

20 Biofysica

vwo

20.1 Vloeistof

Druk in een vloeistof of gas

- 1** Op een bepaald tijdstip is de bloeddruk in het hart $1,6 \cdot 10^4$ Pa. Een slagader in de hersenen bevindt zich 45 cm boven het hart. De dichtheid van bloed is 1060 kg m^{-3} .
- a Hoe groot is de druk in deze slagader. Verwaarloos drukverandering vanwege het stromen van bloed.

- 2** De bultrug zeeduivel leeft in de oceaan op een diepte van 1,0 tot 4,0 km. Op deze diepte is geen zonlicht, waardoor de dieren zijn aangewezen op bioluminescentie (licht dat door organisme wordt veroorzaakt).

- a Hoe groot is de waterdruk op een diepte van 4,0 km?

De luchtdruk op het wateroppervlak is $1,0 \cdot 10^5$ Pa.

- b Hoe groot is de totale druk op een diepte van 4,0 km in bar?



- 3** De boom genaamd "hyperion" is de hoogste boom ter wereld en staat in een afgelegen gedeelte van het Redwood National Park in Californië, Verenigde Staten. Deze sequoia is genoemd naar de gelijknamige titaan uit de Griekse mythologie.



Hyperion heeft een hoogte van 115,6 meter, en is daarmee hoger dan de hoogste kerktoren in Nederland, de Domtoren in Utrecht. Veel hoger kunnen bomen niet worden, omdat de vloeistofdruk bij de wortels anders te groot wordt. De dichtheid van boomsap is ongeveer gelijk aan die van zeewater.

- a Bereken de vloeistofdruk van hyperion bij de grond.
- b Hoeveel bar is dit?

4*** Giraffen hebben een uitzonderlijk groot en sterk hart. Dit is nodig, omdat de kop van een giraf bij het eten 2,5 meter hoger is dan het hart en bij het drinken 2,5 m lager dan het hart. Het hart van een giraf heeft een bovendruk, systolische bloeddruk, van 300 mm Hg en een onderdruk, diastolische bloeddruk, van 180 mm Hg. Beide drukken zijn ongeveer het dubbele van die van een mens. De dichtheid van bloed is 1060 kg m^{-3} .



- a Hoe groot is de bovendruk bij de kop van een giraf als hij eet en als hij drinkt?

Om deze grote variatie in bloeddruk op te vangen bevinden zich in de nek van een giraf een ingewikkeld stelsel van kleppen. Zonder deze kleppen zou een giraf flauwvallen als hij zijn kop tijdens het drinken snel zou optillen bij dreigend gevaar.

- b Leg uit waarom deze kleppen noodzakelijk zijn bij het eten.

De wet van Archimedes

De wet van Pascal

5*** Een injectiespuit heeft een zuiger met een oppervlakte van $1,0 \text{ cm}^2$. De naald heeft een opening van $0,10 \text{ mm}^2$. Om de vloeistof te injecteren oefen je op de zuiger een kracht van $5,0 \text{ N}$ uit.

- a Hoeveel kracht oefent de vloeistof bij de opening van de naald uit?



Oppervlaktespanning

- 6**** Een schaatsenrijder is een insect dat over water kan lopen. Zie figuur 1. Het heeft een massa van 30 mg en staat op 6 poten. We nemen aan dat het contactoppervlak tussen de poten en het water bolvormig is met straal r . Het wateroppervlak wordt door een poot vergroot van cirkelvormig naar een halve bol. In figuur 2 zie je het uiteinde van een poot. De indeuking van het wateroppervlak is gelijk aan de straal r van de poot.



Figuur 1

We nemen aan dat het gewicht van de schaatsenrijder gelijkmatig is verdeeld over zijn zes poten. Als een poot tot een diepte r in het water zakt neemt de oppervlakte van het water toe met:

$$\Delta A = 6\pi \cdot r^2$$

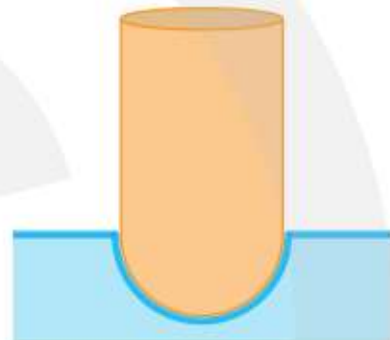
- a Toon dit aan.

