

## MENSELIJK LICHAAM – HAVO

Foton is een opgavenverzameling voor het nieuwe eindexamenprogramma natuurkunde.

Foton is gratis te downloaden via [natuurkundeuitgelegd.nl/foton](http://natuurkundeuitgelegd.nl/foton)

Uitwerkingen van alle opgaven staan op [natuurkundeuitgelegd.nl/uitwerkingen](http://natuurkundeuitgelegd.nl/uitwerkingen)

Videolessen over de theorie zijn te vinden op [natuurkundeuitgelegd.nl/videolessen](http://natuurkundeuitgelegd.nl/videolessen)

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



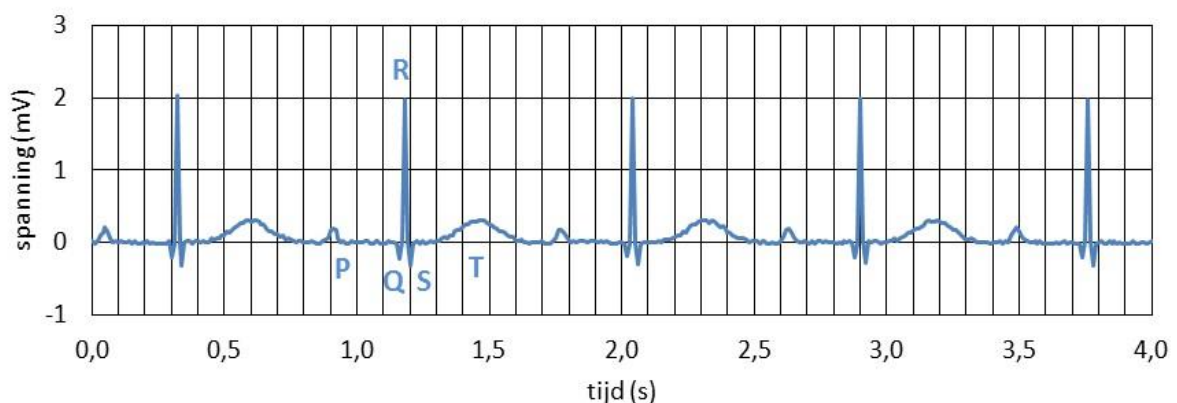
“Menselijk Lichaam” is als **keuzeonderwerp** onderdeel van het HAVO schoolexamen.

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 bij het meten van bloeddruk een andere eenheid gebruikt dan de SI-eenheid voor druk. In plaats van Pascal wordt de de mmHg gebruikt (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 overeen komt.

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

$\Delta p$  = drukverschil ten opzichte van oppervlak (Pa)

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

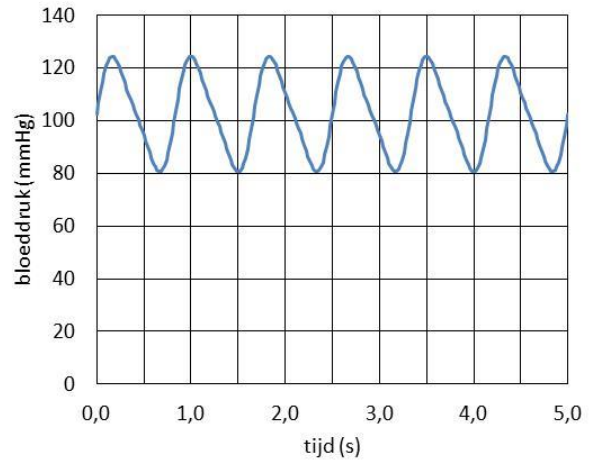
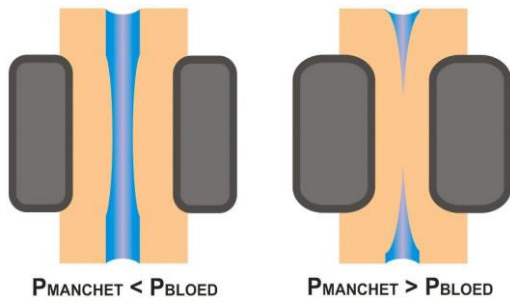
$g$  = zwaartekrachtsversnelling ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ )

