In de ban van de zwaartekracht

Aarde
les 9

Als je springt kom je altijd vanzelf weer naar beneden. Dat komt door de zwaartekracht. Maar hoe werkt deze kracht precies? Is er overal zwaartekracht? En is zij overal even groot? In deze les onderzoeken de leerlingen met een experiment de zwaartekracht op aarde en rekenen ze deze kracht voor andere planeten uit.

Lesdoelen
De leerlingen:
- maken kennis met het concept zwaartekracht.
- leren het verband tussen de grootte van de kracht en de massa van planeten.
- leren het verhaal van Sir Isaac Newton, die de zwaartekracht voor het eerst wetenschappelijk beschreef.
- krijgen meer inzicht in zwaartekracht door middel van een valexperiment.
- leren wat vallen te maken heeft met de baan van satellieten om de aarde.
- berekenen de zwaartekracht op andere planeten.

Voorbereidingen
Zet een computer met beamer klaar voor het tonen van het filmpje. Leg de benodigdheden klaar voor de demonstratie- en groepsexperimenten.

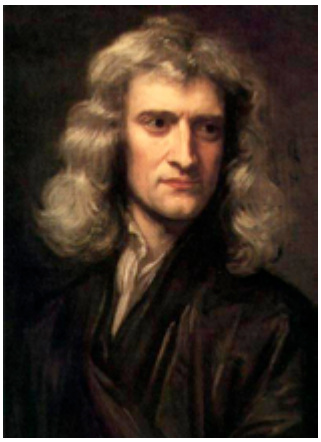
Benodigdheden
Demonstratie-experimenten (optioneel):
- Veerunster (weeghaak) die tenminste 100 gram kan meten (met schaal in gram of kilogram)
- Bak met water
- Ballon met helium
- Twee losse ballonnen
- Balans

Per groep:
- Plastic waterflesje met dop
- Water
- Priem of dikke naald
- Grote bak (als de leerlingen niet buiten zijn)
- Werkbladen *Gewicht(loos)* en *Hoe 'zwaar'?*

Tijdsduur
45 minuten

Kerndoelen
29, 31, 32

Vakken
Wiskunde
Natuurkunde



Sir Isaac Newton Bron: Wikimedia Commons

Bespreek met de leerlingen het concept zwaartekracht. Gebruik eventueel de anekdote en de vragen die Isaac Newton stelde. Wat is zwaartekracht en waar komen we het tegen? Is er buiten de aarde ook zwaartekracht?

Bespreek de grootheden gewicht en massa. Laat één of meerdere van de volgende experimenten zien. Bespreek per experiment het gewicht en de massa van het object.

1. Neem de veerunster. Hang hier een object aan van 100 gram. Laat een leerling aflezen hoeveel kracht of gewicht de veerunster aangeeft. Doe vervolgens het object gedeeltelijk of helemaal in een bakje water. Laat opnieuw een leerling aflezen. Is het gewicht van het object nu lager geworden? En is de massa van het object veranderd?
2. Laat de ballon met helium zien. Deze gaat niet naar beneden maar omhoog. Hoeveel zal hij wegen? Kan iets een gewicht hebben van minder dan 0 gram, oftewel een negatief gewicht? Gebruik eventueel een (zeer gevoelige) veerunster om te laten zien hoe groot de opwaartse kracht is. Daarmee kun je niet alleen de grootte van de kracht laten zien, maar ook de richting.
3. Neem de balans en hang of leg hier beide lege ballonnen op. Als het goed is, is de balans in evenwicht – de ballonnen zijn even zwaar. Blaas één van beide ballonnen op. De balans zal nu in de richting van de opgeblazen ballon bewegen. De opgeblazen ballon is zwaarder dan de lege ballon. Op het eerste gezicht logisch, want lucht heeft massa. Maar zakt lucht altijd naar beneden? Hoe zit dat met de heliumballon? En als je de ballonnen zou laten vallen, dan valt de ballon zonder lucht sneller. Hoe is dat te rijmen met gewicht?

Kom samen tot de volgende conclusies:

- Massa is de hoeveelheid materie. De eenheid daarvan is kilogram.
  De massa van een object blijft overal hetzelfde.
- Het gewicht varieert daarentegen wel, afhankelijk van omstandigheden.

Het is daarom in de natuurkunde niet correct om gewicht uit te drukken in kilogram. Wel correct is in Newton, de eenheid van kracht.

De leerlingen voeren het experiment uit van het werkblad Gewicht(loos). Omdat de leerlingen flessen met water laten vallen is het beter dit experiment buiten uit te voeren.

Bespreek het experiment na. De zwaartekracht op een vallend object kun je alleen waarnemen als er iets is dat het tegenhoudt. Als de leerlingen de fles vasthouden, wordt het water daarin belemmert door de wand van de fles. Als de fles met het water mee valt, dan is er niets meer dat het water tegenhoudt. Omdat het water en de fles in een vrije val zijn, is het water gewichtsloos totdat het neervalt.

