newton

De componentsvergelijkingen zijn in de praktijk handiger, er valt algebraïsch mee te rekenen.

De tweede bewegingswet geeft een verband tussen de oorzaak van een beweging (de resulterende kracht) en de versnelling van de beweging.

De formulevorm van de tweede wet ziet er misschien gemakkelijk uit maar is in al haar eenvoud *immens* krachtig. De wetmatigheid verklaart alle mechanische bewegingen; als we de krachten kennen, kennen we de versnelling van het voorwerp en kunnen we (althans op zijn minst in theorie) de baan van het voorwerp bepalen.

In feite zit de eerste wet vervat in de tweede. Toch blijven we hem gebruiken, vooral om het concept traagheid te benadrukken.

Denkvraag 5 Waar en hoe in het filmpje van Wile E. Coyote en de Road Runner wordt de tweede wet van Newton met de voeten getreden?

YouTube link: <https://www.youtube.com/watch?v=hvjAr6cHUVM>

Oefening 6 Een massa van 2,0 kg bevindt zich in een lift aan een dynamometer. Die laatste duidt een kracht van 10 N aan. Welke beweging voert de lift uit?

Meerkeuze:

- (a) De lift beweegt naar omlaag met een versnelling van $5,0 \text{ m/s}^2$. ✓
- (b) De lift beweegt naar omhoog met een versnelling van $5,0 \text{ m/s}^2$.
- (c) De lift beweegt naar omlaag met een constante snelheid.
- (d) De lift beweegt naar omhoog met een constante snelheid.



Oefening 7 Op een luchthaven trekt een vrouw haar koffer met een constante snelheid voort. Het handvat maakt een hoek θ met de horizontale. De massa van de koffer is $10,5 \text{ kg}$. De vrouw trekt volgens de richting van het handvat met een kracht van $25,0 \text{ N}$ terwijl de grootte van de wrijvingskracht op de valies $11,0 \text{ N}$ bedraagt.

- (a) Teken het krachtendiagram van de koffer.
- (b) Bepaal de hoek θ tussen het handvat en de horizontale.
- (c) Bepaal de normaalkracht die de grond op de koffer uitoefent.



De snelheid is constant zodat volgens de horizontale richting de versnelling nul is. De component van de trekkracht volgens deze richting moet dan ook even groot zijn als de wrijvingskracht:

$$\begin{aligned}
 F \cos \theta &= F_w \\
 \Downarrow \\
 \theta &= \arccos\left(\frac{F_w}{F}\right) \\
 &= 1,16 \text{ rad} = 64^\circ
 \end{aligned}$$

Ook volgens de verticale richting is de versnelling nul zodat¹:

$$\begin{aligned}
 F \sin \theta + F_n &= F_z \\
 \Downarrow \\
 F_n &= mg - F \sin \theta \\
 &= 83 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Oefening 8 In de laadruimte van een vrachtwagen hangt een slinger aan het plafond vast. Doordat de vrachtwagen met een constante versnelling optrekt, maakt het touw van de slinger een hoek van 37° met de verticale.

¹Als je expliciet het gevraagde in functie van de gegevens wil zetten, moet je de y -component van de trekkracht met de stelling van Pythagoras berekenen. De uitkomst is dan $F_n = mg - \sqrt{F^2 - F_w^2}$.

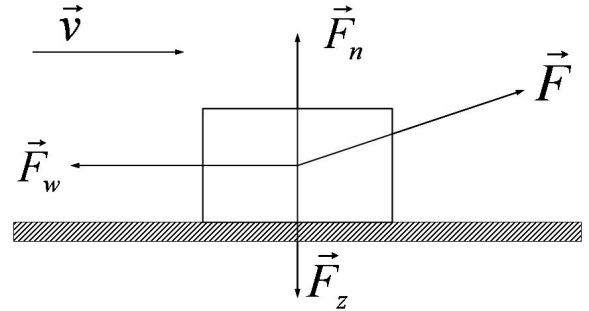


Bepaal de grootte van de versnelling van de vrachtwagen.