$h$  = 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 men 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 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 een voorwerp door straling verliest aan de omgeving hangt af van de temperatuur en het oppervlak. Bij een temperatuur van  $37^\circ \text{C}$  bedraagt de warmteafgifte in theorie  $525 \text{ W}$  per  $\text{m}^2$  oppervlak. Bereken hoeveel warmte je lichaam in theorie per seconde verliest.
- In de praktijk is de hoeveelheid warmte die je door straling verliest een stuk lager. Geef een reden waarom het warmteverlies door straling lager is dan je antwoord op vraag d.

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

$A_{\text{lichaam}} = \text{oppervlak (m}^2\text{)}$   
 $L = \text{lengte (m)}$   
 $m = \text{massa (kg)}$   
 $c = \text{constante}$

#### 5 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  $37^{\circ}\text{C}$  te houden en om reserves op te bouwen in de vorm van vetten

- a In het lichaam vinden ook allerlei processen plaats die 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  $-5,0^{\circ}\text{C}$  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  $0^{\circ}\text{C}$  te smelten tot water van  $0^{\circ}\text{C}$
  - 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?

## 6 Gehoorgang

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

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

- a 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.
- b Natuurkundig gezien is de gehoorgang een buis met aan de ene kant de buitenlucht en aan de andere kant het trommelvlies. Bij een buis met één open uiteinde en één gesloten uiteinde kan een staande golf ontstaan waarbij er precies een kwart golflengte in de buis pas. Ga na dat de golflengte van deze staande golf ongeveer 12 cm bedraagt.
- c Bereken de frequentie van deze staande golf.
- d 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.
- e 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 gevoeligst zijn hoger of lager zijn dan de frequenties waarvoor volwassenen het gevoeligst zijn.

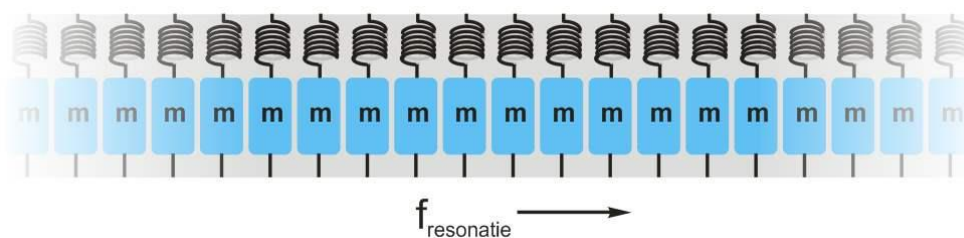
## 7 Binnenoor

*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. Beredeneer 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 1000 Hz is bedraagt de veerconstante  $200 \text{ Nm}^{-1}$ . Bereken de bijbehorende massa.
- Op een andere positie bedraagt de veerconstante  $500 \text{ Nm}^{-1}$ . 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. Beredeneer of de massa groter of kleiner wordt bij toenemende resonantiefrequentie.
- Bereken de massa op deze plaats.

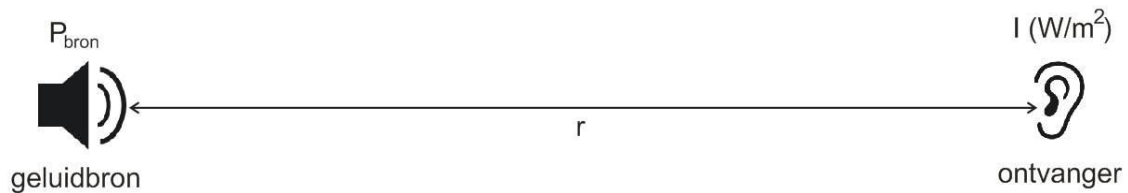


## 8 Geluidsintensiteit

Hoe hard je geluid ervaart hangt af van de geluidsintensiteit die op een bepaalde plaats heerst. De geluidsintensiteit is de hoeveelheid energie die per seconde op  $1 \text{ m}^2$  oppervlak valt. Hoe groter de geluidsintensiteit hoe harder iets voor ons klinkt. De geluidsintensiteit hangt af van het vermogen van de bron en van de afstand tot de bron. Hoe verder weg, hoe lager de geluidsintensiteit. Hierbij geldt onderstaande formule.

