

BIOFYSICA – 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 strekt zich uit over alle centraal-examen onderwerpen. Er zijn dus geen aparte videolessen bij dit onderwerp. Bij elke opgave zit een inleiding die voldoende uitleg bevat om de opgave te kunnen maken.



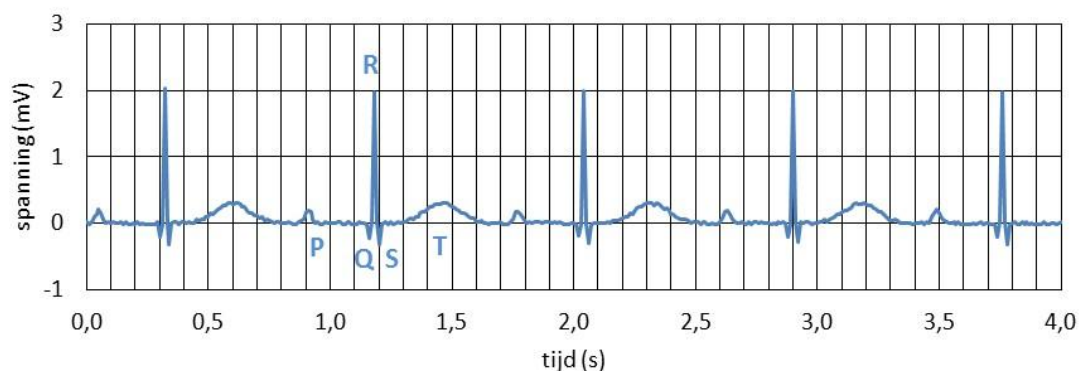
“Biofysica” is als **keuzeonderwerp** onderdeel van het VWO schoolexamen.

Voor dit onderwerp is geen landelijke stofomschrijving. Precieze invulling kan van school tot school verschillen

1 Hartslag

Bij een elektrocardiogram (ECG) of ‘hartfilmpje’ worden de spanningen gemeten die door de hartspier worden opgewekt tijdens het pompen (zie afbeelding hieronder). Aan de ligging van een aantal karakteristieke punten kan een cardioloog afleiden of er afwijkingen zijn.

- Bepaal de hartslag in slagen per minuut (BPM) uit onderstaand ECG.
- De hartslag bestaat uit een aantal fasen. De krachtigste slag vindt plaats als de linkerkamer zich samentrekt. Met welke piek in het ECG correspondeert deze slag?
- De spanningen worden op verschillende plaatsen op het lichaam gemeten met elektrodes die met kleine plakkertjes op de huid worden aangebracht. Om de spanning goed te kunnen meten is het belangrijk om bij elk plakkertje een klein beetje geleidende gel aan te brengen tussen de huid en het metaal. Leg uit waarom dit belangrijk is.
- Het ECG geeft het spanningsverschil weer gemeten op twee plaatsen aan weerszijden van het hart. Leg uit hoe het ECG eruit zou zien als de meetpunten verwisseld zouden worden.



2 mmHg

In de medische wereld wordt een andere eenheid voor druk gebruikt dan de SI-eenheid Pascal namelijk de mmHg (uitspraak 'millimeter kwik'). De definitie van deze eenheid luidt:

1 mmHg is de druk die in kwik heerst op een diepte van 1 mm onder het oppervlak

Kwik is bij kamertemperatuur een vloeistof. De druk in een vloeistof hangt af van de diepte volgens onderstaande formule. Hoe dieper onder het oppervlak hoe hoger de druk.

- Laat zien dat de eenheden in onderstaande formule links en rechts gelijk zijn.
- Bereken aan de hand van de definitie en onderstaande formule met hoeveel Pascal 1 mmHg overeenkomt. Controleer je antwoord aan de hand van BINAS tabel 5.
- Bij een meting wordt een bloeddruk van 80 mmHg gemeten. Bereken met hoeveel Pascal dit overeenkomt.

$$\Delta p = \rho \cdot g \cdot h$$

Δp = drukverschil ten opzichte van oppervlak (Pa)

ρ = dichtheid vloeistof ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)

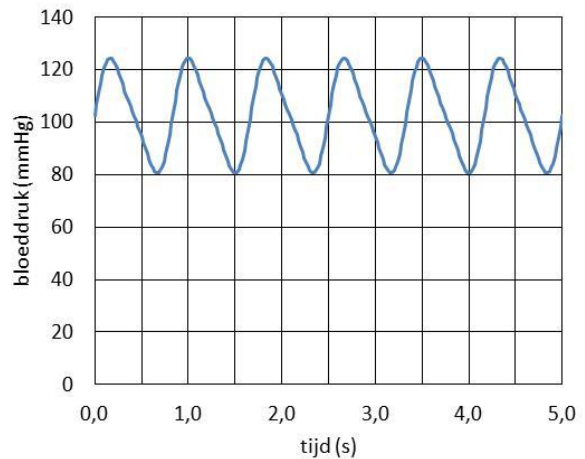
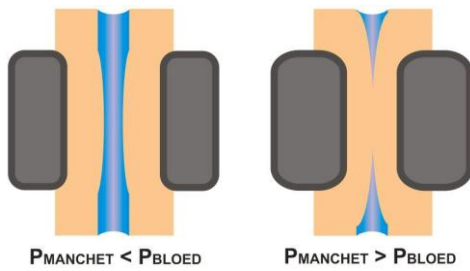
g = zwaartekrachtsversnelling ($\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$)

h = diepte ten opzichte van oppervlak (m)

