

Drijven en zinken

- § 1 Massa, volume en dichtheid
- § 2 Archimedes
- § 3 Homogene voorwerpen in een vloeistof
- § 4 Drijvende voorwerpen
- § 5 Zwaartekracht
- § 6 Opwaartse kracht; wet van Archimedes
- § 7 Samenvatting en schematisch overzicht

tabel met dichtheden

stof	dichtheid (g/cm ³)
aluminium	2,70
chrom	7,19
goud	19,3
koper	8,96
kwik	13,5
lood	11,3
nikkel	8,90
platina	21,5
ijzer	7,87
zilver	10,50
zink	7,2
brons	8,9
messing	8,5
diamant	3,52
kurk	0,20 – 0,35
perspex	1,2
was	0,95
ijs (-4 °C)	0,917
aceton	0,79
alcohol	0,80
benzine	0,72
chloroform	1,49
ether	0,71
glycerol	1,26
olijfolie	0,92
spiritus	0,85
tetra	1,59
water	1,00
zeewater (30% zout)	1,024

§ 1 Massa, volume en dichtheid

Massa

De massa van een voorwerp geeft aan hoe zwaar dat voorwerp is.

De massa wordt vaak uitgedrukt in:

- * kilogram (afgekort kg)
- * gram (afgekort g)

Het verband tussen deze eenheden is: $1 \text{ kg} = 1000 \text{ g}$.

Het symbool voor massa is m. Als een auto een massa heeft van bijvoorbeeld 1100 kg, schrijven we: $m = 1100 \text{ kg}$.

Volume

Het volume van een voorwerp geeft aan hoeveel ruimte dat voorwerp inneemt.

Het volume wordt vaak uitgedrukt in:

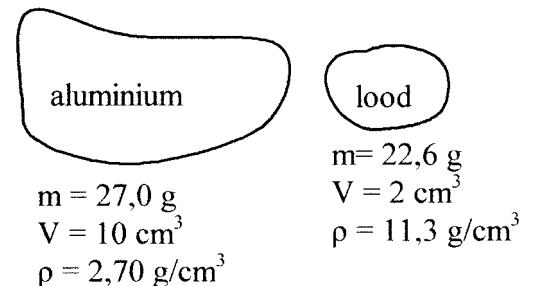
- * kubieke meter (afgekort m^3)
- * kubieke decimeter (afgekort dm^3). Dit is gelijk aan een liter (afgekort L).
- * kubieke centimeter (afgekort cm^3). Dit is gelijk aan een milliliter (afgekort mL).

Het verband tussen deze eenheden is: $1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ dm}^3$ en $1 \text{ dm}^3 = 1000 \text{ cm}^3$

Het symbool voor volume is V. Als een auto een volume heeft van bijvoorbeeld 4 m^3 , schrijven we: $V = 4 \text{ m}^3$.

Dichtheid

Hiernaast zijn stukken aluminium en lood getekend. Het stuk aluminium heeft een massa van 27,0 g en het stuk lood heeft een massa van 22,6 g. Kun je hieruit concluderen dat aluminium **als stof** zwaarder is dan lood? Het antwoord is natuurlijk: nee! Dit komt doordat het volume van het stuk aluminium (10 cm^3) veel groter is dan het volume van het stuk lood (2 cm^3).



De vraag welke stof zwaarder is, kan worden beantwoord door van beide stoffen de massa per kubieke centimeter uit te rekenen.

Voor aluminium wordt dit: $2,70 \text{ g/cm}^3$ (berekend door 27,0 te delen door 10)

Voor lood wordt dit: $11,3 \text{ g/cm}^3$ (berekend door 22,6 te delen door 2)

Door de uitkomsten met elkaar te vergelijken blijkt dat de stof lood zwaarder is dan aluminium.

We noemen $2,70 \text{ g/cm}^3$ de "dichtheid" van aluminium en $11,3 \text{ g/cm}^3$ de dichtheid van lood. Het symbool voor dichtheid is de Griekse letter ρ . Dit wordt opgeschreven als (voor lood): $\rho = 11,3 \text{ g/cm}^3$ en uitgesproken als "ro = 11,3 gram per kubieke centimeter".

Samenvatting

De massa van een voorwerp geeft aan hoe zwaar dit voorwerp is.

Het volume van een voorwerp geeft aan hoeveel ruimte dit voorwerp inneemt.

De dichtheid van een stof geeft aan hoe zwaar deze stof is.

De dichtheid is de massa van de stof (uitgedrukt in g) per eenheid van volume (cm^3).

In de volgende tabel zijn de drie grootheden en bijbehorende eenheden opgesomd.

Grootheid	Eenheid
m = massa	g = gram
V = volume	cm^3 = kubieke centimeter
ρ = dichtheid	g/cm^3 = gram per kubieke centimeter

Als een voorwerp met massa m en volume V overal dezelfde samenstelling heeft, dan kunnen we de dichtheid ρ van de stof uitrekenen met de volgende formule.

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Voorbeeld van het uitrekenen van de dichtheid

Een brok nikkel met een massa van 30 g heeft een volume van $3,37 \text{ cm}^3$.

De dichtheid van nikkel kan dan op de volgende manier berekend worden.

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{30 \text{ g}}{3,37 \text{ cm}^3} = 8,90 \text{ g}/\text{cm}^3$$

De twee andere vormen van de formule

In sommige situaties moet de massa of het volume van een voorwerp uitgerekend worden in plaats van de dichtheid. Dan moet de bovenstaande formule in een andere vorm geschreven worden. De twee andere vormen van de formule zijn:

$$m = \rho \times V \quad \text{en} \quad V = \frac{m}{\rho}$$

Voorbeeld van het uitrekenen van de massa

De massa van 20 mL kwik kan als volgt berekend worden.

$$\rho = 13,5 \text{ g}/\text{cm}^3 \quad (\text{opzoeken in de tabel})$$

$$m = \rho \cdot V = 13,5 \text{ g}/\text{cm}^3 \cdot 20 \text{ cm}^3 = 270 \text{ g}$$

Voorbeeld van het uitrekenen van het volume

Het volume van een 2,2 gram wegende diamant kan als volgt berekend worden.

$$\rho = 3,52 \text{ g}/\text{cm}^3 \quad (\text{opzoeken in de tabel})$$

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{2,2 \text{ g}}{3,52 \text{ g}/\text{cm}^3} = 0,625 \text{ cm}^3.$$

Opgaven bij § 1

Opgave 1

Wat geeft de massa van een voorwerp aan?

Opgave 2

Wat geeft het volume van een voorwerp aan?

Opgave 3

Wat geeft de dichtheid van een stof aan?

Opgave 4

Vul op de open plekken in: voorwerp of stof.

De massa is een eigenschap van een _____.

Het volume is een eigenschap van een _____.

De dichtheid is een eigenschap van een _____.

Opgave 5

Vul in:

1 kg = _____ g

1 g = _____ kg

1 liter = _____ dm³

1 mL = _____ cm³

1 liter = _____ mL

1 dm³ = _____ cm³

1 m³ = _____ liter

Opgave 6

Jan pakt een bolletje klei uit de kleidoos en voegt hier net zoveel klei aan toe dat het volume wordt verdubbeld. Kies in de onderstaande zin uit: "wordt verdubbeld" of "wordt gehalveerd" of "blijft gelijk". De massa van de klei _____ en de dichtheid van de klei _____.

Opgave 7

Welke stof is zwaarder: goud of lood? Gebruik de tabel met dichtheden.

Opgave 8

Een blokje zink van 13 g heeft een volume van 1,8 cm³. Bereken de dichtheid van zink.

Opgave 9

Bereken de massa van 16 cm³ water. Gebruik de tabel.

Opgave 10

Bereken het volume van 3,5 g goud. Gebruik de tabel.

Opgave 11

Een lege beker heeft een massa van 230 g. Koos schenkt 160 mL limonadesiroop in de beker. De massa van de beker plus inhoud wordt dan 470 g. Bereken de dichtheid van de limonadesiroop.