- Een luidspreker geeft geluid met een vermogen van  $3,2 \text{ W}$ . Laat met een berekening zien dat de geluidsintensiteit op een afstand van  $6,0 \text{ m}$  van de bron  $7,1 \cdot 10^{-3} \text{ Wm}^{-2}$  bedraagt.
- Hoe groot is de geluidsintensiteit op een twee keer zo grote afstand?
- De gehoordrempel is het zwakste geluid wat nog gehoord kan worden. Bij een gezond

- persoon bedraagt de gehoordrempel  $10^{-12} \text{ Wm}^{-2}$  voor de toonhoogte van het geluid van deze luidspreker. Bereken de maximale afstand waarop de luidspreker nog hoorbaar is.
- d Waarom zal deze afstand in de praktijk een stuk kleiner zijn.



$$I = \frac{P_{bron}}{4\pi r^2}$$

$I$  = geluidsintensiteit ( $\text{W/m}^2$ )

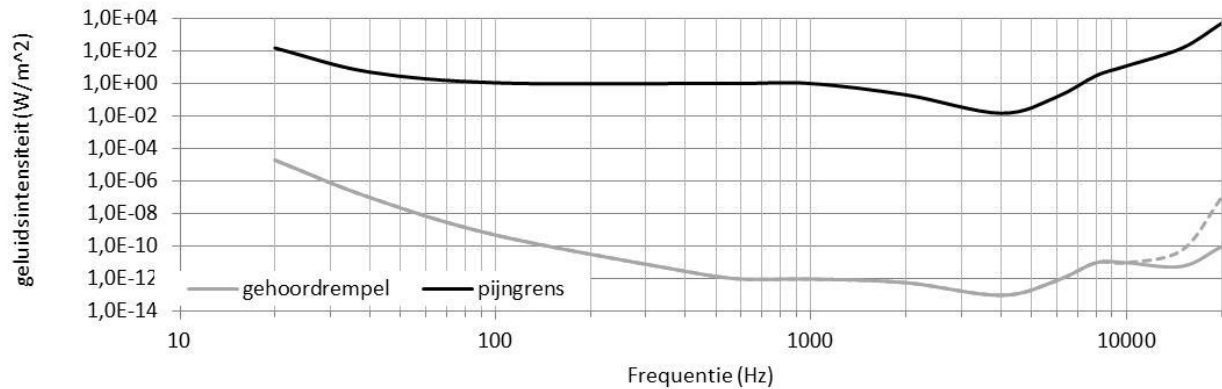
$P_{bron}$  = vermogen van de geluidsbron (W)

$r$  = afstand tussen bron en ontvanger (m)

## 9 Gehoordrempel

De gehoordrempel is de laagste geluidsintensiteit die nog hoorbaar is. Ons oor is gevoeliger voor sommige frequentie dan voor andere en dit betekent dus ook dat de geluidsdrempel voor verschillende frequenties anders is. In de grafiek hieronder staat de geluidsdrempel voor verschillende frequenties. Let op: De grafiek is 'logaritmisch' dit betekent dat de stapjes tussen de streepjes niet steeds even groot zijn. Dit geldt zowel voor de x-as als de y-as.