3 Bloeddrukmeting

De bloeddruk in je arm kan gemeten worden door om de arm een manchet aan te brengen waarin lucht gepompt wordt. Als de druk in het manchet groot genoeg is wordt het bloedvat dichtgedrukt en zal er geen bloed stromen. Hierna laat met lucht ontsnappen zodat de druk in het manchet daalt. Op het moment dat de bloeddruk eventjes hoger is dan de manchetdruk (het moment van een hartslag) wordt er telkens eventjes een klein beetje bloed doorgelaten. Dit is met een stethoscoop horen als een duidelijk 'kloppen'. De druk waarbij dit gebeurt wordt de *systolische* bloeddruk genoemd. Als de druk in het manchet verder daalt zal op een gegeven moment de bloeddruk altijd (dus ook op het moment tussen twee hartslagen in) hoger zijn dan de manchetdruk. Dit wordt de *diasystolische* bloeddruk genoemd. Op dit moment stroomt het bloed altijd en is er in de stethoscoop geen 'kloppen' meer te horen.

- Hoe groot zijn de systolische en diastolische bloeddruk in de grafiek hieronder.
- Bij welke manchetdruk is het 'kloppen' te horen?
- Artsen meten het functioneren van het hart niet af uit de diastolische of systolische druk maar uit het verschil tussen de systolische en diastolische druk. Leg uit waarom.
- De bloeddruk wordt normaliter gemeten in de bovenarm vlak boven de elleboog, zodanig dat het manchet op dezelfde hoogte zit als het hart. Leg uit waarom dit voor de meting van belang is.



4 Bloedstroom

Wanneer er tussen de ingang en de uitgang van een bloedvat een drukverschil heerst zal er bloed door het bloedvat stromen. Hoe groter het drukverschil hoe meer bloed er door het vat stroomt. Hoeveel vloeistof ergens per seconde doorheen stroomt wordt het *debiet* genoemd (Symbool: Q eenheid: $m^3 s^{-1}$). Hierbij geldt onderstaande formule. De *stromingsweerstand* is een getal wat aangeeft in welke mate het bloedvat weerstand biedt aan het drukverschil. Een grote R betekent dat er ook bij een groot drukverschil weinig bloed zal stromen.

- Beredeneer of een dun bloedvat een grote of juist een kleine stromingsweerstand heeft.
- Door een bloedvat stroomt een hoeveelheid van 10 ml bloed per seconde bij een drukverschil tussen beide kanten van een 5,0 mmHg. Bereken de stromingsweerstand.
- Bereken hoeveel ml bloed er per seconde door het bloedvat stroomt als de druk verhoogd wordt tot 7,0 mmHg.

$$Q = \frac{\Delta p}{R}$$

$Q = \text{debiet (m}^3 \cdot \text{s}^{-1}\text{)}$
 $\Delta p = \text{drukverschil tussen beide kanten (Pa)}$
 $R = \text{stromingsweerstand (Pa} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-3}\text{)}$

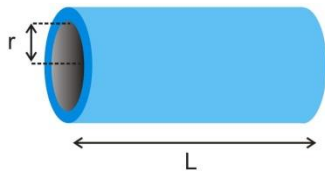
5 Bloedvat

De stromingsweerstand van een bloedvat hangt af van de lengte en dikte van het bloedvat volgens onderstaande formule.

- Wat voor soort verband bestaat er tussen de lengte en de stromingsweerstand?
- Vul in: Als de binnendiameter van een bloedvat 2 keer zo groot is wordt de stromingsweerstand keer zo (*groot/klein*).
- Behalve de lengte en de dikte van een bloedvat wordt de stromingsweerstand ook bepaald door de viscositeit van het bloed. Viscositeit zegt iets over de stroperigheid van een vloeistof. Beredeneer aan de hand van de formule of een hoge waarde van η

betekent stroperig of juist andersom.

- d De stromingsweerstand van een bloedvat met een lengte van 10 cm en een binnendiameter van 8,0 mm is gelijk aan $2,0 \cdot 10^6 \text{ Pa} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-3}$. Bereken de viscositeit van bloed in dit bloedvat.
- e Bereken stromingsweerstand als hetzelfde bloed door een bloedvat van 0,40 mm met een lengte van 1,6 cm stroomt.
- f In de praktijk blijkt de stromingsweerstand uit de vorige vraag 60% lager te zijn. Dit komt door het zogenaamde *Fåhræus-Lindqvist effect*: In dunne bloedvatten 'stapelen' de rode bloedlichaampjes zich als het ware op elkaar zodat ze makkelijker door het bloedvat stromen. De effectieve viscositeit in dunne bloedvaten is hierdoor een stuk lager dan in dikke bloedvaten. Bereken de viscositeit van het bloed in dit bloedvat.



