

CIRKELBEWEGING & GRAVITATIE – VWO

Foton is een opgavenverzameling voor het nieuwe eindexamenprogramma natuurkunde.

Foton is gratis te downloaden via natuurkundeuitgelegd.nl/foton

Uitwerkingen van alle opgaven staan op natuurkundeuitgelegd.nl/uitwerkingen

Videolessen over de theorie zijn te vinden op natuurkundeuitgelegd.nl/videolessen

Theorie bij dit hoofdstuk wordt behandeld in onderstaande videolessen:

[Cirkelbeweging & baansnelheid](#)

[Gravitatiewet](#)

[Gravitatie-energie](#)

[Middelpuntzoekende kracht](#)

[Planeetbanen](#)

[Ontsnappingsnelheid](#)

[Ronddraaiende slinger](#)



1 Slijptol

Een slijptol is een stuk gereedschap voor metaalbewerking. Hij bestaat uit een snel draaiende slijpschijf die tegen het te bewerken metaal aan wordt gehouden. Hierbij ontstaat een vonkenregen van wegschietende gloeiende metaaldeeltjes. Bereken de maximale snelheid die de wegschietende metaaldeeltjes kunnen hebben bij het werken met een slijptol met een straal van 7,5 cm die draait met 2800 rotaties per minuut (RPM).



2 Draaimolen

Melissa en Suzanne zitten samen in een draaimolen. Melissa zit op een houten paard op een afstand van 2,6 m van het midden. Suzanne zit naast haar in een brandweerauto op een afstand van 4,0 m van het midden. De draaimolen doet 9,4 s over één rondje.

- Bereken de baansnelheid van Melissa en van Suzanne.
- De draaimolen gaat sneller draaien zodanig dat de baansnelheid van Melissa hetzelfde

wordt als de eerdere baansnelheid van Suzanne. Hoe lang doet de draaimolen nu over één rondje?

- c Wat wordt in dit geval de nieuwe baansnelheid van Suzanne?

3 Fietstocht

Renske fietst 4,7 km met een constante snelheid van huis naar school. Op haar fiets zitten 28" wielen. Dit betekent dat de diameter van de wielen (inclusief fietsband) 28 inch is.

- Bereken de omtrek van haar fietswielen.
- Bereken hoeveel omwentelingen de fietswielen moeten maken tijdens de hele rit.
- Een van de fietswielen loopt een klein beetje aan. Hierdoor hoort Renske een klein tikje tijdens elke omwenteling. Ze hoort elke 0,50 s een tikje. Hoeveel minuten doet Renske over haar fietstocht?

4 Middelpuntzoekende kracht

In onderstaande situaties beschrijft een voorwerp steeds een (deel van een) cirkelbaan. Noem in elke situatie de kracht aan die verantwoordelijk voor de middelpuntzoekende kracht.

- Een kogel wordt aan een touw wordt rondgeslingerd.
- De planeet Mars draait rond de zon.
- Je maakt op de fiets een bocht.

5 Eenheid

Voor de grootte van de middelpuntzoekende kracht geldt onderstaande formule. Laat zien dat de eenheden aan beide kanten gelijk zijn.

$$F_{mpz} = \frac{mv^2}{r}$$

F_{mpz} = middelpuntzoekende kracht (N)

m = massa (kg)

v = baansnelheid (ms^{-1})

r = straal (m)

6 F_{mpz}

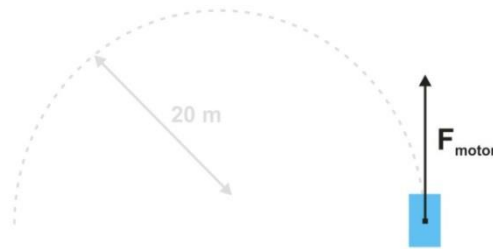
Bereken voor elk van onderstaande situaties de grootte van F_{mpz} .