Opgave 12

De limonadesiroop uit de vorige opgave wordt verdeeld over tien kleine plastic bekertjes. Elk bekertje bevat dan 16 mL. Verandert de dichtheid van de limonadesiroop daardoor? Zo ja, hoe?

Opgave 13

Sommigen denken dat lucht niets weegt (beter gezegd: geen massa heeft). Dat dit onzin is, blijkt uit het volgende proefje.

Met een vacuümpomp wordt alle lucht uit een kolf gezogen. Daarna wordt de massa van de kolf bepaald met een balans. Deze bedraagt 230,2 gram. Zie de figuur hiernaast. Vervolgens wordt het kraantje van de kolf geopend. De kolf vult zich dan met 1 liter lucht (1 liter = 1000 cm³). Ten slotte wordt de massa van de kolf opnieuw bepaald. Deze is nu 231,5 gram.

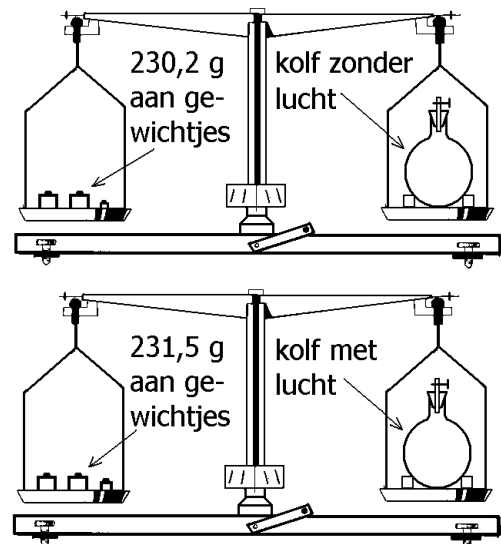
Beantwoord nu de volgende vragen.

a.

Bepaal de massa van de lucht in de kolf.

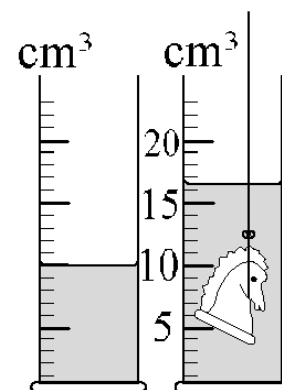
b.

Bereken de dichtheid van de lucht in de kolf.



Opgave 14

Een gouden schaakstuk wordt ondergedompeld in een maatcilinder met water. Zie de figuur hiernaast (links voor en rechts na onderdompeling). Bereken de massa van het schaakstuk. Laat je berekening zien.



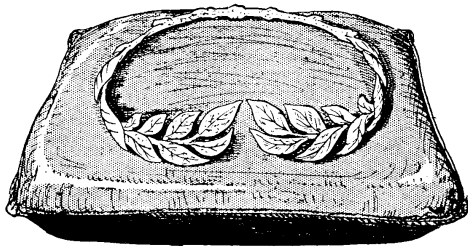
§ 2 Archimedes

Archimedes was een Griekse wiskundige, die leefde van 287 tot 212 voor Christus in de havenplaats Syracuse. Syracuse behoort nu tot Italië en ligt op het eiland Sicilië. Toentertijd behoorde Sicilië echter tot het Griekse rijk en werd geregeerd door koning Hieron.

Over het leven van Archimedes is tamelijk veel bekend, wat een uitzondering is voor oude wijsgeren. Archimedes is bekend vanwege zijn prestaties op wiskundig gebied maar ook vanwege zijn praktische uitvindingen. Bovendien bestaan er veel anekdotes over zijn persoon. Een van de bekendste verhalen over Archimedes is het volgende.



Ter gelegenheid van het slagen van een onderneming wil koning Hieron een tiara (een soort krans; zie de figuur hieronder) aan de goden wijden. Hij geeft een goudsmid de opdracht om de tiara te maken. Deze moet bestaan uit een bepaalde hoeveelheid puur goud.



Als de tiara klaar is en aan de koning wordt aangeboden, gaat het gerucht dat de goudsmid geen zuiver goud heeft gebruikt maar een mengsel van goud en zilver. Zilver is veel goedkoper dan goud en op deze manier zou de smid veel meer winst maken. De koning heeft echter een probleem. Aan de kleur valt niet te zien of de smid gesjoemeld heeft.

Bovendien blijkt na weging dat de tiara de juiste massa heeft. Ten einde raad vraagt de koning Archimedes om raad. Kan hij – zonder de tiara te smelten – uitmaken of de tiara wel of niet van zuiver goud gemaakt is?

Archimedes denkt hierover na terwijl hij in een bad stapt, dat tot aan de rand toe gevuld is. Hij merkt op dat de hoeveelheid water die over de rand loopt, gelijk is aan het volume van dat deel van zijn lichaam dat ondergedompeld is. Dan krijgt Archimedes een idee. Door niet zelf in bad te stappen maar de tiara onder te dompelen, kan hij het volume van de tiara bepalen. Daarmee kan hij het probleem van de tiara oplossen. Een tiara die bestaat uit een mengsel van goud en zilver heeft namelijk een groter volume dan een even zware tiara van zuiver goud.

Archimedes is zeer blij dat hij het probleem van de koning kan oplossen. In opperste vreugde springt hij uit het bad en rent, zonder zich aan te kleden, naar de koning. Terwijl hij rent roept hij luidkeels dat hij heeft gevonden wat hij zocht, in het Grieks: "Eureka, eureka". Uiteindelijk blijkt dat het volume van de door de smid gemaakte tiara te groot is. De smid ontloopt zijn straf niet.

Archimedes werd gedood toen de Romeinen in 212 v. Chr. Syracuse innamen (na een belegering van meer dan twee jaar).

Opgaven bij § 2

Opgave 1

In welk land leefde Archimedes volgens de atlas van tegenwoordig?

Opgave 2

Leg uit hoe Archimedes het volume van de tiara bepaalde.

Opgave 3

Welke stof heeft een grotere dichtheid: puur goud of een mengsel van goud en zilver?

Opgave 4

Stel dat de tiara van zuiver goud gemaakt is en een massa van 400 g heeft. Stel verder dat Archimedes deze tiara in een bad laat zakken dat tot de rand toe gevuld is. Bereken dan hoeveel milliliter water over de rand stroomt.

Opgave 5

Stel dat de tiara een massa van 500 g heeft en dat, als deze tiara in een tot de rand toe gevuld bad ondergedompeld wordt, er 40 mL water over de rand stroomt. Zit er dan meer goud of meer zilver in de tiara? Laat je berekening zien.

§ 3 Homogene voorwerpen in een vloeistof

Homogeen voorwerp in een vloeistof

Als een voorwerp zich in een vloeistof bevindt, dan zijn er drie mogelijkheden. Het voorwerp kan namelijk drijven, zinken of zweven in de vloeistof. Zweven is de overgangssituatie tussen drijven en zinken.

In deze paragraaf kijken we alleen naar homogene voorwerpen in een vloeistof. Een homogeen voorwerp is een voorwerp, dat in elk punt van het voorwerp dezelfde samenstelling heeft. Een glazen ruit is bijvoorbeeld wel homogeen en een appel niet (het klokhuis en het vruchtvlees hebben verschillende samenstellingen). Bij homogene voorwerpen is de dichtheid in elk punt natuurlijk gelijk.

We maken nu de volgende afspraak.

Het symbool voor de dichtheid in het voorwerp is ρ .

Het symbool voor de dichtheid van de vloeistof is ρ_{VV} .

Door de dichtheid in het voorwerp te vergelijken met de dichtheid van de vloeistof, kun je voorspellen of het voorwerp drijft, zinkt of zweeft. Er geldt namelijk het volgende.