Oefening 9 Onder invloed van een kracht \vec{F} beweegt een blok met constante snelheid over een ruw horizontaal oppervlak. De krachten op de figuur hebben de juiste oriëntatie maar niet noodzakelijk de juiste grootte. Welke van de volgende relaties tussen \vec{F} , \vec{F}_w , \vec{F}_z en \vec{F}_n moet in ieder geval waar zijn?

Meerkeuze:

- (a) $F_w = F$ en $F_n = F_z$
- (b) $F_w < F$ en $F_n < F_z$ ✓
- (c) $F_w = F$ en $F_n > F_z$
- (d) $F_w < F$ en $F_n = F_z$



We ontbinden de kracht \vec{F} in zijn twee componenten volgens de horizontale en verticale richting: \vec{F}_x, \vec{F}_y . Aangezien het blok in de verticale richting niet versnelt, moet $F_z = F_n + F_y$ of $F_n < F_z$.

De derde wet van Newton

Krachten komen niet uit het niets, ze worden altijd door een ander voorwerp uitgeoefend. Zo is het de hamer die de spijker in de muur drijft en is het de voet die een trap tegen de bal geeft. In deze voorbeelden oefent het ene voorwerp een kracht uit en ondergaat het andere voorwerp die kracht. Maar, is het zo eenzijdig ...? Het volgende voorbeeld geeft aan van niet. Het geeft aan dat er naast een ‘actie’kracht ook altijd een ‘reactie’kracht optreedt.

Meestal plooiën vingers naar de handpalm toe. De praktijk leert dat het andersom toch iets moeilijker gaat, misschien vandaar. Als de andere hand echter wat helpt door te duwen (dus een kracht uitoefent op de vingers), plooiën de vingers al iets verder naar achter; uit zichzelf geraken ze niet zo ver. Als je nu – ter vergelijking – met gestrekte vingers tegen de tafel duwt, plooiën je vingers eveneens meer naar achteren dan dat ze uit zichzelf zouden kunnen. Omdat de vingers zonder een extern uitgeoefende kracht niet zo ver kunnen doorbuigen, valt te concluderen dat naast de kracht die door de vingers op de tafel wordt uitgeoefend, de tafel op zijn beurt een kracht uitoefent op de vingers.

De derde bewegingswet van Newton – ook wel de wet van actie en reactie genoemd – geeft de relatie tussen de krachten die lichamen onderling op elkaar uitoefenen.

Definition 3 (De wet van actie en reactie).

Wanneer lichaam A op lichaam B een kracht uitoefent, oefent lichaam B op lichaam A een even grote maar tegengestelde kracht uit. In symbolen:

$$\vec{F}_{a,b} = -\vec{F}_{b,a}$$

Het even groot zijn van die krachten is misschien opmerkelijk. Het is toch de appel die naar de aarde valt en niet andersom?! Of, als de kracht die de aarde op de appel uitoefent even groot is als die de appel op de aarde uitoefent, waarom gaan ze dan niet naar mekaar toe? Het antwoord is dat de *uitwerking* van een kracht niet hetzelfde is als de kracht zelf. De massa van de aarde is gigantisch veel groter dan die van de appel zodat die, volgens de tweede wet van Newton, een veel kleinere versnelling krijgt. En het is de versnelling die we zien, niet de kracht.

Er is altijd een voorwerp *waardoor* de kracht wordt uitgeoefend en een voorwerp *waarop* de kracht wordt uitgeoefend.

Denkvraag 10 *De ezel van boer Teun, Donkey, wil de kar met waar voor de markt niet trekken. Hij maakt namelijk de volgende redenering: ‘Voor elke poging die ik doe om de wagen vooruit te trekken, oefent de kar een even grote*

maar achterwaartse kracht uit. De nettokracht zal dan ook onvermijdelijk altijd nul zijn, zodat ik niet in beweging zal geraken. Ik doe geen moeite.’

Waar loopt de redenering van de ezel mis?

Omdat de twee krachten van het krachtenpaar tegelijk optreden, is het in feite niet mogelijk aan te geven wie nu de actiekracht en wie de reactiekracht is.

Met deze derde wet kunnen we verschillende verschijnselen verklaren. Hier volgen enkele voorbeelden.

Example 1 (Hoe kunnen we eigenlijk lopen?).