- Een massa van 2,3 kg draait met $4,2 \text{ ms}^{-1}$ rondjes met straal 1,0 m.
- Dezelfde massa draait met een twee keer grotere straal maar met dezelfde omlooptijd.
- Een maan met een massa van $3,2 \cdot 10^{20}$ kg draait met een omlooptijd van 4,0 dagen rond een planeet op een afstand van 12000 km van het middelpunt van de planeet.

7 Bocht

Een auto met een massa van 2200 kg maakt een bocht met een straal van 20 m naar links met een constante snelheid van 20 km/h (zie onderstaande afbeelding). De voorwaartse kracht van de motor (F_{motor}) tijdens het maken van de bocht is 850 N.

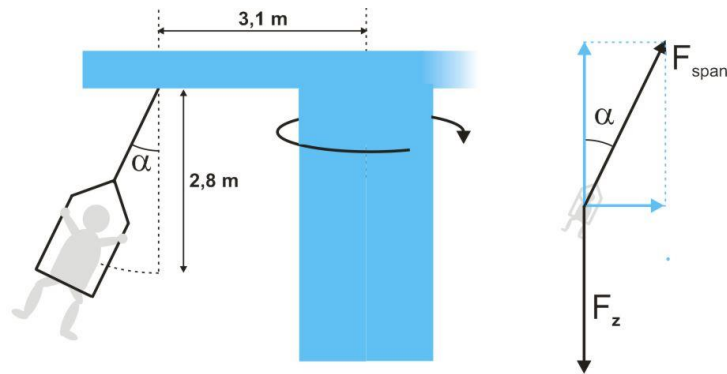
- Bereken de grootte van de middelpuntzoekende kracht.
- Waar komt de middelpuntzoekende kracht vandaan?
- Bepaal de totale wrijvingskracht op de auto.



8 Zweefmolen

Harald zit op de kermis in een zweefmolen. Als de zweefmolen nog stil staat bevindt zijn zwaartepunt zich op een afstand van 3,1 m van de draaias van de zweefmolen en 2,8 m onder het ophangpunt van zijn stoeltje. Zodra de zweefmolen gaat draaien hangt zijn stoeltje scheef onder een hoek α van 26° . De massa van Harald bedraagt 75 kg, inclusief zijn stoeltje.

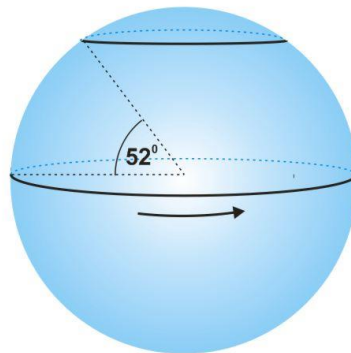
- Harald heeft net bij natuurkunde geleerd dat bij cirkelbeweging een middelpuntzoekende kracht naar binnen toe werkt. Voor Harald voelt het juist alsof hij naar buiten geduwd wordt en niet naar binnen. Leg uit hoe dit kan.
- Bereken door ontbinden van de spankracht de grootte van de resulterende kracht op Harald (zie rechter figuur hieronder).
- De zweefmolen doet 6,0 s over één rondje. Toon met een berekening aan dat de middelpuntzoekende kracht die op Harald werkt gelijk is aan de resulterende kracht. Bepaal hiervoor eerst de straal van de baan die Harald beschrijft.
- Harald ziet in het stoeltje vóór hem een meisje zitten dat een stuk kleiner en lichter is dan hijzelf. Haar stoeltje hangt onder precies dezelfde hoek (26°). Leg uit dat de massa niks uit maakt voor hoe scheef het stoeltje hangt.



9 Aardrotatie

De aarde draait in 24 uur om haar eigen as. Dit betekent dat op voorwerpen op het aardoppervlak ook een middelpuntzoekende kracht werkt. We gaan er bij deze opgave van uit dat de aarde bolvormig is en dat de zwaartekracht overal gelijk is aan $9,81 \cdot \text{massa}$.