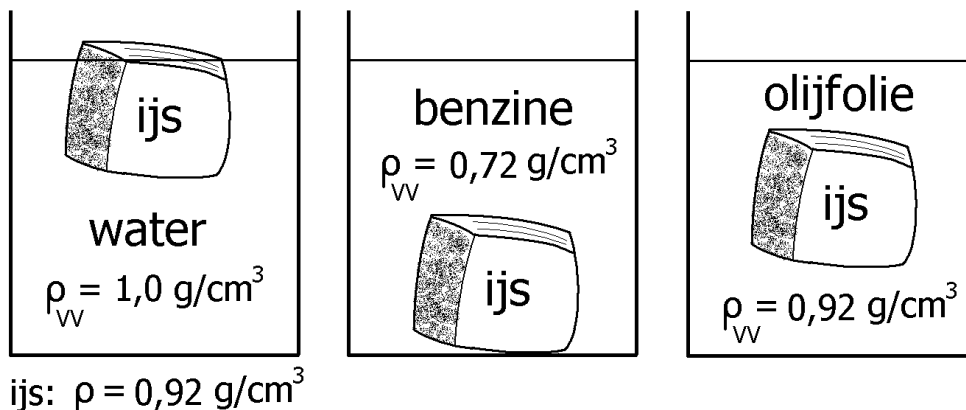
- Het voorwerp drijft in de vloeistof als: ρ kleiner is dan ρ_{VV} .
- Het voorwerp zinkt in de vloeistof als: ρ groter is dan ρ_{VV} .
- Het voorwerp zweeft in de vloeistof als: ρ gelijk is aan ρ_{VV} .

Opmerking

In volgende paragrafen wordt de dichtheid van de vloeistof ook voorgesteld door het symbool ρ_{VV} . De afkorting vv betekent "verplaatste vloeistof".

Voorbeelden

In de onderstaande figuren is te zien dat ijs drijft in water, zinkt in benzine en zweeft in olijfolie. Ga na dat dit klopt met de waarden van de dichtheden.



Opgaven bij § 3

Opgave 1

Wat verstaan we onder een homogeen voorwerp?

Opgave 2

Een blok ijzer wordt in een bad met kwik gegooid. Zal het ijzer drijven, zweven of zinken? Leg je antwoord uit.

Opgave 3

Een blok perspex wordt in een bad met aceton gegooid. Zal het perspex drijven, zweven of zinken? Leg je antwoord uit.

Opgave 4

Een stuk was wordt in een bad met stookolie (dichtheid $0,95 \text{ g/cm}^3$) gegooid. Zal de was drijven, zweven of zinken? Leg je antwoord uit.

Opgave 5

Een bekerglas is voor de helft met olijfolie gevuld. Er wordt water bij geschonken. Er ontstaan twee vloeistoflagen, want water mengt niet met olijfolie. Welke vloeistof zit boven? Leg je antwoord uit.

Opgave 6

In een leeg bekerglas wordt 275 cm^3 van een onbekende vloeistof geschonken. De massa van deze hoeveelheid vloeistof bedraagt 420 g. Vervolgens wordt een blokje perspex in de vloeistof gegooid. Zal dit blokje dan drijven, zweven of zinken? Laat zien hoe je aan je antwoord komt.

Opgave 7

Piet vult een reageerbuis voor minder dan de helft met water. Voorzichtig giet hij daar een laag spiritus op. Tenslotte laat hij een druppeltje olijfolie in de reageerbuis vallen. Wat zal Piet waarnemen? Leg je antwoord uit.

Opgave 8

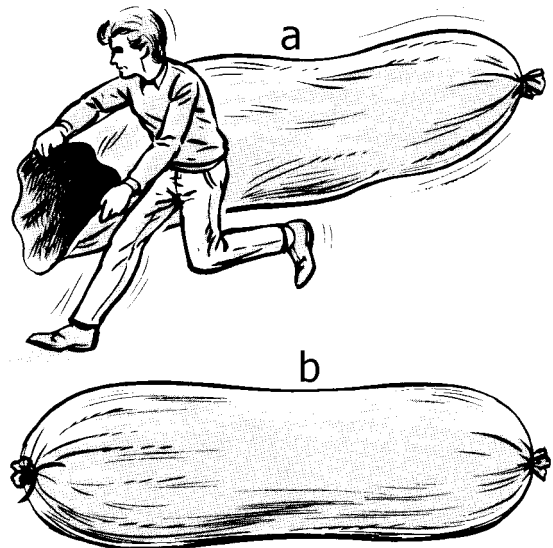
Klaas legt een ongepeld ei in een bekeerglas met water. Het ei zinkt. Geleidelijk voegt hij, al roerend, keukenzout toe. Na enige tijd stijgt het ei op. Leg uit hoe dat komt.

Opgave 9

Een pedaalemmerzak van dun plastic wordt boven een gasvlam gehouden met de opening naar beneden. Warme lucht stroomt in de zak. Als de zak daarna wordt losgelaten, dan stijgt deze op tot aan het plafond. Verklaar dat. Gebruik daarbij het woord dichtheid.

Opgave 10

Sommige winkels verkopen spullen waarmee je proefjes kunt doen. Zoals een lange zak die gemaakt is van zeer dun zwart plastic. Je moet zo'n zak vullen met lucht (zie figuur a) en daarna snel afsluiten (figuur b). Als de zon op de zak schijnt, wordt deze verwarmd en zal hierdoor opzwellen. Vervolgens stijgt de zak op en kan een hoogte bereiken van enkele kilometers. Leg uit waarom de zak opstijgt.

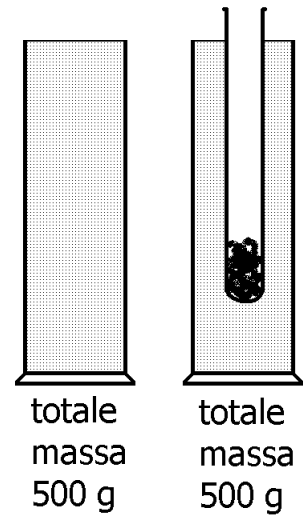


Leg uit waarom de zak op een gegeven moment niet verder stijgt. Neem hierbij aan dat het volume van de zak tijdens het stijgen gelijk blijft.

§ 4 Drijvende voorwerpen

Proef

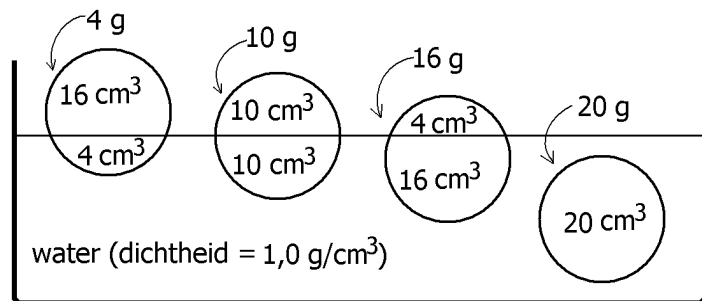
Je vult een maatcilinder tot de rand toe met water. Daarna weeg je de maatcilinder plus inhoud op een weegschaal. De massa blijkt 500 g te zijn. Zie de eerste figuur hiernaast. Vervolgens laat je een reageerbuis (met wat zand erin) voorzichtig in de maatcilinder zakken. Hierdoor loopt er water uit de maatcilinder. Je laat de reageerbuis net zo ver dalen totdat deze in het water drijft. Zie de tweede figuur hiernaast. Ten slotte weeg je de maatcilinder plus inhoud (maar zonder het uitgestroomde water) nog een keer. Opnieuw blijkt de massa 500 g te zijn!!!



Blijkbaar is de massa van de reageerbuis even groot als de massa van het water dat uit de maatcilinder gestroomd is. Algemeener gezegd: de massa van het drijvende voorwerp is gelijk aan de massa van de verplaatste vloeistof.

Getallenvoorbeeld

In de figuur hiernaast bevinden zich vier balletjes in een bak met water. De balletjes zijn even groot en hebben een volume van 20 cm^3 . Ieder balletje is echter van een andere stof gemaakt. Daarom zijn de massa's van de balletjes verschillend. In dit voorbeeld zijn de massa's 4 g, 10 g, 16 g en 20 g.