Zo is de wet van actie en reactie van toepassing op wandelen. Wij kunnen vanuit rust in beweging komen door ons af te zetten. Wij oefenen een kracht op de grond uit waarbij deze laatste op zijn beurt een even grote en tegengestelde kracht op ons uitoefent. Zo krijgen wij een versnelling.

Example 2 (Hoe stuwt een raket zich voort?).

Een vliegtuig met straalmotoren of een raket doen hetzelfde. Door het uitoefenen van een kracht op de naar achter uitgeworpen gassen, oefenen de uitgeworpen gassen een kracht uit op het vliegtuig of de raket. Maar dan voorwaarts. (Een vliegtuig of raket duwt zich dus niet af tegen de (eventuele) lucht.)

Oefening 11 Een grote magneet oefent op een ijzeren spijkertje een kracht uit. Welke van de volgende uitspraken is dan juist?

Meerkeuze:

- (a) Het spijkertje zelf oefent op de magneet geen kracht uit.
- (b) De kracht die het spijkertje op de magneet uitoefent is veel kleiner dan deze door de magneet op het spijkertje uitgeoefend.
- (c) De kracht die het spijkertje op de magneet uitoefent is even groot als deze door de magneet op het spijkertje uitgeoefend. ✓
- (d) Over de grootte van de kracht die het spijkertje op de magneet uitoefent, kan niets met zekerheid gezegd worden.

Oefening 12 Je springt vanuit een roeibootje naar de oever. Verklaar wat er kan gebeuren als het roeibootje niet of wel vastgemeerd is. Wanneer je nu vanaf een groot binnenschip naar de oever springt, wat zou het resultaat dan zijn? Verklaar! Bij een roeibootje dat niet vastgemeerd is, is er veel kans dat je in het water belandt. Bij het afzetten, schiet het bootje namelijk gemakkelijk onder je weg. Hoe komt dat? Wel, doordat je je afzet, oefen je een kracht uit op het bootje. De **derde wet van Newton** zegt dat het bootje dan een even grote kracht op jou uitoefent, in de tegengestelde richting. Het is die reactiekracht die

je zou willen aanwenden om op de oever te geraken. De massa van het bootje is echter zo klein in vergelijking met jouw massa dat, volgens de **tweede wet van Newton** ($\vec{F} = m\vec{a}$), de versnelling die het bootje krijgt als gevolg van jouw actiekracht veel groter is dan de versnelling die je zelf krijgt door de afzet. In de korte tijd dat je jezelf kan afzetten, verwerft het bootje dus een grote snelheid waardoor het onder je wegschiet en krijg jij geen noemenswaardige snelheid opgebouwd.

Als het bootje is vastgemeerd, lukt het je wel de oever te bereiken. Het bootje kan immers niet wegschieten waardoor je je voldoende lang kan afzetten (er werkt voldoende lang een kracht op jou) en zo de nodige snelheid kan verwerven (je krijgt immers een versnelling) om de sprong te kunnen maken.

Voor een groot binnenschip is de massa zo groot in vergelijking met die van jou, dat het binnenschip een verwaarloosbare versnelling weg van de oever krijgt. Je kan een voldoende grote versnelling opbouwen die lang genoeg aanhoudt om je op de oever te krijgen.

Oefening 13 Twee ploegen zijn aan het touwtrekken. Volgens het derde beginsel van Newton oefenen de twee ploegen steeds even grote maar tegengestelde krachten op elkaar uit. Hoe is het dan mogelijk dat er toch een winnende ploeg is? Er is een winnende ploeg mogelijk omdat het samenstellen van krachten op elke ploeg afzonderlijk gebeurt. Het zijn niet de actie- en reactiekracht (derde wet van Newton) die worden samengesteld.

De winnende ploeg slaagt erin zich beter af te zetten dan de verliezende ploeg. Dat wil zeggen dat de reactiekracht van de kracht die ze op de grond uitoefenen (de weerstandskracht dus) groter is dan de kracht tussen de twee ploegen. De resulterende kracht van de weerstandskracht en de spankracht op de ploeg, zorgt volgens de tweede wet van Newton voor een versnelling; de ploeg komt in beweging. Voor de verliezende groep is dat net omgekeerd.