Laat het volgende fragment zien van een zogenoemde paraboolvlucht:
http://bit.ly/PRdKLM
Een paraboolvlucht (of zero g-vlucht) is een vliegreis waarin gewichtloosheid wordt nagebootst. Het vliegtuig stijgt tot een hoogte van ongeveer 10 kilometer en valt dan 20 tot 30 seconden gecontroleerd naar beneden. Tijdens deze vrije val ervaren alle personen en objecten in het vliegtuig gewichtloosheid (net zo als het water in de fles tijdens het experiment). Daarna trekt het vliegtuig weer snel op om hoogte te winnen. Wetenschappers gebruiken dit soort vluchten om experimenten uit te voeren.

De leerlingen maken zelfstandig het werkblad Hoe zwaar? Kom samen met de leerlingen tot een sluitende definitie van de termen kracht, gewicht en massa.

Achtergrondinformatie voor de docent

Op een zonnige namiddag in 1666 zat Sir Isaac Newton, de belangrijkste wetenschapper van zijn tijd, in de tuin na te denken. Opeens zag hij een appel van de appelboom naar beneden vallen. Newton vroeg zich af: waarom valt die appel recht naar beneden en 'valt' hij niet opzij of omhoog?

Ook vroeg hij zich af waarom de maan niet op de aarde valt, zoals de appel, maar rond de aarde draait. Hij bedacht dat er een onzichtbare kracht moest zijn die de appel naar het midden van de aarde toe trekt. Die kracht noemde hij de gravitatiekracht naar gravitas, het Latijnse woord voor gewicht.

Toelichting bij afbeelding: Er is een bekende mythe over Sir Isaac Newton die onder de appelboom zat en de appel op zijn hoofd kreeg en daarna zijn verklaring voor de wat zwaartekracht is opstelde. Dit is geen bewezen verhaal. Zijn biografie, geschreven door zijn neef John Conduitt, maakt wel melding van een vallende appel, maar niet een die op zijn hoofd viel.

Later stelde hij dat de aarde niet alleen aan de voorwerpen trekt die erop staan, maar dat de aarde overal aan trekt, dus ook aan de maan. Sterker nog: de maan trekt ook overal aan, en dus ook aan de aarde. De zon trekt aan de aarde en aan alle andere planeten en alle planeten trekken ook weer elkaar aan. Oftewel: alle voorwerpen in het heelal trekken elkaar aan. Zelfs de appel trekt een beetje aan alle voorwerpen om hem heen.

Hoeveel aantrekkingskracht voorwerpen hebben hangt af van hun massa. De aarde heeft dus een veel grotere aantrekkingskracht dan een appel. Vandaar dat die appel naar de aarde lijkt te vallen. Toch is het zo dat de aarde ook naar de vallende appel toe beweegt. Maar omdat de aarde heel groot en zwaar is, komt zij bijna niet van haar plek.

Kracht, massa en gewicht

De termen kracht, massa en gewicht hebben in de natuurkunde elk een andere betekenis, maar zijn nauw aan elkaar verwant. Het is dus belangrijk om ze goed van elkaar te scheiden en genuanceerd naar de betekenis te kijken.

Kracht is het vermogen om objecten te verplaatsen. Een netto kracht op een object zorgt voor de verandering in beweging, vervorming of een overbrenging in een bepaalde richting. De eenheid van kracht is Newton (N). Eén Newton komt overeen met de kracht die nodig is om één kilogram een snelheid te geven van één meter per seconde in één seconde tijd. Oftewel, 1 N is de kracht die nodig is om 1 kilogram een versnelling te geven van 1 m/s^2.

De zwaartekracht op aarde geeft alle objecten een versnelling van 9,81 m/s^2. Daarom wordt 1 N soms voorgesteld als de kracht die nodig is om (ongeveer) 100 gram op aarde op te tillen. Deze vereenvoudigde voorstelling is veel makkelijker te begrijpen, maar kan soms wel leiden tot misconcepten. Bijvoorbeeld dat kracht rechtevenredig is met verplaatsing of snelheid in plaats van met versnelling. Of dat in een wrijvingsloze omgeving een beweging in stand houden kracht kost.

De massa van een voorwerp is de hoeveelheid materie. Een zwaar object bestaat uit veel materie en heeft dus een hoge massa. Meestal hebben grote objecten veel massa, maar dat hoeft niet. Een kubieke meter lucht heeft meer massa dan een liter lucht, maar wel veel minder massa dan een liter lood. De massa van een object is overal in het heelal hetzelfde.