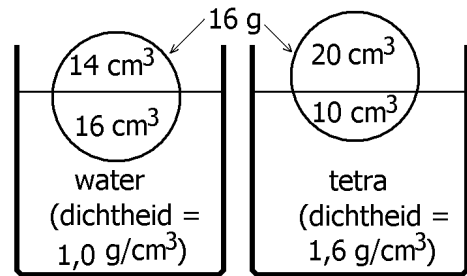
Elk balletje verplaatst een hoeveelheid water. Neem als voorbeeld het eerste (linker) balletje. Hiervan bevindt zich 4 cm^3 onder water en 16 cm^3 boven water. Zie ook de figuur. Het eerste balletje verplaatst dan dus 4 cm^3 water. Op dezelfde manier verplaatsen het tweede, het derde en het vierde balletje achtereenvolgens 10 cm^3 , 16 cm^3 en 20 cm^3 water. Ga dat in de figuur na.

Wat nu opvalt is dat de massa van het verplaatste water steeds gelijk is aan de massa van het balletje. Neem weer het eerste balletje als voorbeeld. Er wordt 4 cm^3 water verplaatst. Omdat de dichtheid van water $1,0 \text{ g/cm}^3$ bedraagt, heeft dit verplaatste water een massa van 4 g. En dat is precies gelijk aan de massa van het balletje. Ga na dat dit ook voor de andere balletjes geldt.

Uit de figuur blijkt dat hoe zwaarder het balletje is, dit des te dieper in het water ligt en des te meer water verplaatst. Het vierde (zwevende) balletje vormt hierbij de uiterste grens. Dit balletje verplaatst de maximale hoeveelheid water die mogelijk is namelijk 20 g. Balletjes die zwaarder zijn dan 20 g (bij een volume van 20 cm^3) zullen zinken.

Nog een getallenvoorbeeld

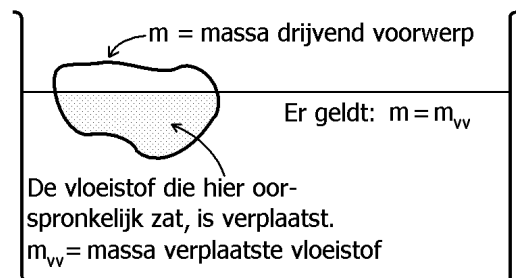
Een balletje met een volume van 30 cm^3 en een massa van 16 g wordt eerst in een bakje met water gegooid en daarna in een bakje met tetra. In beide vloeistoffen blijft het balletje drijven. Zie de figuur hiernaast. In tetra ligt het balletje echter hoger in de vloeistof. Dat komt doordat tetra zwaarder is dan water. Tetra heeft namelijk een dichtheid van $1,6 \text{ g/cm}^3$ en water van $1,0 \text{ g/cm}^3$.



In water is 16 cm^3 van het balletje onder het vloeistofoppervlak en in tetra slechts 10 cm^3 . Toch is de massa van de verplaatste vloeistof in beide gevallen gelijk namelijk 16 g (ga dat na). Dat is precies gelijk aan de massa van het balletje.

Theorie (algemeen)

Stel dat een voorwerp in een vloeistof drijft zoals hiernaast in de figuur is getekend. Dan bevindt een deel van het voorwerp zich onder het vloeistofoppervlak. Dit deel heeft een hoeveelheid vloeistof verplaatst. Hiervoor geldt het volgende.



De massa van het drijvende voorwerp is gelijk aan de massa van de verplaatste vloeistof.

Kort opgeschreven wordt dit:

$$m = m_{vv}$$

Hierbij hebben de symbolen de volgende betekenis:

m = de massa van het drijvende voorwerp

m_{vv} = de massa van de verplaatste vloeistof

Bijvoorbeeld geldt voor het balletje in het laatste voorbeeld: $m = m_{vv} = 16 \text{ g}$,

Voor de massa van de verplaatste vloeistof geldt ook nog:

$$m_{vv} = \rho_{vv} \cdot V_{vv}$$

Hierbij geldt:

ρ_{vv} = de dichtheid van de (verplaatste) vloeistof

V_{vv} = het volume van de verplaatste vloeistof

Je kunt dit ook als volgt omschrijven.

V_{vv} = het volume van dat deel van het voorwerp dat onder de vloeistofspiegel zit.

Bijvoorbeeld geldt voor het balletje in tetra in het laatste getallenvoorbeeld:

$$m_{VV} = \rho_{VV} \cdot V_{VV} = 1,6 \text{ g/cm}^3 \cdot 10 \text{ cm}^3 = 16 \text{ g}$$

Voorbeeld van een opgave

Een plastic bal met een volume van 30 cm^3 drijft in spiritus. De helft van dit volume bevindt zich onder het vloeistofoppervlak. Zie de figuur hiernaast. Bereken de massa van de (hele) bal.

Uitwerking

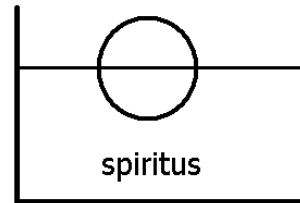
gegeven: $V_{VV} = 15 \text{ cm}^3$ (want $30 / 2 = 15$)

$\rho_{VV} = 0,85 \text{ g/cm}^3$ (zie de tabel bij spiritus)

gevraagd: m

oplossing: $m_{VV} = \rho_{VV} \cdot V_{VV} = 0,85 \text{ g/cm}^3 \cdot 15 \text{ cm}^3 = 12,75 \text{ g}$

$$m = m_{VV} = 12,75 \text{ g}$$



Nog een voorbeeld van een opgave

Een blok glas heeft een massa van 169 g . Dit wordt in een bad met kwik gelegd. Zie de figuur hiernaast.

Bereken het volume van het glas dat zich onder het kwikoppervlak bevindt.

Uitwerking

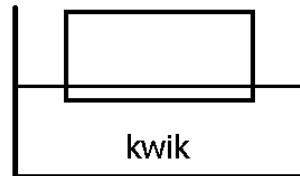
gegeven: $m = 169 \text{ g}$

$\rho_{VV} = 13,5 \text{ g/cm}^3$ (zie de tabel bij kwik)

gevraagd: V_{VV} (= volume verplaatste vloeistof)

oplossing: $m_{VV} = m = 169 \text{ g}$

$$V_{VV} = \frac{m_{VV}}{\rho_{VV}} = \frac{169 \text{ g}}{13,5 \text{ g/cm}^3} = 12,5 \text{ cm}^3$$



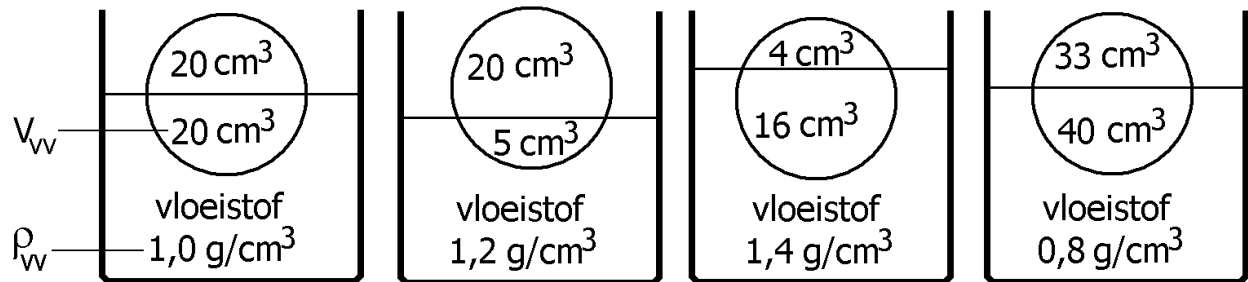
Opgaven bij § 4

Opgave 1

In deze opgave drijven balletjes in vloeistoffen.