- Hoe groot is de baansnelheid als je op de evenaar staat?
- Bereken de middelpuntzoekende kracht op een massa van 50,0 kg op de evenaar.
- Frederieke weegt volgens een nauwkeurige weegschaal op de noordpool 50,0 kg. Welke massa zou dezelfde weegschaal aangeven op de evenaar?
- Nederland ligt op 52° noorderbreedte. Dit betekent dat de cirkel die wij beschrijven tijdens een rotatie kleiner is dan op de evenaar. Bereken de grootte en de richting van de middelpuntzoekende kracht in Nederland. Bereken hiervoor eerst de baansnelheid.
- Welke massa zou Frederieke meten als ze zich met dezelfde weegschaal in Nederland zou wegen?



10 Gravitielkracht

Bereken de grootte van de gravitielkracht tussen de twee objecten. De gegeven afstanden zijn steeds tussen de middelpunten van de objecten.

- Een massa van 3,2 kg en massa 1,0 kg op een afstand van 2,0 m.
- Twee neutronen op een afstand van 3,0 nm.
- De aarde en de maan.

11 Gravitatieconstante

In de formule voor gravitatiekracht komt een constante G voor: de gravitatieconstante.

- Laat aan de hand van de formule zien dat de eenheid van G $\text{Nm}^2\text{kg}^{-2}$ is.
- Henry Cavendish heeft G eind 18^e eeuw voor het eerst experimenteel bepaald. Hij heeft een gravitatiekracht van $1,45 \cdot 10^{-7}$ N gemeten tussen een lichte loden bol van 0,73 kg en een zware bol van 158 kg op een afstand van 23 cm (tussen de middelpunten). Laat met een berekening zien dat de waarde voor G die hieruit volgt overeenkomt met de gravitatieconstante in BINAS.

12 Verband

Lex en Babette vergelijken de zwaartekracht op verschillende hoogtes. Ze doen dit door de zwaartekracht te meten op een massa van 5,0 kg op verschillende etages in hun school.

- Wat voor soort verband bestaat er volgens de formule tussen de gravitatiekracht (F_g) de afstand (r). Kies uit: recht evenredig, omgekeerd evenredig, kwadratisch, omgekeerd kwadratisch of wortelverband.
- Lex zegt: *“Op een twee keer zo grote hoogte is de zwaartekracht vier keer zo klein want er is een omgekeerd kwadratisch verband tussen de F_g en r ”*. Babette zegt: *“Voor de zwaartekracht geldt de formule $F_z = m \cdot g$ en de hoogte maakt dus niks uit.”*
Wie heeft er volgens jou gelijk? Leg uit.

13 Appel

Een appel met een massa van 200 g en een doorsnede van 10 cm ligt op de grond.

- Hoe groot is de afstand tussen het middelpunt van de appel en het middelpunt van de aarde?
- Hoe groot is de gravitatiekracht die de aarde op de appel uitoefent?
- Hoe groot zou de gravitatiekracht op de appel zijn als deze zich in het International Space Station (ISS) zou bevinden op 330 km boven het aardoppervlak?
- Op welke afstand van de aarde zou de appel zich moeten bevinden om helemaal geen gravitatiekracht van de aarde te ondervinden?

14 Valversnelling

Een knikker met een massa van 5,0 g bevindt zich vlak boven het oppervlak van de planeet Mars.

- Bereken de kracht van de planeet op de knikker met behulp van de gravitatiewet.
- Toon met een berekening met de tweede wet van Newton ($F = m \cdot a$) aan dat de versnelling die de knikker ondergaat tijdens het vallen gelijk is aan de gravitatieversnelling op zoals deze in BINAS tabel 31 staat.
- Een planeet heeft een massa van $3,0 \cdot 10^{26}$ kg en een straal van $4,0 \cdot 10^7$ m. Bereken de valversnelling (gravitatieversnelling) op het planeetoppervlak.