Om op water te kunnen staan moeten de poten van een schaatsenrijder een minimale dikte (diameter) hebben. Je kunt deze dikte berekenen door de afname van de zwaarte-energie gelijk te stellen aan de toename van de oppervlakte-energie.

Hieruit volgt: $r = \frac{m \cdot g}{6\pi \cdot \gamma}$

- b Toon dit aan.

- c Bereken de minimale diameter van een poot van een schaatsenrijder in mm.



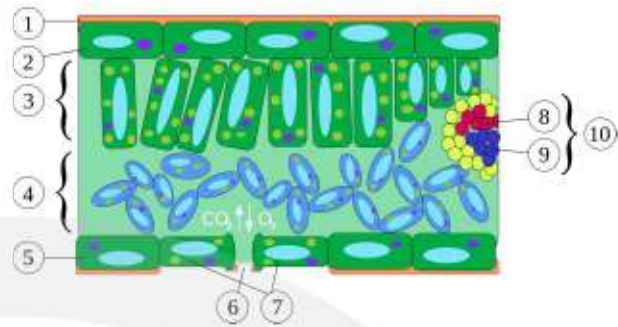
Figuur 2

Capillaire werking

- 7*** Lindebomen komen veel voor in Nederland. Ze kunnen meer dan 400 jaar oud worden en 30 meter hoog. Zie figuur 1. Om het water uit de wortels naar het hoogste punt te brengen is voldoende druk nodig. Het transport tussen de wortels en de bladeren van water gebeurt via bladnerven, nummer 10 in figuur 2. Bladverven hebben gescheiden kanalen voor het transport van water uit de wortels naar de bladeren, nummer 8 xyleemvaten, en voor het transport van uit fotosynthese verkregen moleculen, nummer 9 floëemvaten.



Figuur 1



Figuur 2

Doordat bladeren water verdampen ontstaat er onderdruk. Luchtdruk perst het water omhoog naar de bladeren.

a Bereken hoe hoog water op deze manier omhoog kan worden gebracht.

We vragen ons af of capillaire druk in xyleemvaten in staat is om water 30 meter omhoog te brengen.

Voor de capillaire vloeistofdruk in een buis geldt:

$$p_{\text{cap}} = \frac{2\gamma}{r}$$

- p_{cap} is de capillaire druk (N / m^2) of (Pa)
- γ is de oppervlaktespanning in (N / m) of (J / m^2)
- r is de straal van de capillair (m)

b Hoe groot mag de diameter van xyleemvaten in het blad maximaal zijn als water met capillaire druk 30 meter omhoog moet worden gebracht.

20.2 Vloeistof in beweging

Behoud van massa en van energie

1** Een dikke ader met een doorsnede van $1,5 \text{ cm}^2$ brengt bloed naar het hart. Het bloed stroomt met een gemiddelde snelheid van 30 cm/s .

a Hoeveel liter bloed stroomt er per minuut door deze ader?

2** Een patiënt herstelt van een operatie door het toedienen van vloeistof in een ader (intraveneuze infusie). De vloeistof heeft een dichtheid van 1030 kg m^{-3} . In $6,0$ uur wordt $0,90$ liter vloeistof toegediend.

a Bereken het massadebiet in kg/s .

3*** Bij slagaderverkalking (atherosclerose) is materiaal (plaque) gehecht aan de wand van een slagader, waardoor het bloed door een kleinere opening moet stromen.

In de halsslagader (arteria carotis) stroomt het bloed bij een gedeeltelijk geblokkeerde halsslagader $2,5$ keer sneller dan bij een niet geblokkeerd deel.

a Wat is de verhouding tussen de effectieve diameters van de halsslagader op deze twee plaatsen?

4**** We kunnen het stromen van vloeistof vergelijken met het stromen van elektrische lading. Voor elektrische stroom geldt de wet van Ohm: $U = I \cdot R$

– U is de spanning in volt (V)

– I is de stroomsterkte (hoeveelheid lading per seconde) in ampère = coulomb per seconde (C s^{-1})

– R is de weerstand in ohm (Ω)

Voor het stromen van vloeistof schrijven we: $\Delta p = Q \cdot R$

– Δp is het drukverschil in pascal (Pa)

– Q is het debiet, het aantal kubieke meter per seconde, in ($\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$)

– R is de weerstand voor vloeistof

a Geef de eenheid van R voor vloeistof uitgedrukt in basiseenheden.