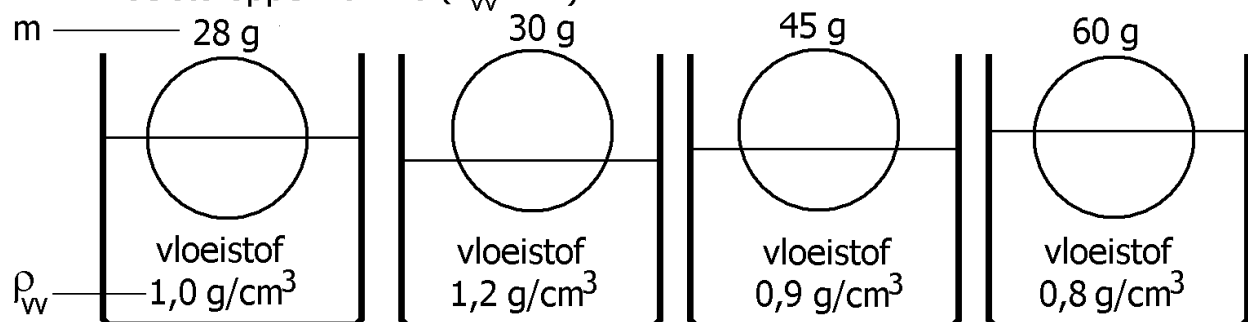
Maak bij elk balletje gebruik van $m = m_{VV} = \rho_{VV} \cdot V_{VV}$.

Bereken de massa (m) van elk drijvend balletje.



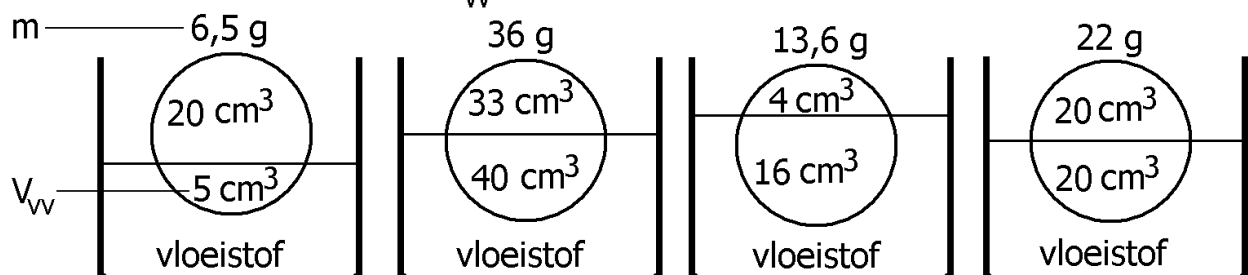
m = m = m = m =

Bereken hoeveel kubieke centimeter van elk drijvend balletje onder het vloeistofoppervlak zit (V_w dus).



$V_w = \dots\dots\dots$ $V_w = \dots\dots\dots$ $V_w = \dots\dots\dots$ $V_w = \dots\dots\dots$

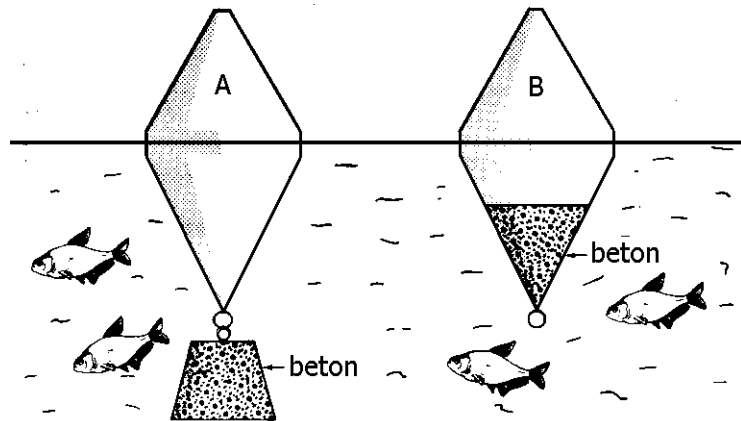
Bereken de dichtheid (ρ_w) van elke vloeistof.



$\rho_w = \dots\dots\dots$ $\rho_w = \dots\dots\dots$ $\rho_w = \dots\dots\dots$ $\rho_w = \dots\dots\dots$

Opgave 2

In de figuur hiernaast drijven twee boeien in een meer. Boei A is aan de onderzijde verzwaard met een betonnen blok. Bij boei B is er beton in de boei aangebracht. Verder zijn beide boeien volkomen gelijk. Beide boeien steken even ver boven het water uit.

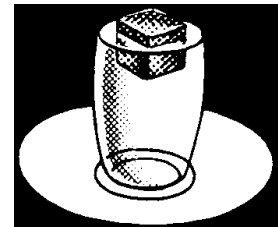


a. Wordt er meer water verplaatst bij boei A of bij boei B?

b. Zal de massa van het beton bij boei A of bij boei B dan groter zijn?

Opgave 3

Je gooit een ijsblokje van 53 gram in een glas. Je vult het glas daarna tot de rand met water. Het ijsblokje drijft in het water en steekt boven de rand uit. Zie de figuur hiernaast. Zal het glas overlopen als het ijsblokje gaat smelten? Deze vraag zal in drie stappen worden beantwoord. Kies hierna steeds uit A, B of C.



In het begin is het ijsblokje nog niet kleiner geworden door te smelten.

Hoeveel gram water wordt dan door het ijsklontje verplaatst (opzij geduwd)?

A. precies 53 gram. B. meer dan 53 gram. C. minder dan 53 gram

In hoeveel gram water verandert het ijsblokje uiteindelijk door te smelten?

A. in precies 53 gram water. B. in meer dan 53 gram. C. in minder dan 53 gram.

De waterhoogte zal dus

A. gelijk blijven. B stijgen (het glas loopt dus over). C. dalen

Opgave 4

Een bal met een massa van 500 g drijft op alcohol.

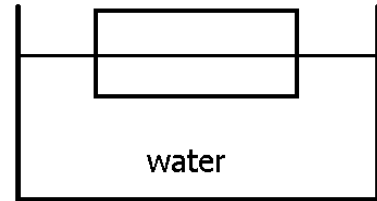
Hoe groot is de massa van de verplaatste alcohol?

Zoek de dichtheid van alcohol in de tabel op.

Bereken het volume van de bal dat zich onder het vloeistofoppervlak bevindt (dus het volume van de verplaatste alcohol).

Opgave 5

Een houten blokje met een volume van 50 cm^3 drijft in een bak met water. Zie de figuur hiernaast. De helft van het blokje bevindt zich onder water. Bereken de massa van het blokje.

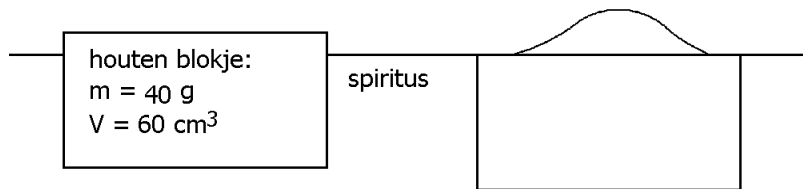


Opgave 6

Een bal drijft op benzine. Het volume van de bal bedraagt 100 cm^3 . Boven het benzineoppervlak bevindt zich 80% van het volume. Bereken de massa van de bal.

Opgave 7

In de linker figuur hiernaast drijft een houten blokje in spiritus. Het blokje heeft een massa van 40 g en een volume van 60 cm^3 . In de rechter figuur heeft men



precies zoveel zand op het blokje gestrooid dat de bovenkant van het blokje samenvalt met het spiritusoppervlak. Bereken nu hoeveel gram zand dat is.

Opgave 8

Een blokje ijzer heeft een volume van 15 cm^3 . Dit wordt in een bad met kwik gelegd.

a.

Toon aan dat het blokje ijzer blijft drijven.

b.

Bereken het volume van het ijzer dat zich ONDER het kwikoppervlak bevindt.

Opgave 9

Een ijsklontje van $-4 \text{ }^\circ\text{C}$ drijft in chloroform. De massa van het ijsklontje is 40 g.

Bereken het volume van het ijsklontje BOVEN het vloeistofoppervlak.

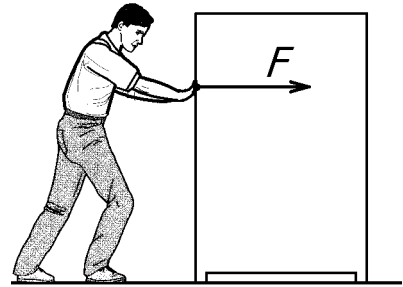
Opgave 10

Een massief vlot is gemaakt van eikenhouten planken en is 300 cm lang, 200 cm breed en 25 cm dik. Het vlot heeft een massa van 1170 kg. Het vlot drijft in de IJssel. Bereken hoeveel jongens van 60 kg met droge voeten op het vlot kunnen staan.