- d Hoeveel keer zo zwaar zou je je voelen als je op het oppervlak van deze planeet zou staan?

15 Kepler

Voor planeten in een baan om de zon geldt de 3^e wet van Kepler (zie onder).

- Leidt deze formule af uit de formules voor F_{mpz} en F_{grav} .
- Laat zien dat de eenheden aan beide kanten gelijk zijn.
- De massa van de zon kan berekend worden met de 3^e wet van Kepler. Toch is het pas eind 18^e eeuw, lang ná Kepler en Newton, gelukt om de massa van de zon te bepalen. Leg uit waarom dit pas toen kon.

$$\frac{r^3}{T^2} = \frac{G \cdot M_{\text{zon}}}{4\pi^2}$$

r = afstand tot de zon (m)

T = omlooptijd (s)

G = gravitatieconstante ($\text{Nm}^2\text{kg}^{-2}$)

M_{zon} = massa zon (kg)

16 Jupitermaantjes

In 1610 ontdekte Galileï vier maantjes die om de planeet Jupiter draaien: De gegevens van deze maantjes staan in BINAS tabel 31.

- Beredeneer (geen berekening) op grond van de gegevens dat het maantje Io de grootste gravitatiekracht van Jupiter ondervindt.
- Bereken de grootte van de gravitatiekracht die Io ondervindt van Jupiter.
- Bereken de baansnelheid van Io door de middelpuntzoekende kracht gelijk te stellen aan de gravitatiekracht.
- Laat met een berekening zien dat de baansnelheid klopt met de omlooptijd van Io in tabel 31.
- Stef beweert: *“De omlooptijd van Io is het kleinst van de vier maantjes omdat de gravitatiekracht op Io het grootst is”*. Ben jij het hiermee eens? Leg uit.

17 Exoplaneet

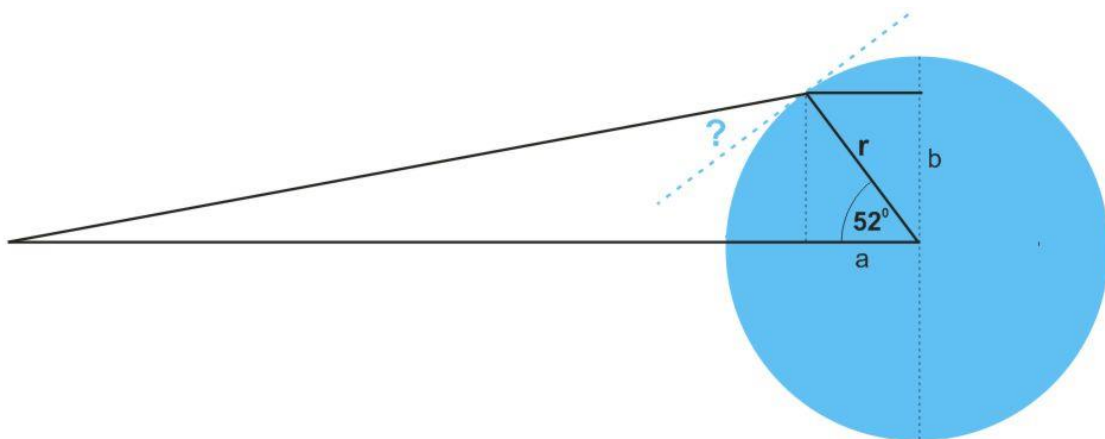
Een exoplaneet is een planeet die niet om de zon maar om een andere ster draait. Bij de ster Gliese 876 zijn sinds 1998 vier exoplaneten ontdekt. De gegevens staan in BINAS tabel 32G.

- Volgens de wet van Kepler geldt dat $r^3/T^2 = \text{constant}$. Bepaal voor elk van de vier exoplaneten deze constante.
- Hoe komt het dat de constante niet hetzelfde is voor de vier exoplaneten?
- Bereken de massa van de centrale ster Gliese 876.
- Hoeveel keer zwaarder of lichter is Gliese 876 dan onze zon?