$$R = \frac{8 \cdot \eta \cdot L}{\pi \cdot r^4}$$

R = stromingsweerstand ($\text{Pa} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-3}$)

η = viscositeit ($\text{Pa} \cdot \text{s}$)

L = lengte (m)

r = straal binnenkant (m)

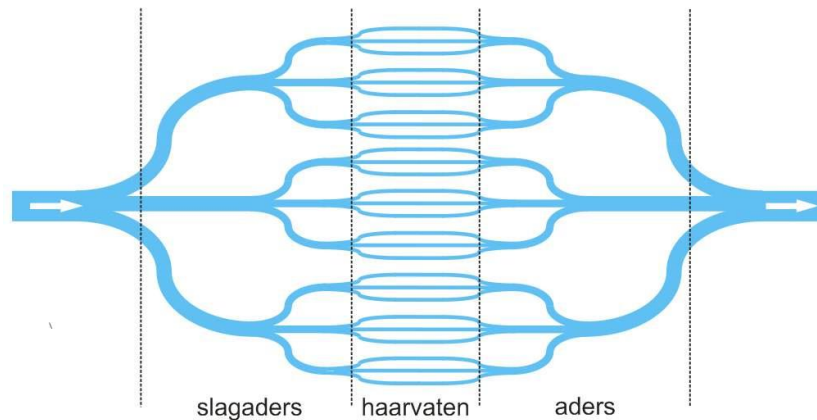
6 Vatenstelsel

Gebruik bij deze opgave BINAS tabel 84-E1

Het bloedvatenstelsel van de mens bestaat uit een groot aantal verschillende aders en slagaders van verschillende diktes. Vanaf het hart stroomt het bloed door dikke slagaders die zich steeds fijner vertakken. Bij de organen aangekomen is het vatenstelsel vertakt tot extreem dunne haarvaten. Nadat het bloed door de organen is gestroomd komen de bloedvaten weer samen tot steeds dikkere aderen die uiteindelijk weer terugkeren bij het hart. Hieronder staat een sterk vereenvoudigde voorstelling.

- a In een slagader met een binnendiameter van 8,0 mm bedraagt de stroomsnelheid van het bloed 12 cm/s. Bereken hoeveel milliliter bloed er per seconde door de slagader stroomt. Bereken hiervoor eerst het doorsnede-oppervlak waar het bloed doorheen stroomt.
- b In BINAS tabel 84-E1 staat in een grafiek totaal doorsnede-oppervlak in de verschillende delen van het bloedvatenstelsel. Hoe groter de binnendiameter van een bloedvat hoe groter het doorsnede-oppervlak. Leg uit hoe het kan dat het totale doorsnede-oppervlak maximaal is bij de extreem dunne haarvaten en minimaal bij de veel dikkere slagaders en aders.
- c Over het algemeen geldt dat de stroomsnelheid van het bloed laag is als het doorsnede-oppervlak groot is en andersom. Leg uit hoe dit kan.
- d In BINAS is af te lezen dat de gemiddelde stroomsnelheid 2 cm/s bedraagt in slagadertjes op het punt waar het totaal doorsnede-oppervlak $2 \cdot 10^3 \text{ cm}^2$ is. Als het bloed

de haarvaten gepasseerd is, is er weer een punt waar het totaal doorsnede-oppervlak $2 \cdot 10^3 \text{ cm}^2$ is (ditmaal in de adertjes en niet in de slagadertjes). De stroomsnelheid is hier veel lager. Leg uit hoe dit kan terwijl de hoeveelheid bloed die beide punten passeert gelijk blijft.



7 Gehoorgang

Gebruik bij deze opgave BINAS tabellen 87D en 27-C1

De gehoorgang is het kanaal dat vanuit de oorschelp naar binnen loopt.

- Maak door het vergelijken van de lengte van de gehoorgang en die van de oorschelp in de afbeelding linksboven in BINAS tabel 87D een schatting van de lengte van de gehoorgang.
- Natuurkundig gezien is de gehoorgang een buis met aan de ene kant een open en aan de andere kant een gesloten uiteinde (het trommelvlies). Maak op basis van de lengte uit vraag a een schatting van de frequentie van de grondtoon die bij een buis van deze lengte hoort.
- Door resonantie in de gehoorbuis zullen sommige frequenties in het geluid wat we met ons oor opvangen versterkt worden en andere niet. Dit betekent dat ons oor relatief gevoelig is voor frequenties in de buurt van de resonantiefrequenties die we bij de vorige vraag berekend hebben. In BINAS tabel 27-C1 staat de relatieve gevoeligheid van ons oor voor verschillende frequenties. Hoe lager de grafiek hoe gevoeliger. Vergelijk je antwoord op de vorige vraag met deze grafiek.
- Bij baby's en kleine kinderen is de gehoorgang korter omdat het hoofd nog niet volgroeid is. Beredeneer of de frequenties waarvoor kleine kinderen het gevoeliger zijn hoger of lager zijn dan de frequenties waarvoor volwassenen het gevoeliger zijn.