Oefening 14 Een eekhoortje glijdt over een gladde tafel met een heleboel nootjes tussen zijn voorpoten. Wat zou het moeten doen om te verhinderen dat het van de tafel valt? Leg uit.

Het eekhoortje moet de noten voor zich uit gooien. De reactiekracht van de kracht die de eekhoorn op de nootjes uitoefent, grijpt aan op de eekhoorn en is tegengesteld gericht. Die reactiekracht kan hem afremmen en hem verhinderen van de tafel te glijden.

Oefeningen Wetten van Newton

Denkvragen

Oefening 15 *Kan een voorwerp bewegen zonder dat er een kracht op werkt?*

Oefening 16 *Waarom is een met boomstammen geladen vrachtwagen voor de bestuurder zo gevaarlijk, als hij bruusk moet remmen, of bij een botsing betrokken raakt?*

De boomstammen willen volgens de eerste wet van Newton tijdens het remmen hun beweging voortzetten.

Oefening 17 *Hoe komt het dat een vrachtwagen binnen een veel kortere afstand kan stoppen dan een trein die dezelfde snelheid heeft?*

Oefening 18 *Wat word je gewaar als je met een wapen een kogel afvuurt? Waarom druk je best de kolf stevig tegen de schouder aan?*

Oefening 19 *Hoe komt het dat je gemakkelijk vaststelt dat de aarde een kracht uitoefent op een appel, maar dat je niets merkt van de kracht door de appel op de aarde uitgeoefend?*

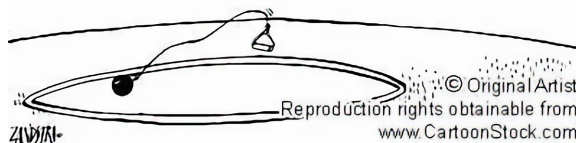
Oefening 20 *Wat gebeurt er met een roeiboot als men snel van de voor- naar de achterkant loopt?*

Oefening 21 *Op een bierglas ligt een plastic plaat met daarop een appel. Als Els de plaat snel wegtrekt valt de appel in het glas. Bij Lien die de plaat langzaam wegtrekt, niet. Verklaar het verschil tussen beide verschijnselen.*

Als je de plaat snel wegtrekt, is de wrijvingskracht te kortstondig aanwezig om de appel een noemenswaardige versnelling te geven. Trek je traag, dan is de versnelling misschien klein maar is ze lang genoeg aanwezig om de appel een voldoende grote snelheid te geven.

Oefening 22 *Wat klopt er fysisch niet aan wat er gebeurt in de cartoon?*

Author(s): Bart Lambregs



Oefening 23 Waarom valt in het luchtledige een massa van 2 kg niet twee keer zo snel als een massa van 1 kg?

In het vacuüm werkt op een vrije massa enkel de zwaartekracht in. Dat is dan ook de resulterende kracht op de massa. Die kracht is inderdaad twee keer zo groot voor een twee keer zo grote massa, maar een twee keer zo grote massa verzet zich ook twee keer zo hard tegen het veranderen van beweging; de traagheid is twee keer zo groot. Het resultaat is dat elk object met dezelfde versnelling naar de aarde valt.

Die hierboven eerder kwalitatieve redenering is kwantitatief uit te leggen met de tweede wet van Newton, $\vec{F} = m\vec{a}$:

$$F_z = ma$$

Met de formule $F_z = mg$ voor de zwaartekracht vinden we

$$mg = ma$$

Zodat, na de massa's te hebben geschrapt

$$a = g$$

De massa van het object heeft m.a.w. geen invloed op de versnelling waarmee het valt. Die versnelling is constant en in waarde gelijk aan de waarde van de veldsterkte. Omdat ook de eenheden overeenkomen (uit de tweede wet van Newton volgt dat $\text{N} = \text{kg} \cdot \text{m/s}^2$) wordt het symbool g voor zowel de veldsterkte als de valversnelling gebruikt. Bij ons heeft die de waarde $9,81 \text{ m/s}^2$.