Het gewicht van een object wordt in de natuurkunde gezien als een kracht, namelijk de zwaartekracht. Als gevolg daarvan drukken natuurkundigen het gewicht niet uit in kilogram, maar in Newton. Een kilogram 'weegt' op aarde niet 1 kg, maar 9,81 N. Daarom heeft een kilogram op de maan een ander gewicht dan op aarde. Op de maan 'weegt' een kilogram 1,62 N. Als je op een weegschaal zou staan op de maan, dan zou de weegschaal een gewicht aangeven die ongeveer zes maal lager is dan de massa op aarde. Een weegschaal meet echter geen massa, maar de zwaartekracht. De meter staat zo afgesteld dat hij op aarde de zwaartekracht direct kan vertalen naar de massa. Op de maan zal de weegschaal opnieuw geijkt moeten worden.

Zwaartekracht, ook wel aantrekkingskracht of gravitatiekracht genoemd, zorgt ervoor dat:

- je altijd een kracht ervaart die gericht is naar het midden van de aarde.
- de maan om de aarde draait.
- de aarde, andere planeten, planetoïden, kometen en vele andere objecten om de zon draaien.
- de zon en alle sterren een baan beschrijven rondom het middelpunt van de Melkweg.

De grootte van de zwaartekracht tussen twee objecten hangt af van een aantal variabelen en dat is weer te geven in de volgende formule, die de leerlingen in de bovenbouw krijgen.

$$F = G\frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

Met **F** de kracht, $\mathbf{m_1}$ en $\mathbf{m_2}$ de massa's van twee objecten en **r** de afstand tussen de objecten. De gravitatieconstante **G** is nodig om met de formule de (val)versnelling **a** op één van beide objecten uit te rekenen:

$$F = m \cdot a$$

Hieruit kun je de grootte van de valversnelling op een willekeurig hemellichaam uitrekenen:

$$F = G\frac{m_1}{r^2}$$

Voor de leerlingen zijn formules nog te hoog gegrepen en daarom beschrijven we enkel de verbanden:

- De zwaartekracht op een planeet is rechtevenredig met de massa van de planeet. Oftewel: hoe zwaarder de planeet, hoe groter de zwaartekracht. Op de maan is minder zwaartekracht dan op de aarde. Op Jupiter en op de zon is juist meer zwaartekracht.
- Zwaardere objecten ondervinden een hogere zwaartekracht. Zo ondervindt een olifant meer zwaartekracht dan een mens.
- De zwaartekracht is omgekeerd evenredig met (het kwadraat van) de afstand tussen object en planeet. Aan het aardoppervlak is de zwaartekracht daarom groter dan op 1000 km hoogte.

Verdere gevolgen van de zwaartekracht

De zwaartekracht beperkt zich niet tot grote hemellichamen. Ook kleine objecten trekken elkaar aan. Bijvoorbeeld een pen en papier op tafel. Maar de kracht tussen die twee is ruim een quadriljard (een 1 met 27 nullen) maal zo klein als de kracht tussen pen of papier en de aarde. In onze belevingswereld merken we daar dus niets van.

In de astron0mische wereld is de zwaartekracht erg belangrijk. Ondanks de grote afstanden tussen de hemellichamen is de zwaartekracht alomtegenwoordig. Zo zorgt de zwaartekracht van de zon ervoor dat objecten tot ruim een lichtjaar afstand (bijna $9{,}5 \times 10^{15}$ meter) nog om de zon heen kunnen draaien. Als de aarde niet zelf zou

bewegen, dan zou deze naar de zon toegetrokken en opgeslokt worden. Gelukkig heeft de aarde een snelheid van 30 kilometer per seconde loodrecht op de aantrekkingskracht. Dat zorgt ervoor dat de aarde om de zon heen blijft 'vallen'.

Op aarde zelf zijn er lichte verschillen in zwaartekracht. Dit komt voornamelijk door de draaiing van de aarde. De draaiing van de aarde veroorzaakt een middelpuntvliedende kracht tegengesteld aan de zwaartekracht. Daardoor is de zwaartekracht iets kleiner in de buurt van de evenaar – daar is de middelpuntvliedende kracht groter dan op de polen. Maar dat is niet alles. Deze middelpuntvliedende kracht heeft ook tot gevolg dat de aarde aan de boven- en onderkant is afgeplat. En dat heeft weer tot gevolg dat er rond de evenaar meer massa is en objecten daar eigenlijk iets meer gewicht krijgen. Daar staat tegenover dat de afstand van de evenaar tot het middelpunt van de aarde groter is. Al deze factoren bij elkaar opgeteld is de zwaartekracht op de evenaar netto een half procent lager dan op de polen.

werkblad

Gewicht(loos)

Aarde
les 9

Alles heeft een massa, ook water. De zwaartekracht zorgt ervoor dat alles ook gewicht heeft. Hoeveel gewicht iets heeft hangt vooral af van de massa, maar ook van andere factoren. In deze proef ga je ontdekken hoe je de zwaartekracht in een fles kunt beïnvloeden.