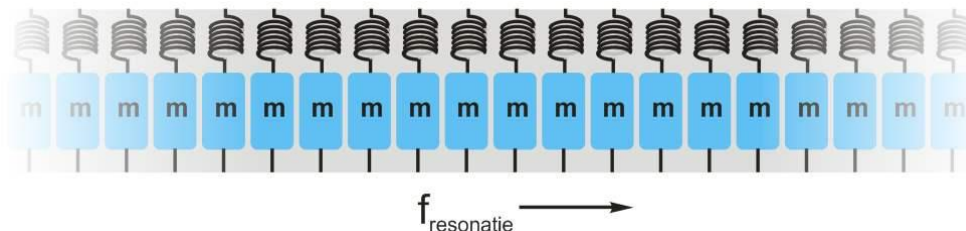
8 Binnenoor

Gebruik bij deze opgave BINAS tabel 87D

In het binnenoor vindt daadwerkelijke detectie van geluidstrillingen plaats: Geluidstrillingen komen binnen in de oorschelp en de gehoorgang, worden door het trommelvlies in het middenoor doorgegeven aan het slakkenhuis in het binnenoor. Onderdeel van het slakkenhuis is het basilair membraan: een lang opgerold membraan wat over de hele lengte

verbonden is met gehoorzenuwen. Elke plaats langs het basilair membraan heeft zijn eigen resonantiefrequentie. In de figuur rechtsboven in BINAS tabel 87D is te zien welke resonantiefrequentie bij welke plaats hoort.

- Ga na dat de eigenfrequenties langs het basilair membraan overeenkomen met de voor het menselijk oor hoorbare frequenties.
- Om te begrijpen hoe de resonantiefrequentie verloopt langs het basilair membraan kunnen we het opvatten als een groot aantal een massa-veersystemen (zie afbeelding hieronder). De veerconstante op iedere plek is gerelateerd aan de stijfheid van het membraan: Hoe stijver hoe hoger de veerconstante. Bereken of het basilair membraan aan de kant van de ingang bij het ovale venster (in de afbeelding hieronder links) stijver of minder stijf is dan aan het uiteinde.
- Op de positie waar de resonantiefrequentie van 1000 Hz is, bedraagt de veerconstante 200 Nm^{-1} . Bereken de bijbehorende massa.
- Op een andere positie bedraagt de veerconstante 500 Nm^{-1} . Wanneer we de resonantiefrequentie op deze plaats berekenen uitgaande van dezelfde massa als in vraag c komen we op een frequentie die 25% lager ligt dan de werkelijke frequentie. Dit komt omdat niet alleen de stijfheid van het basilair membraan verloopt maar ook de massa. Bereken of de massa groter of kleiner wordt bij toenemende resonantiefrequentie.
- Bereken de massa op deze plaats.



9 Lichaamsoppervlak

Voor het bepalen van het totale buitenoppervlak van het menselijk lichaam wordt vaak gebruik gemaakt van schattingen. Een van de manieren om dit te doen is met de formule van Mosteller (zie onder).

- Leg uit waarom de formule van Mosteller alleen een schatting geeft en niet het precieze buitenoppervlak.
- In de formule van Mosteller komt een constante voor. Leidt aan de hand van de formule af dat deze constante dezelfde eenheid heeft als de dichtheid.
- Maak een schatting van het totale buitenoppervlak je eigen lichaam. Gebruik hiervoor een constante van $36 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.
- De hoeveelheid warmte die je door straling verliest aan de omgeving hangt o.a. af van het buitenoppervlak. Bereken met de wet van Stefan-Boltzmann (zie BINAS tabel 35-E1) hoeveel warmte je per seconde verliest als je je lichaam beschouwt als zwarte straler. Ga

hierbij uit van een lichaamstemperatuur van 37 °C.

- e In de praktijk is de hoeveelheid warmte die je door straling verliest een stuk lager. Geef drie redenen waarom het warmteverlies door straling lager is dan je antwoord op vraag d.

$$A_{\text{lichaam}} = \sqrt{\frac{L \cdot m}{c}}$$

A_{lichaam} = oppervlak (m²)
 L = lengte (m)
 m = massa (kg)
 c = constante

10 Waterijs

De energie die het menselijk lichaam verbruikt krijgt het lichaam uit de vertering van voedsel. Deze energie wordt door het lichaam gebruikt om de via de huid en adem verloren warmte te compenseren en het lichaam op 37 °C te houden en om reserves op te bouwen in de vorm van vetten

- a In het lichaam vinden ook allerlei processen die verder in het lichaam nodig zijn: hartslag, hersenfuncties etc... Deze kosten ook energie. Waarom hoeft hier geen rekening mee gehouden te worden als we de totale in- en uitgaande energie beschouwen?
- b De voedingswaarde van suiker is 1700 kJ per 100 g. In een waterijsje met een massa van 115 g zit 9,0 g aan suiker. Bereken hoeveel energie de vertering van het suiker oplevert.
- c Het water in het waterijsje bevat geen energie. Het kóst juist energie om ijs in het lichaam te laten smelten en het smeltwater op lichaamstemperatuur te brengen. Bereken hoeveel energie het kost om het water in het waterijs vanaf een begin temperatuur van -5,0 °C op lichaamstemperatuur te brengen. Ga er hierbij van uit dat...
- 2,2 kJ kost om 1 kg ijs 1 graad in temperatuur te laten stijgen.
 - 334 kJ kost om 1 kg van ijs van 0 °C te smelten tot water van 0 °C
 - 4,2 kJ kost om 1 kg water 1 graad in temperatuur te laten stijgen.
- d Levert het eten van een waterijsje energie op of kost het energie?