18 Geostationair

Een geostationaire satelliet draait in een baan recht boven de evenaar om de aarde en heeft een omlooptijd gelijk aan de rotatieperiode van de aarde: 23 uur en 56 minuten. Hij draait op deze manier met de aarde mee en staat altijd recht boven dezelfde positie. Voordeel hiervan is dat satelliet vanaf de aarde gezien altijd op hetzelfde punt aan de hemel staat.

- Laat met een berekening met de 3^e wet van Kepler zien dat de baan van een geostationaire satelliet op $3,579 \cdot 10^4$ km boven het aardoppervlak ligt.
- Een TV-satelliet zit in een geostationaire baan recht boven de evenaar op dezelfde lengtegraad als Nederland. Stella wil met een schotelantenne het TV-signaal van de satelliet opvangen en moet de schotel zo precies mogelijk op de satelliet aan de hemel richten. Stella moet haar schotel hiervoor precies naar het zuiden richten. Leg uit waarom.
- Hoeveel graden boven de horizon moet Stella haar schotel richten? Gebruik hiervoor de schematische afbeelding hieronder (niet op schaal). Bereken eerst de lengtes van de lijnstukken a en b.



19 Gravitatie-energie

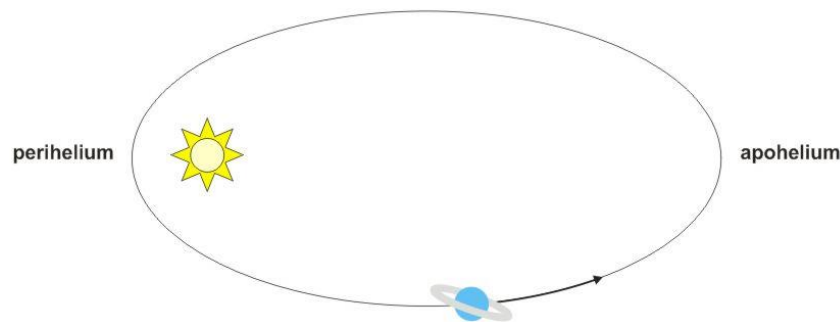
Een meteoroïde met een massa van 930 kg zweeft op een afstand van 20000 km van het maanoppervlak met een verwaarloosbare snelheid als hij door de maan wordt aangetrokken en steeds sneller beweegt in de richting van het maanoppervlak.

- Hoe groot is de gravitatie-energie als de meteoroïde zich nog op 20000 km van het maanoppervlak bevindt?
- Hoe groot is de gravitatie-energie als de meteoroïde uiteindelijk inslaat op het maanoppervlak?
- Bereken uit het verschil in gravitatie-energie de snelheid waarmee de meteoroïde inslaat op de maan.
- Waarom is het maanoppervlak bezaaid met inslagkraters en zijn er op het aardoppervlak vrijwel geen inslagkraters te vinden?

20 Ellips

Johannes Kepler heeft in de 16^e eeuw ontdekt dat planeetbanen geen perfecte cirkels zijn maar ellipsen. De zon staat in één van de brandpunten van de ellips. De afstand tussen de planeet en de zon is dus ook niet constant. Het punt in de baan waarin de afstand tot de zon minimaal is wordt het perihelium genoemd. Het punt waarbij deze afstand maximaal is wordt het apohelium genoemd.

- In welk punt is de gravitatie-energie van de planeet het grootst? Het perihelium of het apohelium?
- De baansnelheid van een planeet is niet constant tijdens zijn baan rond de zon. Beredeneer of de baansnelheid groter is in het perihelium of in het apohelium.
- In ons zonnestelsel heeft de planeet Mercurius de meest afgeplatte baan. De perihelium afstand bedraagt 46 miljoen km, de apohelium afstand 70 miljoen km. De minimale baansnelheid van Mercurius is 39 km/s. Bepaal de maximale baansnelheid van Mercurius.