Voor de elektrische energie geldt: $E_{el} = U \cdot I \cdot t$. We verwachten voor het stromen van vloeistof $E_{vloeistof} = \Delta p \cdot Q \cdot t$.

b Controleer of $\Delta p \cdot Q \cdot t$ de eenheid van energie heeft. Vul daartoe de eenheden in.

Viscositeit

5*** Een bloedvat is 20 cm lang en heeft een straal van 2,0 mm. Door het bloedvat stroomt 2,0 ml per seconde. De viscositeit van bloed is $3,5 \cdot 10^{-3} \text{ Pa s}$.

a Hoe groot is het drukverschil over dit bloedvat?
HINT gebruik de vergelijking van Poiseuille

6**** De bloedstroom van Myra is 5,4 liter per minuut. In de aorta stroomt het bloed met een snelheid van 0,20 m/s.

a Bereken de diameter van de aorta.

Voor het stromen van bloed in een bloedvat gebruiken we de vergelijking van Poiseuille:

$$Q = \frac{\pi r^4 \cdot \Delta p}{8\eta \cdot \ell}$$

- Q is het debiet in kubieke meter per seconde ($\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$)
- r is de straal van het bloedvat in meter (m)
- Δp is het drukverschil $\Delta p = p_1 - p_2$ in pascal (Pa)
- η is de viscositeit in pascal keer seconde ($\text{Pa} \cdot \text{s}$)
- ℓ is de lengte van het bloedvat in meter (m)

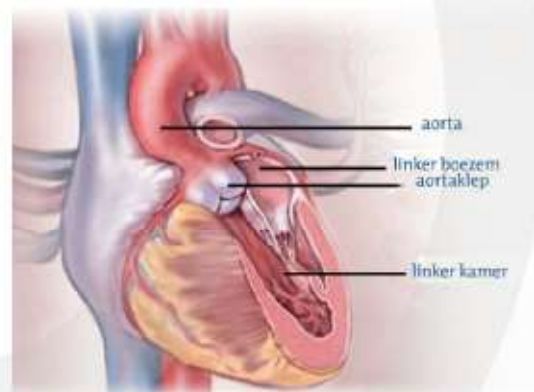
Hieruit volgt voor het drukverschil Δp :

$$\Delta p = \frac{8\eta \cdot \ell \cdot v}{r^2}$$

b Leid deze formule af.

In een haarvat stroomt het bloed met 1,5 mm/s. De diameter van het haarvat is $7,5 \mu\text{m}$. De viscositeit van bloed is $3,5 \cdot 10^{-3} \text{ Pa s}$.

c Bereken het drukverschil per mm in het haarvat in pascal en in mm Hg.



De prestatie van sporters die langdurig inspanning moeten verrichten, zoals wielrenners, wordt verbeterd door erythropoëtine, ook wel EPO genoemd. EPO is een lichaamseigen stof die de aanmaak van rode bloedcellen stimuleert. Door EPO in te nemen kan het bloed meer zuurstof opnemen en transporteren, zodat spiercellen meer vermogen kunnen leveren. Door de grotere concentratie rode bloedcellen neemt de viscositeit van het bloed toe. Hierdoor moet het hart harder werken.

d Leg uit waarom het hart meer wordt belast bij een verhoogde viscositeit

20.3 Gas in rust

Het meten van gasdruk

Ideaal en reëel gas

1** Het aantal moleculen per kubieke meter is de concentratie C . Voor een ideaal gas

$$\text{geldt: } C = \frac{p}{k_B \cdot T} .$$

a Toon dit aan.

2*** Een blauwe vinvis is het grootste dier op aarde en kan 30 meter lang worden. Met zijn enorme longinhoud van 5000 liter kan hij 10 tot 60 minuten onder water blijven. Lucht bestaat voor 21% uit zuurstofmoleculen. Een blauwe vinvis is een zoogdier met een lichaamstemperatuur van 37 °C.



a Hoeveel mol zuurstofmoleculen bevat de longen van een blauwe vinvis als hij net heeft ingeademd?