11 Lichtmicroscop

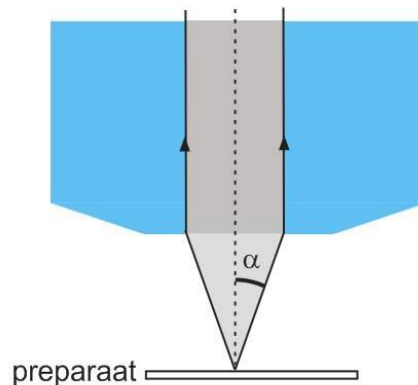
Een lichtmicroscop bevat vaak meerdere lenzen. De lens die zich het dichtst bij het te bestuderen preparaat bevindt wordt het objectief genoemd. De kleinste details die met een microscoop bekeken kunnen worden hangen o.a. af van het gebruikte objectief en van de golflengte van de gebruikte straling. De theoretische limiet wordt ook wel de Abbe-limiet genoemd, naar de Duitse natuurkundige Ernst Abbe. Onder ideale omstandigheden geldt

$$d = \frac{\lambda}{2n \cdot \sin\alpha}$$

d = kleinst zichtbare detail (m)
 λ = golflengte (m)
 n = brekingsindex
 α = kijkhoek (°)

De n in de formule is de brekingsindex van het medium wat zich tussen de voorkant van het objectief en het preparaat bevindt. Brekingsindex is een constante die gevonden kan worden in BINAS (tabel 18). De kijkhoek (α) is afhankelijk van de afstand tussen het objectief en het preparaat en de diameter van het objectief (zie afbeelding hieronder).

- Bereken de grootte van het kleinst zichtbare detail als er met een objectief met een diameter van 2,40 mm wordt gekeken. Als het preparaat is scherpgesteld zit er tussen de voorkant van het objectief en het preparaat een luchtspleet van 1,00 mm. Ga uit van een golflengte van $\lambda = 500$ nm.
- Soms wordt bij microscopie gebruikt gemaakt van zogenaamde olielenzen. Dit zijn objectieven die ontworpen zijn om te gebruiken met een druppeltje olie tussen het objectief en het preparaat. De hierbij gebruikte olie is transparant en heeft een brekingsindex van 1,515. Leg uit wat het voordeel is van het gebruik van olielenzen.
- E-coli bacterien zijn staafjes met een dikte van ongeveer één μm . De typische grootte van een virus is enkele tientallen nanometers. Laat met een berekening zien dat het wél mogelijk is om e-colibacteriën te bestuderen maar niet niet mogelijk is om virussen met een lichtmicroscop te bekijken.



12 Fluorescentie

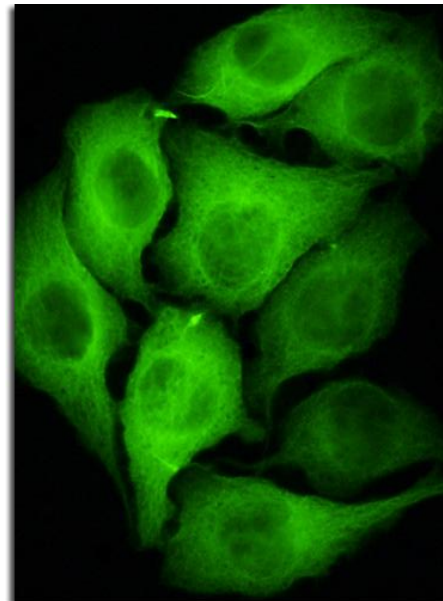
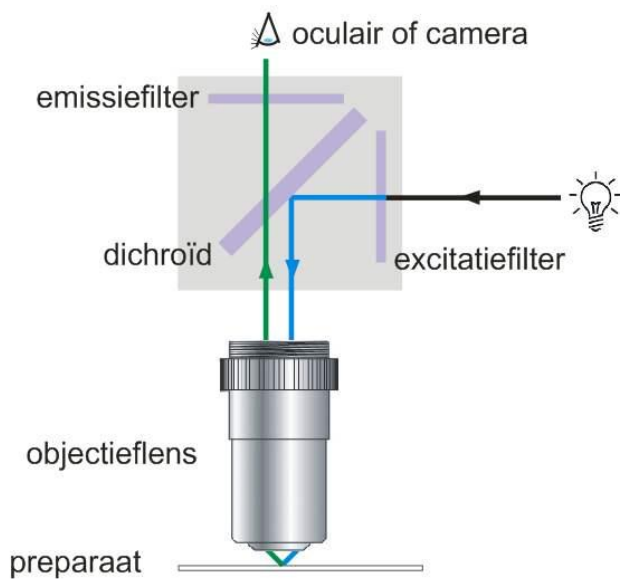
Bij het bestuderen van cellen onder de microscoop wordt door biologen vaak gebruik gemaakt van cellen waarvan onderdelen gekleurd zijn met fluorescerende kleurstoffen. In de afbeelding hieronder rechts staat een microscoopopname van cellen die gekleurd zijn met een fluorescerende kleurstof. Fluorescentie is het verschijnsel dat een stof licht uitzendt met een andere kleur dan er op valt. Zo bestaan er bijvoorbeeld fluorescerende stoffen die blauw licht uitzenden als er UV-licht op valt. Of stoffen die groen licht uitzenden als er blauw licht op valt.