21 Ontsnappingsnelheid

Bij deze vraag mag je de wrijvingskracht die een voorwerp in de dampkring ondervindt verwaarlozen.

Ontsnappingsnelheid is de beginsnelheid die een voorwerp moet hebben om vanaf het planeetoppervlak te kunnen ontsnappen en tot op zo'n grootte afstand te komen dat de zwaartekracht van de planeet op het voorwerp 0 is. Voor de grootte van de ontsnappingsnelheid geldt onderstaande formule.

- Leidt deze formule af uit de formules voor kinetische en gravitatie-energie (BINAS tabel 35A4/5).
- In BINAS tabel 31 staat de ontsnappingsnelheid van de aarde. Ga met een berekening na of deze snelheid klopt met onderstaande formule.
- Bereken de ontsnappingsnelheid vanaf het oppervlak van de zon.
- Aan het eind van hun leven kunnen grote sterren instorten en zó compact worden dat de ontsnappingsnelheid groter wordt dan de lichtsnelheid. Zelfs licht kan dan dus niet aan de zwaartekracht van de ster ontsnappen. Dit heet een zwart gat. Hoe klein zou de zon moeten worden om in een zwart gat te veranderen?

$$v_{ontsn} = \sqrt{\frac{2 \cdot GM}{r}}$$

v_{ontsn} = ontsnappingsnelheid (ms^{-1})

G = gravitatieconstante ($\text{Nm}^2\text{kg}^{-2}$)

M = massa planeet of ster (kg)

r = straal planeet of ster (m)

22 Maanmodel

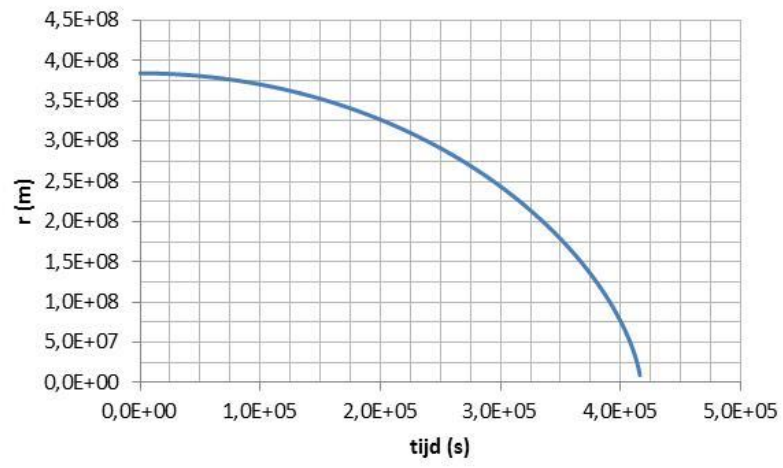
Selena wil weten wat er gebeurt als de maan opeens stil zou staan en op de aarde zou vallen. Zij heeft hiervoor onderstaand model gemaakt. Dit model berekent achtereenvolgens de gravitatiekracht die de maan ondervindt, de versnelling en de snelheid van de maan in de richting van de aarde en de afstand tussen maan en aarde.

- Het model moet stoppen als de maan de aarde raakt. Complementeer modelregel 5.
- Selena laat haar model rekenen en ontdekt dat de maan na 4,8 dagen met een snelheid van $9,8 \cdot 10^3 \text{ ms}^{-1}$ op de aarde botst (zie grafiek hieronder). Laat met een berekening zien dat deze snelheid klopt op grond van de afname van de gravitatie-energie.
- Selena bedenkt dat haar model niet klopt. De aarde zal ook een aantrekkingskracht van de maan ondervinden. De aarde zal dus tegelijkertijd ook versnellen in de richting van de maan. Breid het model uit zodanig dat ook de beweging van de aarde hierin meegenomen wordt. Hint: versnelling en de snelheid moeten nu voor maan en aarde apart berekend worden.
- Als Selena haar aangepast model laat rekenen komt ze op vrijwel dezelfde grafiek uit. Kennelijk maakt de beweging van de aarde nauwelijks iets uit. Leg uit hoe dit kan.