3*** De luchtdruk is op grote hoogte lager dan op zeeniveau. Piloten komen soms in een situatie waarin de luchtdruk laag is. Daarop worden ze voorbereid in een hoogtekamer, een hypobare kamer, waarin ze worden blootgesteld aan een verlaagde luchtdruk. Op een hoogte van 7,5 km en een temperatuur van 10 °C is de luchtdruk $4,0 \cdot 10^4$ Pa. Lucht bestaat voor 21% uit zuurstofmoleculen.

a Hoeveel mol zuurstof bevat 1,0 m³ lucht op deze hoogte?

4*** De luchtdruk neemt bij benadering exponentieel af met de hoogte volgens de barometrische hoogteformule:

$$p = p_0 \cdot e^{-Mgh/RT}$$

– p is de luchtdruk op hoogte h in pascal (Pa)

– p_0 is de luchtdruk op het aardoppervlak: $1,0 \cdot 10^5$ Pa

- e is het grondtal van de natuurlijke logaritme: $e = 2,71828$
- M is de gemiddelde molaire massa in kilogram per mol (kg/mol)
- g is de valversnelling $9,81 \text{ m/s}^2$
- h is de hoogte in meter (m)
- R is de gasconstante $R = 8,31446 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$
- T is de absolute temperatuur in Kelvin (K)

Lucht bestaat uit 78% N_2 , 21% O_2 en 1 % Ar.

a Bereken de gemiddelde molaire massa in kilogram per mol (kg/mol).

In 1978 beklimmen Reinhold Messner en Peter Habeler de Mount Everest (8848 m hoog) zonder extra zuurstof. De temperatuur op de top is $-10 \text{ }^\circ\text{C}$.

b Bereken de luchtdruk op de top van de Mount Everest.

Reinhold en Peter hebben een meningsverschil over de invloed van de temperatuur op de luchtdruk. Reinhold denkt dat de luchtdruk groter is bij een lagere temperatuur. Peter denkt dat de luchtdruk kleiner is bij een lagere temperatuur.

c Wie heeft er gelijk, Reinhold of Peter?

5**** De luchtdruk neemt bij benadering exponentieel af met de hoogte volgens de barometrische hoogteformule:

$$p = p_0 \cdot e^{-Mgh/RT}$$

- p is de luchtdruk op hoogte h in pascal (Pa)
- p_0 is de luchtdruk op het aardoppervlak: $1,0 \cdot 10^5 \text{ Pa}$
- e is het grondtal van de natuurlijke logaritme: $e = 2,71828$
- M is de gemiddelde molaire massa in kilogram per mol (kg/mol)
- g is de valversnelling $9,81 \text{ m/s}^2$
- h is de hoogte in meter (m)
- R is de gasconstante $R = 8,31446 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$
- T is de absolute temperatuur in Kelvin (K)

De schaatsbaan van Salt Lake City bevindt zich op een hoogte van 1425 m boven zeeniveau en is de snelste ijsbaan ter wereld.

a Bereken de verhouding tussen de luchtdruk op de ijsbaan van Salt Lake City en de luchtdruk op zeeniveau ($h = 0,0 \text{ m}$) bij een temperatuur van $0,0 \text{ }^\circ\text{C}$.

$M = 0,029 \text{ kg/mol}$.

Voor de dichtheid van een ideaal gas geldt: $\rho = \frac{M \cdot p}{R \cdot T}$ waarin M de molaire massa is in kg per mol.

b Toon dit aan.

c Bereken de dichtheid van lucht bij $T = 0,0 \text{ }^\circ\text{C}$ en $p = 1,0 \text{ Bar}$.

De berekende waarde wijkt een beetje af van die in binas tabel 12.

d Geef hiervoor een verklaring.

Twee schaatser rijden met een constante snelheid en oefenen evenveel kracht uit. De ene schaatser rijdt in Salt Lake City en de andere in Heerenveen op zeeniveau.

Voor de luchtweerstand geldt: $F_{w\text{lucht}} = \frac{1}{2} c_w \cdot \rho \cdot A \cdot v^2$.

e Hoeveel procent is de snelheid in Salt Lake City groter dan in Heerenveen als op beide plaatsen de temperatuur $0 \text{ }^\circ\text{C}$ is en ook verder alles hetzelfde is?

6*** Een volwassen mens in rust ademt $8,0$ liter lucht per minuut in en uit. De lucht die wordt ingeademd bevat 20% zuurstof en de lucht die wordt uitgeademd bevat 15% zuurstof.

a Hoeveel liter zuurstof gebruikt een mens in rust per minuut?

b Hoeveel zuurstof moleculen gebruikt een mens in rust per seconde?