- Er bestaan géén fluorescerende stoffen die blauw licht uitzenden als er rood licht op valt. Leg aan de hand van de formule van Planck uit dat de golflengte van de uitgezonden straling altijd groter moet zijn dan de golflengte van de geabsorbeerde straling.
- Om ervoor te zorgen dat de goede kleur licht op het preparaat valt wordt gebruik

gemaakt van een dichroïsche spiegel of dichroïd (zie schema hieronder). Dit is een half-doorlatende spiegel die bepaalde kleuren licht reflecteert en andere kleuren juist doorlaat. Omcirkel het juiste woord in aan de hand van onderstaande schematische tekening.

- De dichroïsche spiegel laat licht met een *grote/kleine* golflengte door
- De dichroïsche spiegel reflecteert licht met een *grote/kleine* golflengte

- d Naast het dichroïd wordt er ook gebruik gemaakt van extra kleurfilters die bepaalde kleuren absorberen en andere doorlaten om te zorgen dat precies de goede golflengte geselecteerd wordt: Het excitatiefilter en het emissiefilter. Excitatie-, emissiefilter en dichroïd zitten samen gemonteerd in een filterblokje. In een microscoop kunnen de filterblokjes eenvoudig verwisseld worden afhankelijk van de kleurstof waar naar gekeken wordt. Een veel gebruikte kleurstof is natriumfluoresceïne. Deze absorbeert straling rond de $\lambda=494$ nm en zendt straling uit rond $\lambda = 521$ nm. Leg uit welk filter in onderstaande tabel het meest geschikt om naar een preparaat met fluoresceïne te kijken?
- e Het excitatie- en emissiefilter zorgen er samen voor dat de hoeveelheid excitatielicht die zichtbaar is door de microscoop zo klein mogelijk gehouden wordt. Geef twee redenen waarom dit belangrijk is.

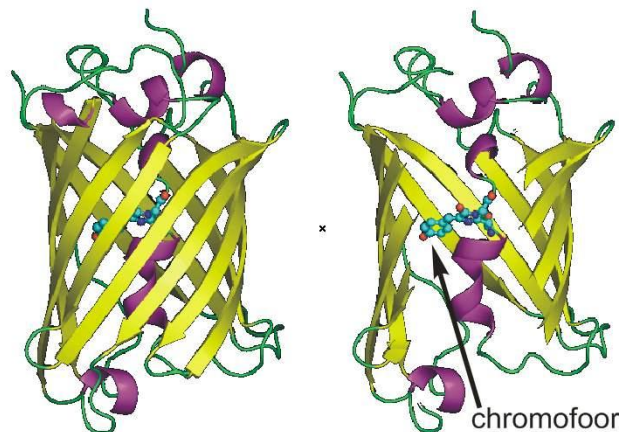


Filterblokje	Dichroid	Excitatie	Emissie
A	$\lambda_{\text{grens}} = 450$ nm	$\lambda_{\text{doorlaat}} < 400$ nm	$\lambda_{\text{doorlaat}} > 400$ nm
B	$\lambda_{\text{grens}} = 510$ nm	$\lambda_{\text{doorlaat}} < 500$ nm	$\lambda_{\text{doorlaat}} > 500$ nm
C	$\lambda_{\text{grens}} = 520$ nm	$\lambda_{\text{doorlaat}} < 400$ nm	$\lambda_{\text{doorlaat}} > 400$ nm

13 GFP

De kwalensoort *Aequorea Victoria* maakt in zijn lichaam een eiwit aan wat uit zichzelf fluoresceert: Het zogenaamde GFP (Green Fluorescent Proteïen). In de jaren 90 van de vorige eeuw is het gelukt GFP te isoleren en via genetische technieken ook andere organismen dit eiwit aan te laten maken. Zo is het mogelijk geworden om onder de fluorescentiemicroscopie een cel te bestuderen waarbij de cel zelf zijn eigen kleurstof aanmaakt.