Vraagstukken

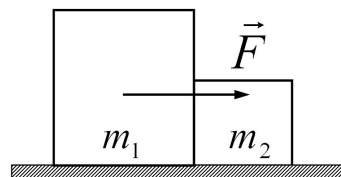
Oefening 24 Hoe groot is de snelheid die een slee met een massa van 5,0 kg krijgt, als er gedurende 6,0 s een kracht van 0,20 N horizontaal op inwerkt?

0,24 m/s

Oefening 25 Twee blokken met respectievelijke massa's m_1 en m_2 rusten op een horizontaal vlak. De wrijving tussen de blokken en het horizontale vlak mag verwaarloosd worden. Op één van de blokken wordt een horizontale kracht \vec{F} uitgeoefend zoals op de figuur is weergegeven. De kracht die blok 1 op blok 2 uitoefent is dan:

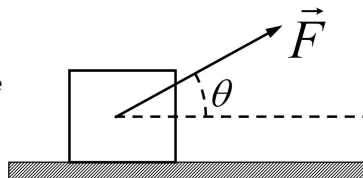
Meerkeuze:

- (a) $\frac{m_1}{m_2} \vec{F}$
- (b) $\frac{m_1}{m_1 + m_2} \vec{F}$
- (c) $\frac{m_2}{m_1 + m_2} \vec{F}$ ✓
- (d) \vec{F}



Oefening 26 Een doos van 10 kg wordt met een kracht van 40 N over een glad tafeloppervlak getrokken. De uitgeoefende kracht maakt een hoek van 30° met de horizontaal. Als de wrijving mag worden verwaarloosd, bepaal dan

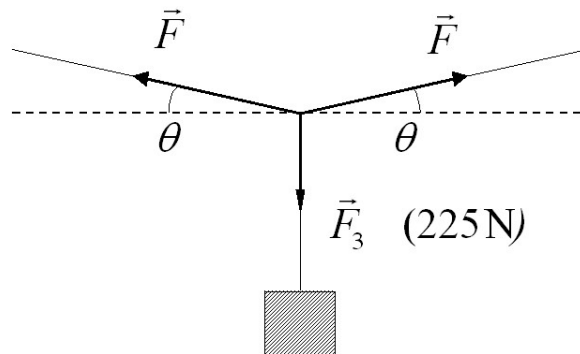
- (a) de versnelling van de doos,
- (b) de grootte van de normaalkracht, die de tafel op de doos uitoefent.



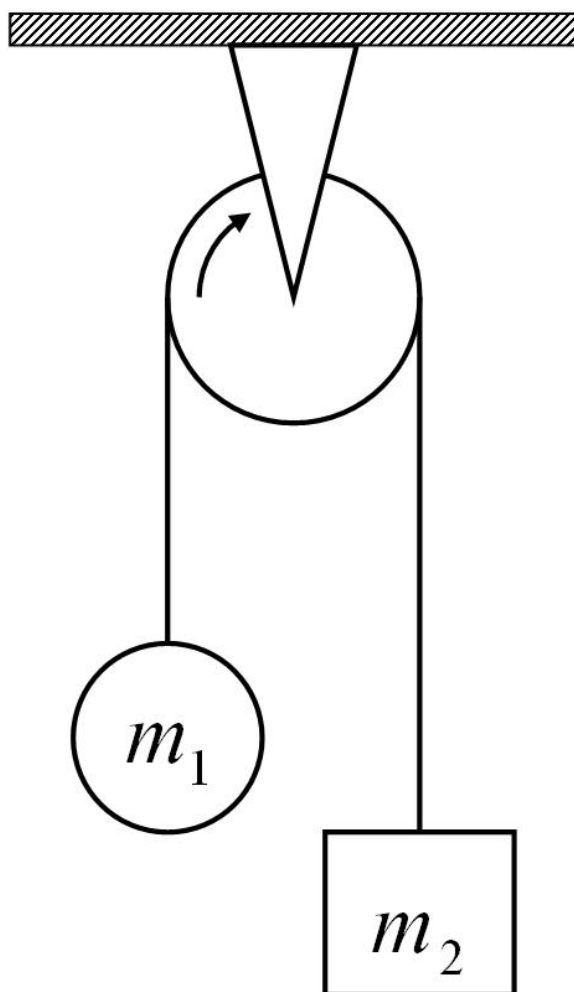
- (a) $a = \frac{F \cos \theta}{m} = 3,46 \text{ m/s}^2$
- (b) $F_n = mg - F \sin \theta = 78,1 \text{ N}$

Oefening 27 Een gewicht van 225 N is bevestigd in het midden van een sterk touw. Door aan beide kanten een even grote kracht uit te oefenen wordt het gewicht opgetild. Bepaal de grootte van die krachten opdat het gewicht zoals in de figuur met $\theta = 10^\circ$ komt te hangen.