7**** Bloeddruk meten

Om de bloeddruk te meten wordt een sphygmomanometer gebruikt. Dit is een opblaasbare manchet die met klittenband om je bovenarm wordt gedaan en daarna wordt opgepompt. De luchtdruk in de manchet wordt gemeten en weergegeven in millimeter kwik (mm Hg). $1 \text{ mm Hg} = 1,33322 \cdot 10^2 \text{ Pa}$. Tijdens de meting luistert de arts met een stethoscoop naar het geluid in de ader aan de binnenkant van je arm.



De arts pompt eerst zoveel lucht in de manchet dat de slagader in je bovenarm wordt dichtgeknepen. De bloedstroom stopt en de arts hoort geen geluid. Daarna laat de arts langzaam lucht ontsnappen. Zodra de druk in de manchet zo laag wordt dat bloeddorstrooming mogelijk is, ontstaan er wervelingen in de slagader van de onderarm, die de arts hoort met de stethoscoop. De maximale druk in de slagader wordt nu afgelezen op de manometer. Dit is de bovendruk en wordt de systolische bloeddruk genoemd. Hierna laat de arts de manchet nog verder leeglopen, en op een

gegeven moment verdwijnt het door wervelingen veroorzaakt geluid. De druk op dit moment is de onderdruk en wordt de diastolische bloeddruk genoemd.

Deze methode van bloeddruk meten maakt gebruik van de wet van Pascal:
Een druk uitgeoefend op een vloeistof die zich in een geheel gevuld en gesloten vat bevindt, zal zich onverminderd in alle richtingen voortplanten.

a Leg dit uit.

In eerste instantie pompt de arts net zoveel lucht in de manchet tot er een druk is van 200 mm Hg ontstaat. Om deze druk te bereiken moet hij 10 keer in het pompje knijpen waarbij er iedere keer 35 ml lucht met een druk van 1,0 atmosfeer (atm) wordt toegevoegd.



b Wat is het volume van de manchet?

De arts laat lucht ontsnappen zodat de druk met 3,0 mm Hg per seconde afneemt. Als de druk 140 mm Hg is hoort de arts het bloed voor het eerst stromen.

c Hoeveel mol lucht heeft de arts laten ontsnappen?

Als de druk 80 mm Hg is hoort de arts geen geluid meer omdat de slagader niet meer is afgesloten.

d Bereken hoeveel mol lucht de arts nu heeft laten wegstromen.

Voor het nauwkeurig meten van de bloeddruk moet de manchet op de hoogte van het hart worden aangebracht.

e Leg uit waarom dit belangrijk is.

De arts wil de bloeddruk van het hart met een nauwkeurigheid van 5,0 mm Hg meten. De dichtheid van bloed is 1060 kg m^{-3} .

f Hoeveel hoger of lager dan het hart mag de manchet maximaal worden aangebracht?

8**** Scuba duiker

Een scuba duiker heeft een fles met perslucht op zijn rug om onder water te kunnen ademen. SCUBA staat voor: **S**elf **C**ontained **U**nderwater **B**reathing **A**pparatus. De duikfles heeft een druk van 230 bar en een volume van 15 liter.

De duiker kan blijven ademen zolang de druk in de gasfles groter is dan de druk op zijn lichaam.



Gemiddeld gebruikt een duiker 30 liter lucht per minuut. Neem aan dat de temperatuur niet verandert tijdens het duiken. Een scuba duiker bevindt zich op een diepte van 10 meter.

a Hoe lang kan hij op deze diepte onder water blijven?

Op een andere dag bevindt de duiker zich op een diepte van 30 meter.

b Hoe lang kan hij op deze diepte onder water blijven?