- Noem drie redenen waarom het een voordeel is om een cel zijn eigen kleurstof aan te laten maken i.p.v. het van buitenaf aanbrengen van een kleurstof.
- Hieronder staat een weergave van de moleculaire structuur van het GFP. De vorm lijkt op een soort kooi met daarin het zogenaamde chromofoor. Het chromofoor is de structuur die voor de eigenlijke fluorescentie zorgt. (In de afbeelding aan de rechterkant is de voorkant van de kooi weggelaten). Inmiddels zijn er ook varianten ontwikkeld met andere kleuren. Zo bestaat er een YFP (yellow fluorescent proteïen) dat geel i.p.v. groen licht uitzendt. Beredeneer of de lengte van het chromofoor van YFP groter of juist kleiner is dan dat van GFP.



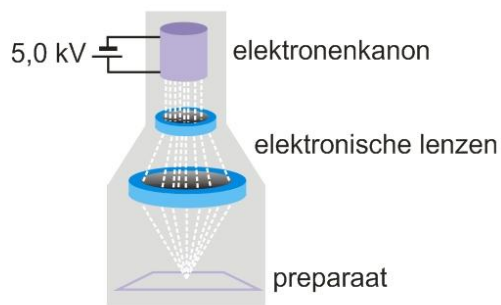
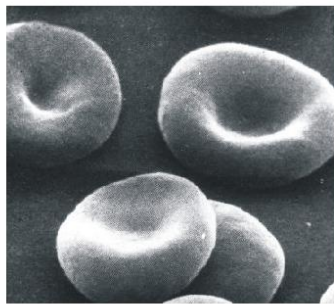
14 Elektronenmicroscopie

Met een lichtmicroscopie kunnen heel kleine objecten, zoals virussen, niet goed bestudeerd worden omdat de golflengte van licht hiervoor te groot is. Om kleinere objecten met een grotere resolutie te kunnen zien wordt gebruik gemaakt van elektronenmicroscopie. Hierbij wordt geen licht gebruikt maar elektronen. De elektronen worden eerst versneld en de bundel wordt gebruikt om het preparaat af te tasten.

- In een elektronenmicroscopie worden elektronen versnelt tussen twee geladen platen waartussen een spanning van 5,0 kV staat. Bereken de eindsnelheid van de elektronen.
- Volgens de quantummechanica vertonen vrij bewegende elektronen golfgedrag en hebben dus een golflengte. Bereken met de formule van de Broglie (zie BINAS tabel 35-E4) de golflengte van de elektronen uitgedrukt in nm.
- De kleinste details wat theoretisch onderscheiden kan worden is de helft van de gebruikte golflengte. Bereken of een virus met een diameter van 20 nm in deze

elektronenmicroscop 'gezien' kan worden.

- d In de praktijk blijkt deze theoretische limiet vrijwel nooit gehaald te worden. Dit heeft te maken met de 'elektronische lenzen' die voor het afbuigen van de elektronen moeten zorgen. Deze zijn lang niet zo efficiënt en nauwkeurig als de lenzen die voor licht gebruikt worden. Elektronische lenzen zijn in werkelijkheid magneten. Leg uit hoe met een magneet een elektron van richting kan worden.
- d De binnenruimte van een elektronenmicroscop moet vacuüm zijn. Er mogen geen luchtmoleculen zijn waar de elektronen tegenaan kunnen botsen. Wanneer een elektron een bacterie, virus, cel of ander biologisch object raakt vliegt het hier ongehinderd dwars doorheen. Om 'gezien' te worden moet er van te voren wel iets met het preparaat gebeuren. Het preparaat wordt meestal voorzien van een metalen laagje of van minuscule metaaldeeltjes. In de foto hieronder bijvoorbeeld staan rode bloedcellen waarbij een dun metaallaagje is opgedampt op de cellen. Eigenlijk zie je dus het metaallaagje en niet de cellen zelf. Elektronen die nu het preparaat raken worden afgebogen of geabsorbeerd. Leg uit waarom het bij een lichtmicroscop wél mogelijk is om levende preparaten te bestuderen maar dat dit in een elektronenmicroscop onmogelijk is.



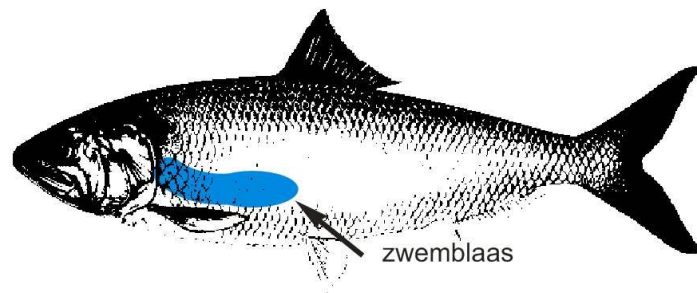
15 Zwemblaas

Op voorwerpen onder water werkt een opwaartse kracht. Volgens de *wet van Archimedes* is de grootte van de opwaartse kracht gelijk aan het gewicht van de verplaatste vloeistof. Met "verplaatste vloeistof" wordt het volume bedoeld wat het voorwerp inneemt onder water en met "gewicht" wordt de zwaartekracht bedoeld die er op dit vloeistofvolume werkt.