| | | | |
|---|----------------------------------|---------------------------------|--|
| 1 | <code>Fgrav:= G*mm*ma/r^2</code> | Bereken de gravitatiekracht | Startwaarden $G = 6,67384 \cdot 10^{11} \text{ Nm}^2\text{kg}^{-2}$ $r = 3,844 \cdot 10^8 \text{ m}$ $mm = 7,35 \cdot 10^{22} \text{ kg}$ $ma = 5,972 \cdot 10^{24} \text{ kg}$ $ra = 6,371 \cdot 10^6 \text{ m}$ $rm = 1,738 \cdot 10^6 \text{ m}$ $v = 0 \text{ m/s}$ $t = 0 \text{ s}$ $dt = 100 \text{ s}$ |
| 1 | <code>a:= Fgrav/mm</code> | Bereken de versnelling | |
| 2 | <code>v:=v + a*dt</code> | Bereken de snelheid | |
| 3 | <code>r:= r -v*dt</code> | Bereken de afstand | |
| 5 | <code>if ... then stop</code> | Zijn ze al gebotst? Dan stoppen | |
| 6 | <code>t:=t+dt</code> | Hoog tijd op en begin opnieuw | |

Een werkende versie van alle rekenmodellen in Foton is te vinden op natuurkundeuitgelegd.nl/modelleren

CIRKELBEWEGING & GRAVITATIE - VWO



ANTWOORDEN VAN DE REKENOPGAVEN

Uitwerkingen en uitleg van alle opgaven zijn te vinden op natuurkundeuitgelegd.nl/uitwerkingen

1 Slijptol

- a 22 ms^{-1}

2 Draaimolen

- a 1,7 en $2,7 \text{ ms}^{-1}$
 b 6,1 s
 c $4,1 \text{ ms}^{-1}$

3 Fietstocht

- a 2,2 m
 b $2,1 \cdot 10^3$
 c 18 min

6 Fmpz

- a 41 N
 b 81 N
 c $1,3 \cdot 10^{18} \text{ N}$

7 Bocht

- a $3,4 \cdot 10^3 \text{ N}$
 c $3,5 \cdot 10^3 \text{ N}$

8 Zweefmolen

- b $3,6 \cdot 10^2 \text{ N}$

9 Aardrotatie

- a $4,6 \cdot 10^2 \text{ ms}^{-1}$
 b 1,68 N
 c 49,8 kg
 d 1,04 N
 e 49,9 N

10 Gravitatiekracht

- a $5,3 \cdot 10^{-11} \text{ N}$
 b $2,1 \cdot 10^{-47} \text{ N}$

- c $1,98 \cdot 10^{20} \text{ N}$

13 Appel

- a $6,371 \cdot 10^6 \text{ m}$
 b 1,96 N
 c 1,77 N
 d ∞

14 Valversnelling

- a $1,9 \cdot 10^{-2} \text{ N}$
 c 13 ms^{-2}
 d 1,3 x zwaarder

16 Jupitermaantjes

- b $6,3 \cdot 10^{22} \text{ N}$
 c $1,7 \cdot 10^4 \text{ ms}^{-1}$

17 Exoplaneet

- a 1,1 1,1 1 $0,9 \cdot 10^{18}$
 b $6,3 \cdot 10^{29} \text{ kg}$
 c 3,1 x lichter

18 Geostationair

- c 31°

19 Gravitatie-energie

- a $-2,10 \cdot 10^8 \text{ J}$
 b $-2,62 \cdot 10^9 \text{ J}$
 c $2,28 \cdot 10^3 \text{ ms}^{-1}$

20 Ellips

- c 59 km/s

21 Ontsn.snelheid

- c 617,4 km/s
 d 2,953 km