20.4 Gas in beweging

De vergelijking van Bernoulli voor gassen



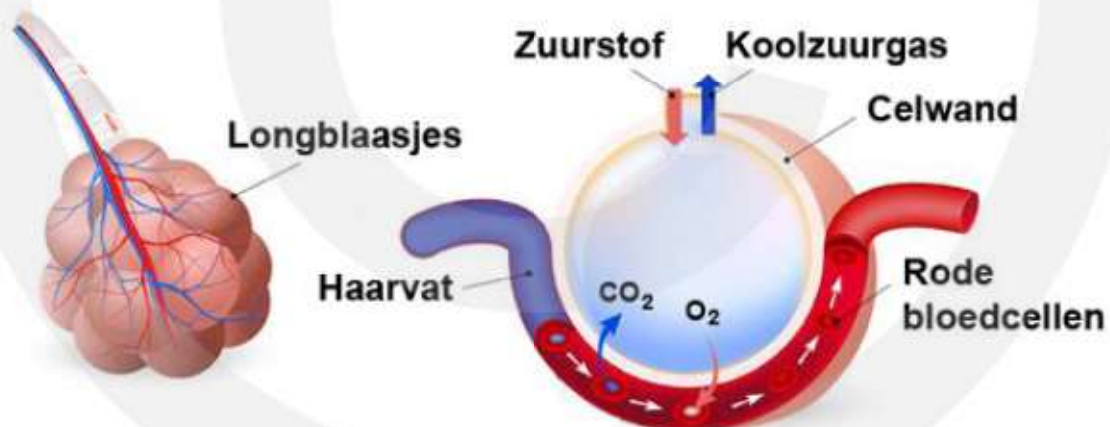
20.5 Diffusie

1** Een transdermale pleister wordt gebruikt om medicijnen langzaam toe te dienen. De pleister wordt op de huid geplakt en heeft een dikte van ongeveer 200 μm .



- a Leg uit wat kun je doen om de medicijnafgifte te vertragen?
- de patch dunner maken JA / NEE want ...
 - de concentratie in de patch verlagen JA / NEE want ...
 - de temperatuur verhogen JA / NEE want ...
 - grotere moleculen gebruiken JA / NEE want ...

2*** De longen van een volwassen mens hebben ongeveer 600 miljoen longblaasjes, ook wel alveoli genoemd. Deze longblaasjes zijn door een dunne celwand gescheiden van de haarvaten. Zuurstof en kooldioxide diffunderen door de celwand. Zie figuur.



Een longblaasje is bolvormig en heeft een doorsnede van 0,20 mm.

a Hoe groot is de oppervlakte van de longen?

Lucht bevat 21% zuurstof. Bij de standaarddruk van $1,01325 \cdot 10^5$ Pa en een temperatuur 298 K gebruikt een mens in rust 1,9 liter zuurstof per minuut. Dit zijn $1,6 \cdot 10^{20}$ O_2 moleculen per seconde.

b Toon dit aan.

c Hoe groot is de deeltjesstroom J in de longen?

De eerste wet van Fick luidt: $J = -D \cdot \frac{\Delta C}{\Delta x}$. Voor een ideaal gas geldt: $C = \frac{p}{k_B \cdot T}$.

Hieruit volgt: $J = -\frac{D}{k_B \cdot T} \cdot \frac{\Delta p}{\Delta x}$

d Toon dit aan.

De partiële zuurstofdruk in een ader (zuurstofarm bloed) is 40 mm kwikdruk.

e Bereken de partiële zuurstofdruk in een ader uitgedrukt in pascal.

In een longblaasje is de partiële zuurstofdruk 104 mm Hg.

Diffusie vindt plaats door celwand van een longblaasje en de celwand van een haarvat. De afstand waarover diffusie plaatsvindt is 0,20 mm.

f Bereken de gemiddelde diffusiecoëfficiënt van zuurstof van de celwanden.

3*** De diffusiecoëfficiënt van zuurstof in water is $1,0 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$.

a Hoe lang heeft een zuurstofmolecuul ongeveer nodig om in een biologische cel van 120 μm diameter naar de overkant te diffunderen?

Een andere cel heeft een vier keer zo grote diameter.

b Hoe lang heeft een zuurstofmolecuul in deze cel ongeveer nodig om naar de overkant te diffunderen?

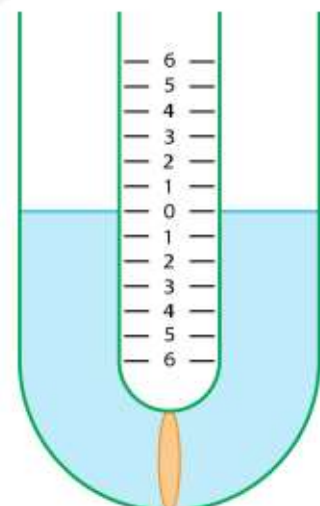
Een zuurstofmolecuul bevindt zich in bloed. Neem aan dat de waarde voor D in bloed hetzelfde is als in water.

c Hoe ver diffundeert dit molecuul in 1,0 seconde?

d Hoe lang duurt het voordat een zuurstofmolecuul over een afstand van 10 cm is gediffundeerd?