Author(s): Bart Lambregs



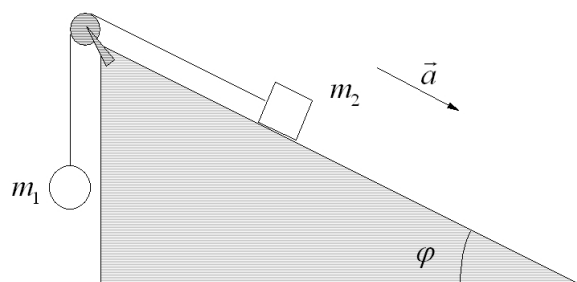
Oefening 28 (Toestel van Atwood) Twee verschillende massa's zijn via een katrol van te verwaarlozen massa met elkaar verbonden zoals in de figuur. De wrijving is eveneens te verwaarlozen.



Bepaal de grootte van de versnelling van beide massa's en de spankracht in het touw.

$$a = \frac{m_2 - m_1}{m_1 + m_2}g \quad F_s = \frac{2m_1m_2}{m_1 + m_2}g$$

Oefening 29 Twee massa's m_1 en m_2 zijn via een touwtje en een katrol van te verwaarlozen massa met elkaar verbonden zoals in de figuur. Er is geen wrijving aanwezig. De massa's hebben een versnelling zoals aangegeven.



Bepaal de grootte van de versnelling van beide massa's en de grootte van de spankracht in het touw.

Oefening 30 Hoe kan een man die 686 N weegt langs een touw naar beneden glijden, dat slechts 600 N kan dragen zonder te breken?

Stel dat de man inschat dat hij, zonder zijn botten te breken, in staat is te springen van toch wel 3,0 m hoog. Van hoe hoog zou hij dan met een dergelijk touw kunnen ontsnappen?

Door niet met zijn volle gewicht aan het touw te gaan hangen kan de man verhinderen dat het touw breekt. Het gevolg is wel dat hij een nettokracht naar beneden ondervindt waardoor hij toch naar beneden versnelt, al is het met een kleinere versnelling dan de valversnelling.

Door met 600 N aan het touw te trekken, ondervindt hij een spankracht omhoog met diezelfde grootte. Met een referentieas naar beneden volgt uit $F_z - F_s = ma$ en uit $m = \frac{F_z}{g}$ voor de versnelling van de man:

$$a = \left(1 - \frac{F_s}{F_z}\right) g \quad (1)$$

wat gelijk is aan $1,23 \text{ m/s}^2$.

Uit $v^2 = v_0^2 + 2ax$ volgt de maximale snelheid die hij bij de impact op de grond aankan als we voor a de valversnelling g nemen en voor x de gegeven 3,0 m. Uit diezelfde formule vinden we de hoogte h vanwaar de man kan ontsnappen als we nu de netto versnelling $a = 1,23 \text{ m/s}^2$ (??) nemen:

$$h = \frac{v^2}{2a} = \dots = \frac{F_z}{F_z - F_s} x$$

wat gelijk is aan 24 m.

Oefening 31 Een jager (massa 70 kg) heeft een ijsbeer (massa 350 kg) geschoten met een harpoen en wil die nu naar zich toe trekken met het touw. Jager en ijsbeer zijn oorspronkelijk allebei in rust op het ijsoppervlak en op 30 m van elkaar. Verwaarloos de wrijving met het ijs. Bepaal de afstand waarover de ijsbeer is verschoven als de jager de ijsbeer binnenhaalt.

Deel V

Toepassing wetten van Newton

Inleiding

Algemeen (heuristiek)

Dynamica van de ECB