§ 5 Zwaartekracht

Het tekenen van een kracht

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 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.

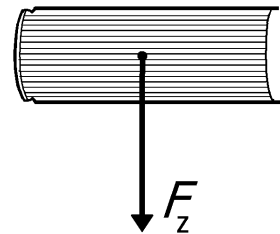


De newton als eenheid van kracht

Om aan te geven hoe groot een kracht is gebruiken we de eenheid newton. In het bovenstaande voorbeeld duwt Iwan met een kracht van bijvoorbeeld 100 newton. Dit kan dan kort worden opgeschreven als: $F = 100 \text{ N}$. Hierbij is N de afkorting van newton. De eenheid newton is niet zo groot. Zo is de benodigde kracht om een blokje van 100 gram op te tillen ongeveer één newton.

Zwaartekracht

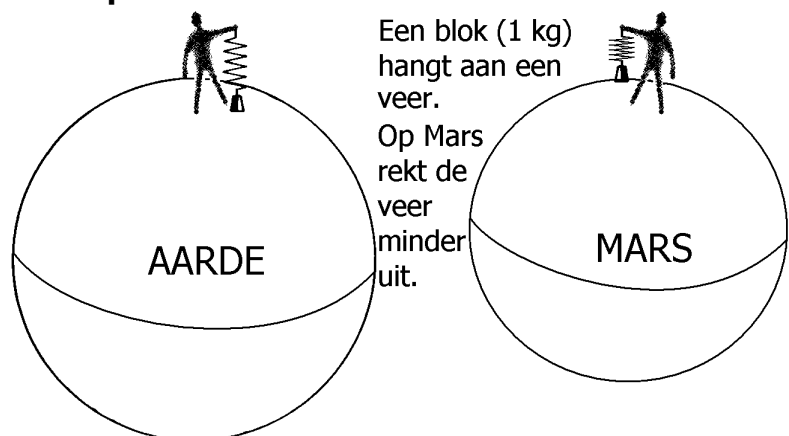
Als een voorwerp zoals een boek opgetild wordt en vervolgens wordt losgelaten, dan valt dit voorwerp naar beneden. Blijkbaar wordt het voorwerp door de aarde naar beneden getrokken. De kracht waarmee dat gebeurt, heet de zwaartekracht. Het symbool voor de zwaartekracht is F_z . Zie de figuur hiernaast.



Ook op andere planeten (zoals Mars) vallen voorwerpen naar beneden. Blijkbaar heeft elke planeet de eigenschap om voorwerpen naar zich toe te trekken. Steeds spreken we over de zwaartekracht. **De zwaartekracht op een voorwerp is dus de kracht waarmee de aarde of een andere planeet aan dat voorwerp trekt.**

De zwaartekracht op verschillende planeten

De zwaartekracht verschilt van planeet tot planeet. Neem bijvoorbeeld een stalen blok met een massa van 1 kilogram. Op aarde werkt er op dit blok een zwaartekracht van ongeveer 10 newton (preciezer: 9,8 newton). Als het blok echter naar Mars gebracht wordt, dan is de zwaartekracht op het blok slechts 3,7 newton. Blijkbaar trekt de Aarde veel harder aan het blok dan Mars. Zie ook de figuur.



In tegenstelling tot de zwaartekracht is de massa van een voorwerp onafhankelijk van de plaats in het heelal. Zo is de massa van het blok in het bovenstaande voorbeeld op elke planeet 1 kilogram. Dat kan op de volgende manier begrepen worden. De massa van een voorwerp wordt wel eens omschreven als de hoeveelheid stof van dat voorwerp. En als een voorwerp van de Aarde naar Mars gebracht wordt, verdwijnt er geen stof en komt er ook geen stof bij.

Omrekenen van massa naar zwaartekracht (op Aarde)

Stel dat Jan (op Aarde) vier verschillende stenen heeft met massa's van 100 g, 200 g, 300 g en 400 g. Op de stenen werken dan zwaartekrachten van 1 N, 2 N, 3 N en 4 N (afgerond). Blijkbaar neemt de zwaartekracht in dezelfde verhouding toe als de massa's. We zeggen dan dat de zwaartekracht "evenredig" is met de massa (even = dezelfde en rede = verhouding).

We geven het evenredig verband tussen zwaartekracht en massa als volgt aan waarbij we gebruik maken van de tilde (~).

$$F_z \sim m$$

Het is nu handig om de volgende regels voor het omrekenen te onthouden.

- 1) Om van de eenheid gram naar de eenheid newton te gaan moet je de komma twee plaatsen naar links schuiven.
- 2) Om van de eenheid newton naar de eenheid gram te gaan moet je de komma twee plaatsen naar rechts schuiven.

Voorbeelden van berekeningen

Voorbeeld 1

Bereken de zwaartekracht op een knikker van 150 g.

Oplossing:

$$m = 150 \text{ g} \Rightarrow F_z = 1,5 \text{ N}$$

Voorbeeld 2

Bereken de massa van een steen waarop een zwaartekracht van 2,5 N werkt.

Oplossing:

$$F_z = 2,5 \text{ N} \Rightarrow m = 250 \text{ g}$$

Voorbeeld 3

Bereken de zwaartekracht op een blokje lood met een volume van 30 cm^3 .

Oplossing:

$$\rho = 11,3 \text{ g/cm}^3 \text{ (opzoeken in de tabel)}$$

$$m = \rho \cdot V = 11,3 \text{ g/cm}^3 \cdot 30 \text{ cm}^3 = 339 \text{ g.}$$

$$F_z = 3,39 \text{ N}$$

Opgaven bij § 5

Opgave 1

Omschrijf het begrip zwaartekracht.

Opgave 2

In welke eenheid wordt de zwaartekracht uitgedrukt?

Opgave 3

In welke richting wijst de zwaartekracht altijd?

Opgave 4

Vul op de onderstaande open plekken in: “gelijk blijven” of “veranderen”.

Stel dat een voorwerp zoals een boek van onze aarde naar de planeet Jupiter wordt gebracht.

De massa van dit voorwerp zal dan _____

De zwaartekracht op dit voorwerp zal dan _____

Opgave 5

Door op een personenweegschaal te gaan staan kan iemand zijn massa aflezen. Maar eigenlijk reageert zo'n weegschaal op de kracht (in plaats van massa) die op zijn bovenzijde wordt uitgeoefend. En dan nu de vraag. Zal een personenweegschaal op Mars meer of minder aanwijzen dan op onze aarde? Licht je antwoord toe.

Opgave 6

Hoe groot is de zwaartekracht op een voorwerp (op aarde) met een massa van 1 g?

Hoe groot is de zwaartekracht op een voorwerp (op aarde) met een massa van 100 g?

Opgave 7

Hoe groot is de zwaartekracht op een schroef van 300 g?

Hoe groot is de zwaartekracht op een stoel van 2,5 kg?

Opgave 8

De zwaartekracht op een aardappel is 1,7 N. Hoe groot is zijn massa (uitgedrukt in g)?

De zwaartekracht op een mens is 650 N. Hoe groot is zijn massa (uitgedrukt in g)?

De zwaartekracht op een mens is 650 N. Hoe groot is zijn massa (uitgedrukt in kg)?

Opgave 9

Een blok eikenhout (dichtheid $0,78 \text{ g/cm}^3$) heeft een volume van 6000 cm^3 .

Bereken de zwaartekracht op het blok.

Opgave 10

Op een stuk messing werkt een zwaartekracht van 25 N.

Bereken het volume van het stuk messing.

Opgave 11

Een stuk metaal heeft een volume van 77 cm^3 . De zwaartekracht op het stuk metaal bedraagt 5,5 N. Bereken de dichtheid van het metaal. Welke metaalsoort zou het kunnen zijn?