4*** **Osmose**

Osmose is het diffunderen van oplosmiddel door een semipermeabel membraan. Het membraan is doordringbaar voor het oplosmiddel, maar niet voor de opgeloste moleculen. Hierdoor ontstaat osmotische druk. Osmose is belangrijk in biologische systemen, omdat biologische membranen vaak permeabel (doordringbaar) zijn voor kleine moleculen, zoals water, maar niet voor ionen of grote moleculen, zoals suiker.



Om osmose te onderzoeken nemen we een U-vormige buis met twee compartimenten die van elkaar gescheiden zijn door een semipermeabel membraan. Zie figuur.

Beide compartimenten vullen we met 100 ml water. Daarna voegen we aan het linker compartiment 1,0 gram suiker toe en aan het rechter compartiment 2,0 gram suiker. Hierdoor verandert langzaam het vloeistofniveau in beide compartimenten.

a Leg dit uit.

Na een tijdje verandert het vloeistofniveau niet meer.

b Leg dit uit.

Als het proces stop is er minder dan 50 ml water door het membraan gegaan.

c Leg dit uit.

Om te berekenen hoeveel water door het membraan is gegaan stellen we vergelijkingen voor de concentratie c op met n het aantal gram suiker en V het volume in milliliter.

$$\text{-- links: } c_1 = \frac{n_1}{V_1} \quad | \quad \text{rechts: } c_2 = \frac{n_2}{V_2} \quad \text{er is evenwicht als: } c_1 = c_2 \quad \rightarrow \quad \frac{n_1}{V_1} = \frac{n_2}{V_2}$$

$$\text{-- } n_1 = 1, \quad n_2 = 2 \quad \text{en} \quad V_1 + V_2 = 200$$

$$\text{Hieruit volgt voor de eindsituatie: } \frac{n_1}{V_1} = \frac{n_2}{V_2} = \frac{3}{200} \left(\frac{\text{gram}}{\text{cm}^3} \right)$$

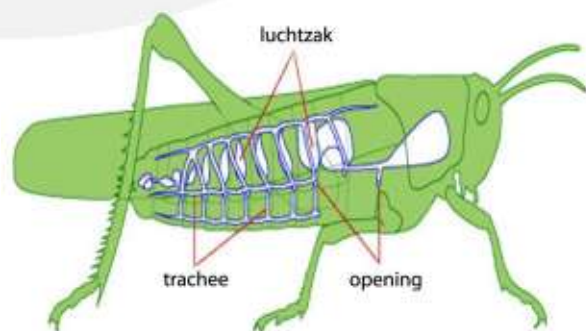
d Toon dit aan.

In de linkerkant blijft 1,0 gram suiker, want suiker kan niet door het membraan. Hieruit volgt dat er $33,333 = 33$ ml water door het membraan is gegaan.

e Toon dit aan.

5**** Insecten

Insecten hebben net als alle dieren zuurstof nodig. Ze hebben wel bloed, maar gebruiken dit niet om zuurstof te transporteren zoals zoogdieren en reptielen. Het bloed bevat dan ook geen hemoglobine en is kleurloos. Ook is de ademhaling niet gekoppeld aan de monddelen, maar verloopt via vele openingen in het uitwendige skelet.



De lucht wordt eerst door een hoofdstelsel van dikkere buisjes (trachea) gevoerd en via vele kleinere buisjes (tracheola) tot vlak bij de cellen gebracht. De lucht wordt vanuit vele plaatsen op het achterlijf en het borststuk aangevoerd en weer afgevoerd met behulp van kleine spiertjes die de opening sluiten bij het aanspannen en openen bij het ontspannen. Het systeem is aan de ene kant zeer effectief, maar de keerzijde is dat een tracheeënstelsel alleen efficiënt kan zijn bij een gering lichaamsvolume. Samen met het relatief zware chitinepantser is het tracheeënsysteem de belangrijkste reden waarom er bij insecten nooit echt grote vertegenwoordigers zijn ontstaan.