- a Een in zee levende vis heeft een totaal lichaamsvolume van $17,40 \text{ dm}^3$. Laat met een berekening zien dat de massa van de door de vis verplaatste vloeistof gelijk is aan $17,82 \text{ kg}$ (de dichtheid van zeewater staat in BINAS tabel 11).
- b Bereken de grootte van de opwaartse kracht die op de vis werkt.
- c De vis zweeft op een constante diepte onder water. Laat met een berekening zien dat de dichtheid van de vis gelijk is aan die van het omringende zeewater.
- d De meeste vissen beschikken over een zogenaamde zwemblaas. Dit is een met gas gevulde holte in zijn lichaam die de vis groter of kleiner kan maken waarbij ook zijn totale

volume verandert. Hiermee kan hij zijn eigen dichtheid veranderen ten opzichte van die van het omringende zeewater. De zwemblaas van de vis heeft een volume van 350 cm^3 . Door de zwemblaas samen te trekken wordt het volume 21% kleiner. Bereken de resulterende kracht die er nu op de vis werkt.

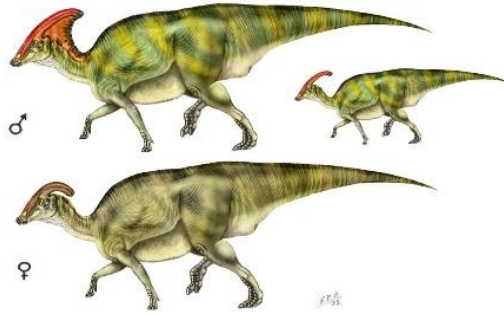
- e Op een gegeven moment is de vis op een diepte gekomen waar hij wil zijn. Beredeneer wat er met het volume van de zwemblaas moet gebeuren om op deze diepte te blijven.



16 Parasaurolophus

Hoewel er van dinosauriërs veel bekend is, weten we weinig over het geluid dat ze maakten. Een uitzondering hierop is de Parasaurolophus. Deze was in het bezit van een grote hoorn boven op de schedel (Zie afbeelding hieronder). Deze hoorn diende als klankkast om bepaalde frequenties in het geluid te versterken d.m.v. resonantie. Bij een volwassen mannetje is de hoorn 1,8 m lang. Eén uiteinde van deze hoorn is open, het andere uiteinde is gesloten.

- Toon met een berekening aan dat de grondtoon die de dino met deze hoorn kon laten horen een frequentie had van 48 Hz. Ga hierbij uit van een luchttemperatuur in de hoorn van $20 \text{ }^\circ\text{C}$.
- Onderzoek heeft uitgewezen dat een mannelijke Parasaurolophus een toon kon produceren met een frequentie van $2,4 \cdot 10^2 \text{ Hz}$. Dit is een boventoon van de grondtoon van 48 Hz. Beredeneer of dit de eerste, de tweede, de derde, de vierde of de vijfde boventoon is.
- De vrouwelijke Parasaurolophus had ook een hoorn. Deze hoorn was korter dan die van een mannelijk exemplaar. Leg uit of de grondtoon van een vrouwelijke Parasaurolophus hoger, lager of even hoog was als die van een mannelijk dier.
- Er wordt aangenomen dat in het tijdperk van de dinosauriers zowel de temperatuur als de dichtheid van de lucht een stuk hoger waren dan tegenwoordig waardoor de geluidssnelheid groter was. Dylan en Sara zijn het niet eens over wat dit voor gevolgen heeft voor hoe het geluid moet hebben geklonken. Volgens Dylan maakt dit niks uit voor de klank omdat hiervoor de frequentie van belang is en niet de golflengte. Volgens Sara is het juist de golflengte van het geluid die bepaalt hoe we iets horen en die verandert als de geluidssnelheid verandert. Leg uit wie er gelijk heeft.



ANTWOORDEN VAN DE REKENOPGAVEN

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

1 Hartslag

- a 70 BPM

2 mmHg

- b $1,33 \cdot 10^2$ Pa
c $1,1 \cdot 10^4$ Pa

3 Bloedrukmetering

- a 82 en 123 mmHg
b $82 < p < 123$ mmHg

4 Bloedstroom

- b $6,7 \cdot 10^7$ Pa·s·m⁻³
c 14 ml·s⁻¹

5 Bloedvat

- b 16 x zo klein
d $2,0 \cdot 10^{-3}$ Pa·s
e $5,1 \cdot 10^{10}$ Pa·s·m⁻³
f $0,80 \cdot 10^{-3}$ Pa·s

6 Vatenstelsel

- a $6,0$ ml·s⁻¹

7 Gehoorgang

- a ≈ 3 cm
b ≈ 3 kHz

8 Binnenoor

- c 5,1 mg
e 2,8 mg

9 Lichaamsoppervlak

- c tussen 1,2 en 2,5 m²
d tussen 600 en 1300 W

10 Waterijs

- b $1,5 \cdot 10^5$ J
c $0,53 \cdot 10^5$ J

11 Lichtmicroscop

- a 325 nm

12 Fluorescentie

- a filterblokje B

14 Elektronenmicr.

- a $4,2 \cdot 10^7$ m·s⁻¹
b 0,017 nm

15 Zwemblaas

- b 174,8 N
d 0,74 N omlaag

16 Parasaurolophus

- b 2e boventoon (n=3)