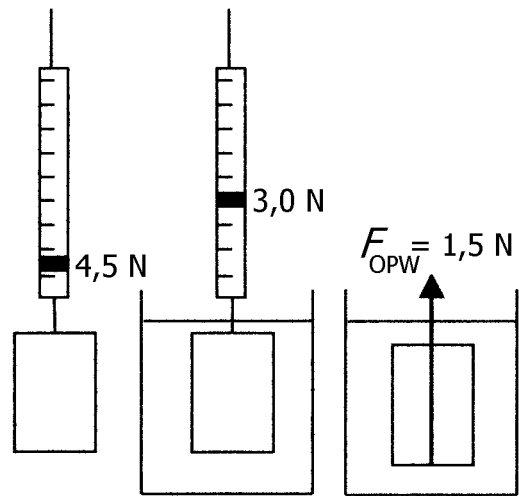
§ 6 Opwaartse kracht; wet van Archimedes

Opwaartse kracht

In de linker figuur hiernaast hangt een blokje aluminium aan een krachtmeter. Op de krachtmeter is de zwaartekracht van het blokje af te lezen. Deze bedraagt 4,5 N.

In de middelste figuur hiernaast wordt het blokje in water gehouden. De krachtmeter wijst nu minder aan namelijk 3,0 N. Het aluminium blokje lijkt als het ware lichter geworden.

Blijkbaar oefent het water een naar boven gerichte kracht op het blokje uit. Deze kracht heet de opwaartse kracht op het blokje. Het symbool hiervoor is F_{OPW} . Zie de rechter figuur hiernaast. In de figuren hiernaast is de opwaartse kracht $4,5 \text{ N} - 3,0 \text{ N} = 1,5 \text{ N}$.



Wet van Archimedes

De opwaartse kracht kan berekend worden met de wet van Archimedes. Deze luidt als volgt.

De opwaartse kracht op een voorwerp in een vloeistof (geheel of gedeeltelijk ondergedompeld) is even groot als de zwaartekracht op de verplaatste vloeistof.

De opwaartse kracht is dus evenredig met de massa van de verplaatste vloeistof. Schematisch kunnen we dit als volgt kunnen opschrijven.

$$F_{OPW} \sim m_{VV}$$

Getallenvoorbeeld

Een kogel met een volume van 50 cm^3 hangt aan een krachtmeter. De krachtmeter wijst 0,9 N aan. Zie de linker figuur hiernaast.

Als de kogel in alcohol wordt ondergedompeld wijst de krachtmeter slechts 0,5 N aan. Zie de rechter figuur.

Dit volgt uit de volgende berekening.

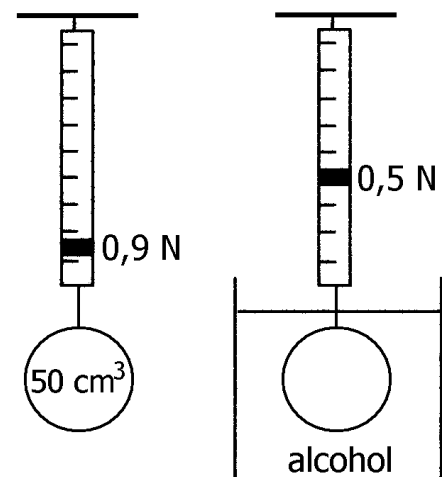
$$V_{VV} = 50 \text{ cm}^3$$

$$\rho_{VV} = 0,80 \text{ g/cm}^3 \text{ (= dichtheid alcohol)}$$

$$m_{VV} = \rho_{VV} \cdot V_{VV} = 0,80 \text{ g/cm}^3 \cdot 50 \text{ cm}^3 = 40 \text{ g}$$

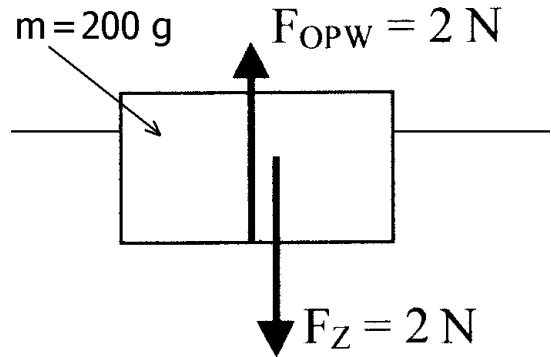
$$F_{OPW} = 0,4 \text{ N} \text{ (volgens de wet van Archimedes)}$$

$$F_{KRACHTMETER} = 0,9 \text{ N} - 0,4 \text{ N} = 0,5 \text{ N}$$



De krachten op een drijvend voorwerp

In de figuur hiernaast drijft een blokje van 200 g in een bepaalde vloeistof. De zwaartekracht op het blokje is dan dus 2 N. Deze naar beneden gerichte kracht is in de figuur weergegeven. Omdat het voorwerp drijft, is de massa van de verplaatste vloeistof ook 200 g. Volgens de wet van Archimedes is de opwaartse kracht op het blokje dan dus ook 2 N. Ook deze kracht is in de figuur getekend.



Wat in dit voorbeeld geldt, geldt algemeen.

Op een drijvend voorwerp werken twee krachten, namelijk de zwaartekracht en de opwaartse kracht. Deze krachten zijn even groot.

Dit is logisch, want als de zwaartekracht bijvoorbeeld groter zou zijn, dan zou het voorwerp naar beneden bewegen.

Opgaven bij § 6

Opgave 1

In welke situatie is er sprake van een opwaartse kracht?

Opgave 2

Hoe groot is de opwaartse kracht volgens de wet van Archimedes?

Opgave 3

Klaas heeft een baksteen in zijn hand. Naast Klaas staat een grote emmer, die gevuld is met water. Op een bepaald moment dompelt Klaas de baksteen onder water. De baksteen raakt de binnenkant van de emmer niet. Zal de baksteen door het onderdompelen zwaarder of lichter aanvoelen? Licht je antwoord toe.

Opgave 4

Een boot drijft in het water. De zwaartekracht op de boot bedraagt 200.000 N. Hoe groot is de opwaartse kracht dan?

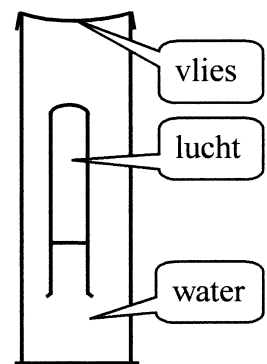
Opgave 5

Stel dat je in het water van een zwembad ligt. Je longen zitten vol lucht en je drijft in het water. Op een bepaald moment blaas je zoveel mogelijk lucht uit je longen. Dat heeft een aantal gevolgen. Deze zijn hieronder gegeven. Geef de juiste volgorde (van oorzaak naar gevolg).

- De massa van de verplaatste vloeistof (= water) wordt kleiner.
- Je blaast lucht uit je longen.
- De zwaartekracht "wint" het van de opwaartse kracht.
- De opwaartse kracht wordt kleiner.
- Je zinkt.
- Je volume wordt kleiner.

Opgave 6

Een maatcilinder is geheel gevuld met water. De maatcilinder is afgesloten door een rubberen vlies. In de maatcilinder bevindt zich een reageerbuis met de opening naar beneden. De reageerbuis is voor een deel gevuld met lucht. Zie de figuur hiernaast. Als op het rubberen vlies gedrukt wordt daalt de reageerbuis; anders stijgt de reageerbuis. Leg uit waarom dat gebeurt.



Opgave 7

Een bal drijft op water. Het volume van de bal bedraagt 400 cm^3 . Onder het wateroppervlak bevindt zich 20% van dit volume. Bereken hoe groot de opwaartse kracht op de bal is.

Opgave 8

Een bekerglas is geheel gevuld met aceton. Op de bodem ligt een houten blokje. De opwaartse kracht die het blokje van de vloeistof ondervindt is $0,30 \text{ N}$. Bereken het volume van het blokje.