Lucht bevat 21% zuurstof. De zuurstofconcentratie van de lucht buiten het insect is $0,28 \text{ kg m}^{-3}$.

a Toon dit aan.

Een trachee is 2,0 mm lang en heeft een diameter van $50 \mu\text{m}$. De diffusiecoëfficiënt van zuurstof in een trachee is $2,0 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$. Per seconde diffundeert er $1,7 \cdot 10^{-12} \text{ kg}$ zuurstof door een trachee.

b Bereken de zuurstofconcentratie in kg m^{-3} in het lichaam van een insect.

6**** Hemodialyse

Mensen met slecht functionerende nieren moeten een paar keer per week naar het ziekenhuis om hun bloed te laten zuiveren. Bij hemodialyse (HD) wordt een dialyse-machine aangesloten op een ader in je arm. Water, Na^+ en K^+ ionen, ureum en fosfaat worden hierbij uit je bloed gehaald. Zie figuur 1.



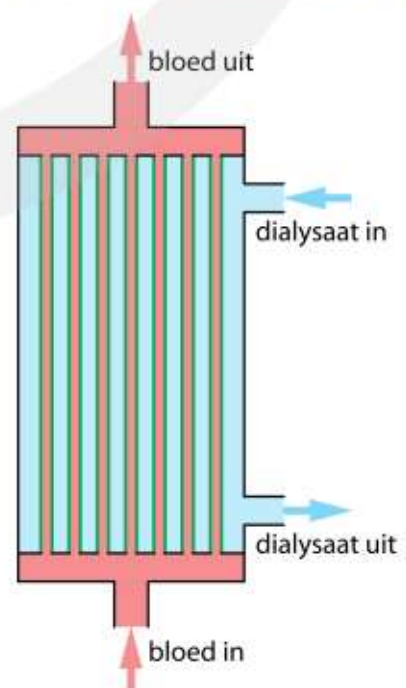
Figuur 1

In een dialysemachine bevindt zich een kunstnier. Zie figuur 2. Hierin wordt bloed langs een semipermeabel membraan gepompt. Aan de andere kant van het membraan bevindt zich spoelvoelstof (dialysaat). Door diffusie verplaatsen de schadelijke stoffen door het membraan van het bloed naar de spoelvoelstof.

In figuur 2 zie je dat het bloed door parallelle buisjes wordt gepompt. De wanden van deze buisjes (groen) zijn semipermeabel.

In de kunstnier stroomt het dialysaat tegen de stroomrichting van het bloed in.

a Leg uit waarom een tegengestelde stroomrichting beter werkt.



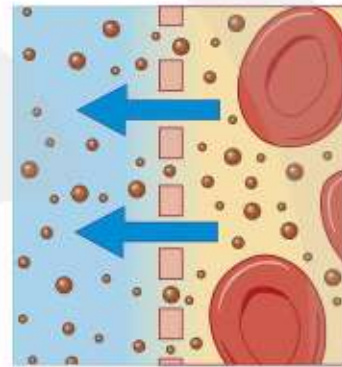
In de kunstnier bevinden zich zeer veel parallelle buisjes waar het bloed doorheen stroomt.

- b** Leg uit waarom er heel veel parallelle buisjes worden gebruikt in plaats van één dikke buis.

De buisjes zijn 30 cm lang en hebben een diameter van 0,10 mm. De oppervlakte van het semipermeabele membraan is de totale oppervlakte van alle buisjes en is 2,0 meter.

- c** Hoeveel parallelle buisjes bevat een kunstnier?

De wand van een buisje bevat kleine cirkelvormige gaatjes, waar bloedcellen niet doorheen kunnen, maar kleine moleculen wel. De gaatjes hebben een diameter van 4,0 nm. De oppervlakte van het semipermeabele membraan bestaat voor 30% uit gaatjes.



- d** Hoeveel gaatjes bevat een kunstnier?

De dikte van het semipermeabele membraan is 50 μm . Natriumionen, Na^+ , diffunderen door de wand met een diffusiecoëfficiënt van $1,2 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$. Het gemiddelde concentratieverschil van Na^+ ionen tussen het bloed en het dialysaat is 0,040 mol per liter. Er moet 2,0 mol Na^+ ionen uit het bloed worden verwijderd.

- e** Hoe lang moet de patiënt aan het dialyse apparaat worden aangesloten?