Wat heb je nodig?

- Flesje met dop
- Water
- Priem of dikke naald
- Als je niet buiten bent: grote opvangbak

Wat ga je doen?

1 Vul het flesje helemaal met water en draai de dop er goed op. Houd het gevulde flesje steeds boven de grote opvangbak.

2 Prik met een priem of de naald in de zijkant – op ongeveer 5 centimeter van de onderkant – een gaatje van ongeveer 1 millimeter.

3 Draai nu de dop een beetje los. Wat gebeurt er met het water? Noteer minimaal twee dingen die je ziet gebeuren. _____

_____

_____

4 Hoe denk je dat dit komt? _____

_____

_____

1 Bron: www.ruimtevaartindeklas.nl

5 De zwaartekracht veroorzaakt in het flesje en op de straal drie bewegingen. Welke drie bewegingen?

1 _____

2 _____

3 _____

tip! laat een klasgenoot vlak boven de bak klaarstaan om de fles op te vangen. Zo kun je het proefje een aantal keer herhalen zonder dat je de fles hoeft te hervullen.

6 Vul het flesje opnieuw. Draai de dop er niet op. Hou je vinger op het gaatje.

7 Hou het flesje op ongeveer 1 meter hoogte – boven een opvangbak. Haal je vinger van het gaatje en wacht tot er een mooi straaltje uit komt.

8 Laat het flesje vallen. Wat gebeurt er tijdens het vallen met het straaltje? _____

_____

9 Kijk goed naar de drie bewegingen die je bij 5 hebt opgeschreven. Leg uit wat er tijdens de val met die bewegingen gebeurt. _____

_____

_____

10 Bij vraag 3 heb je ontdekt dat het water uit de fles stroomt. Hoe komt dat? _____

_____

11 Als de fles met het water valt, gebeurt er iets heel anders. Het water valt mee met de fles. Als je de vallende fles zou wegen met een vallende weegschaal, hoeveel gewicht zou de weegschaal dan aangeven?

- ○ Veel meer dan een weegschaal op de grond.
- ○ Precies even veel als een weegschaal op de grond.
- ○ Helemaal niets.

werkblad

Hoe ‘zwaar’?

Aarde

les 9

Op elk hemellichaam is de zwaartekracht anders. Hoe meer massa een planeet heeft, hoe meer zwaartekracht er is. Natuurkundigen zeggen dat het verband tussen de massa van een planeet en de zwaartekracht rechtevenredig is. Oftewel: als de planeet tweemaal zo zwaar is, zal de zwaartekracht ook tweemaal zo zwaar zijn.

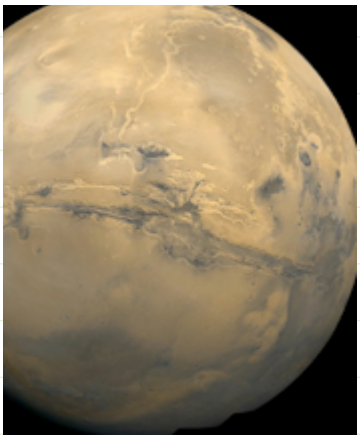
De maan

Op de maan is de zwaartekracht ongeveer zes keer kleiner dan op aarde. Een astronaut op de maan voelt daardoor veel minder gewicht en kan veel hoger springen dan op aarde.

1 Een astronaut weegt met pak aan ongeveer 110 kilogram. Dat komt doordat het pak zelf 30 kilogram weegt. Als een astronaut met pak zich op de maan zou wegen met een meegenomen weegschaal, hoeveel kilo zou de weegschaal dan aangeven? _____

 Bron: www.ruimtevaartindeklas.nl

Planeet Mars



2 Dezelfde astronaut is na een lange ruimtereis met zijn weegschaal op de planeet Mars aangekomen. Hier geeft de weegschaal 42 kilogram aan. Reken uit hoeveel keer groter of kleiner de zwaartekracht op Mars is in vergelijking met de aarde of de maan.

De zwaartekracht op Mars is _____ keer groter/kleiner dan op aarde.

De zwaartekracht op Mars is _____ keer groter/kleiner dan op de maan.

3 Een weegschaal meet geen massa. Maar wat meet een weegschaal dan wel? _____

_____

4 Wat moet je veranderen aan een aardse weegschaal om hem op de maan goed te kunnen gebruiken? _____

_____

5 Een veerunster werkt hetzelfde als een weegschaal. Door te kijken hoeveel de veerunster uitrekt, kun je de kracht meten. Een veerunster kun je wel overal gebruiken. Leg uit hoe dat kan. _____

_____