Opgave 9

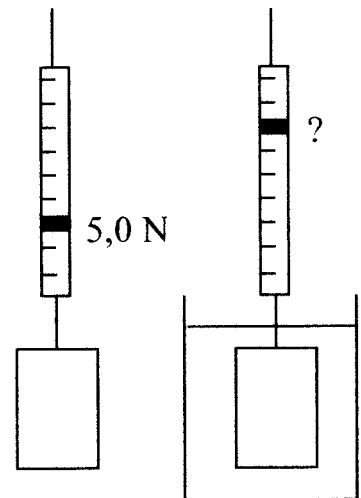
Een aluminium blok hangt aan een krachtmeter. Zie de linker figuur hiernaast. De krachtmeter wijst $5,0 \text{ N}$ aan.

a.

Toon aan dat het volume van het blok 185 cm^3 is.

b.

Het blok wordt in een bak met chloroform gehangen. Zie de rechter figuur hiernaast. Bereken wat de krachtmeter in de nieuwe situatie aanwijst.



Opgave 10

Een emmer van 's Gravesande is een cilindervormig emmertje waar precies een massieve metalen cilinder in past. Met andere woorden: de inhoud van de emmer is gelijk aan het volume van de cilinder. Nu worden de volgende proeven gedaan (zie ook de vier figuren hiernaast).

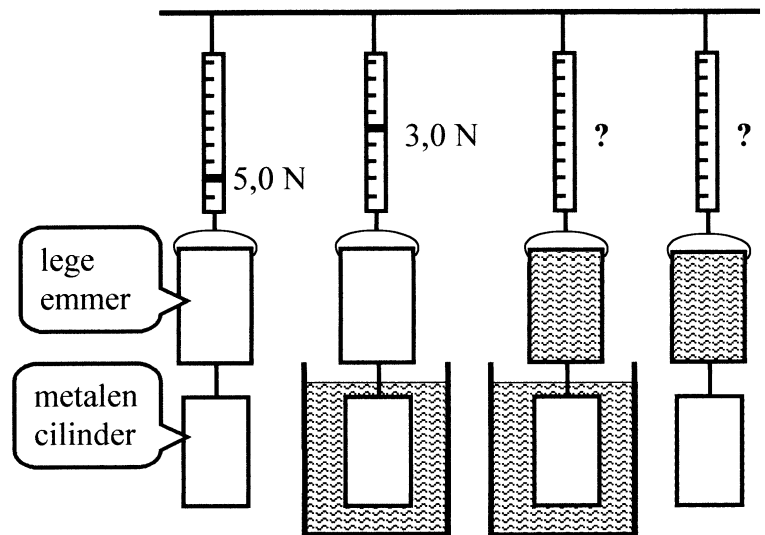
Proef 1 Aan een krachtmeter wordt de lege emmer gehangen en onder de emmer wordt de metalen cilinder gehangen. De krachtmeter wijst 5,0 newton aan.

Proef 2 Gelijk aan proef 1 maar nu wordt de metalen cilinder in een bakje met water gehangen. De krachtmeter wijst nu 3,0 newton aan.

Proef 3 Gelijk aan proef 2 maar nu wordt de emmer geheel gevuld met water.

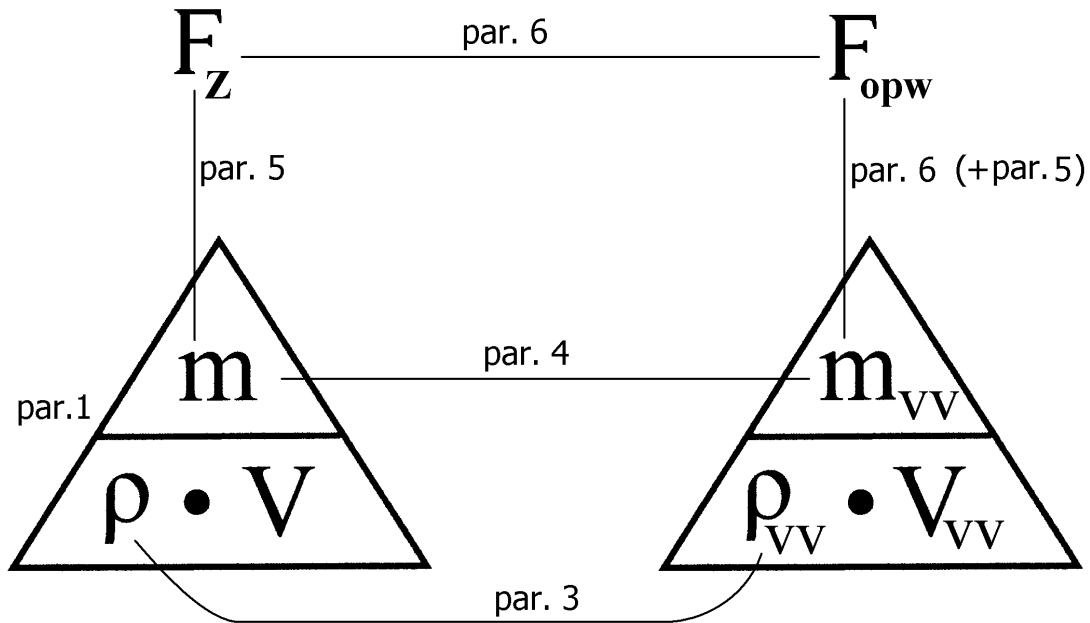
Proef 4 Gelijk aan proef 3 maar nu wordt het bakje met water weer weggehaald.

En dan nu de vraag. Hoeveel zal de krachtmeter in de proeven 3 en 4 aanwijzen? Licht je antwoord toe.



§ 7 Samenvatting en schematisch overzicht

Hieronder wordt een samenvatting gegeven van de voorgaande paragrafen. De verschillende begrippen en hun onderlinge verband staan in het onderstaande schema.



Paragraaf 1

Elk voorwerp heeft een massa (symbool m) en een volume (symbool V). De massa geeft aan hoe zwaar het voorwerp is en wordt uitgedrukt in bijv. gram (g). Het volume geeft aan hoeveel ruimte het voorwerp inneemt en wordt uitgedrukt in bijv. cm^3 . De dichtheid van een stof (symbool ρ) geeft aan hoe zwaar deze stof is. De dichtheid wordt uitgedrukt in g/cm^3 .

Paragraaf 3

Als een voorwerp zich in een vloeistof bevindt, dan zijn er drie mogelijkheden: het voorwerp drijft, zweeft of zinkt in de vloeistof. Paragraaf 3 beperkt zich tot homogene voorwerpen. Dat wil zeggen dat het voorwerp maar uit één stof bestaat. De dichtheid hiervan wordt met ρ aangegeven. De dichtheid van de vloeistof wordt met ρ_{vv} aangeduid ($vv = \text{“verplaatste vloeistof”}$). Het voorwerp zweeft in de vloeistof als geldt: $\rho = \rho_{vv}$. Als ρ kleiner is, dan zal het voorwerp drijven. Als ρ groter is, dan zal het voorwerp zinken.

Paragraaf 4

Als een voorwerp in een vloeistof drijft (of zweeft), dan is de massa van het voorwerp (symbool m) gelijk aan de massa van de verplaatste vloeistof (symbool m_{VV}). Deze laatste massa volgt uit de dichtheid van de verplaatste vloeistof (symbool ρ_{VV}) en het volume van de verplaatste vloeistof (symbool V_{VV}).

Paragraaf 5

Elk voorwerp ondervindt een zwaartekracht (symbool F_Z).

De zwaartekracht wordt, net als elke kracht, uitgedrukt in newton (N).

De grootte van de zwaartekracht hangt van de massa van het voorwerp af.

Om van gram naar newton te gaan moet de komma twee plaatsen naar links geschoven worden.

Om van newton naar gram te gaan moet de komma twee plaatsen naar rechts geschoven worden.

Paragraaf 6

Een voorwerp, dat zich in een vloeistof bevindt, ondervindt een opwaartse kracht (symbool F_{OPW}).

Volgens de wet van Archimedes is de opwaartse kracht even groot als de zwaartekracht op de verplaatste vloeistof.

Als een voorwerp drijft (of zweeft) in een vloeistof, zijn de zwaartekracht (F_Z) en de opwaartse kracht (F_{OPW}) met elkaar in evenwicht. Deze krachten zijn dan even groot en tegengesteld gericht.