- Lees uit de grafiek af bij welke frequentie ons oor het gevoeligst is.
- Bij ouderen en mensen met gehoorbeschadiging loopt de grafiek iets anders voor frequenties boven de 10 kHz (stippelijntje). Wat merken deze personen in de praktijk van deze verandering?
- Behalve een ondergrens aan geluidsintensiteit is er ook een bovengrens. Geluid met een intensiteit hoger dan deze grens wordt als pijnlijk ervaren en kan (blijvende!) gehoorschade opleveren. In tegenstelling tot wat veel mensen denken kunnen niet alleen hoge en schelle geluiden pijnlijk en gevaarlijk zijn maar ook lage. Waar ligt de pijngrens bij een frequentie van 20 Hz?
- Ga voor onderstaande geluiden na hoe we ze ervaren. Kies uit *onhoorbaar*, *hoorbaar*, of *pijnlijk/schadelijk*.
  - Een toon van 250 Hz bij  $I = 1,0 \cdot 10^{-10} \text{ Wm}^{-2}$
  - Een gesprek met frequenties tussen 250 en 4000 Hz bij  $I = 1,0 \cdot 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}$
  - Geluid van een straaljager van 2000 Hz bij  $I = 2,0 \text{ Wm}^{-2}$ .
  - Een toon van 20 kHz bij  $I = 1,0 \cdot 10^{-9} \text{ Wm}^{-2}$  tijdens een gehoortest voor iemand met goed gehoor.
  - Dezelfde toon voor een oudere.



## 10 Decibel

Om de sterkte van geluid aan te duiden gebruiken we de grootte geluidsintensiteit met als eenheid  $\text{Wm}^{-2}$ . Daarnaast wordt ook de grootte *geluidsintensiteitsniveau* gebruikt met als eenheid de decibel (dB). Geluidsintensiteitsniveau verschilt van geluidsintensiteit op twee belangrijke punten. 1) Het is logaritmisch. 2) Het is altijd gedefinieerd ten opzichte van een vast basisniveau. Per definitie wordt hiervoor de gehoordrempel van het menselijk gehoor bij 1000 Hz genomen ( $I_0$ ). Met onderstaande formule kan het geluidsintensiteitsniveau berekend worden.

- Laat met een berekening zien dat geluidsintensiteit van  $1,0 \cdot 10^{-4} \text{ Wm}^{-2}$  overeenkomt met een geluidsintensiteitsniveau van 80 dB.
- Bereken de geluidsintensiteit bij een geluidsintensiteitsniveau van 86 dB.
- Een vuistregel bij het werken met decibellen is dat een toename van 3 dB overeenkomt met een verdubbeling van de geluidintensiteit en een afname van 3 dB met een halvering van de geluidsintensiteit. Ga aan de antwoorden op de vorige vragen na dat dit klopt.
- In BINAS tabel 15D staat een decibelschaal. Maak aan de hand van de omschrijvingen in de tabel een schatting van het aantal dB in je omgeving. Denk aan het zoemen van je computer of laptop, wind buiten etc... Bereken de behorende geluidsintensiteit.
- Maak op grond van dezelfde tabel een schatting van het aantal dB's van het hardste wat je ooit gehoord hebt. Bereken de bijbehorende geluidsintensiteit.
- Hoeveel keer zo groot is de geluidsintensiteit uit de vorige vraag ten opzichte van de geluidsintensiteit uit de vraag daarvoor?

$$L_I = 10 \log \frac{I}{I_0}$$

$L_I$  = geluidsintensiteitsniveau (dB)

$I$  = geluidsintensiteit ( $\text{Wm}^{-2}$ )

$I_0 = 10^{-12} \text{ Wm}^{-2}$  (= gehoorsdrempel bij 1000 Hz)

## 11 Hoornvlies

De voorste laag waar het licht het oog binnenkomt heet het hoornvlies. De gebogen vorm

van het hoornvlies zorgt ervoor dat het invallende licht afgebogen wordt. In de afbeelding hieronder is een deel van het oog schematisch getekend. Op het hoornvlies aan de voorkant van het oog valt een evenwijdige lichtbundel afkomstig van een punt in de verte. Hiervan staan twee lichtstralen getekend. Voor de breking van licht geldt de wet van Snellius (zie hieronder). De hoeken  $i$  en  $r$  in deze formule zijn de hoeken van de invallende en de gebroken lichtstraal, respectievelijk.

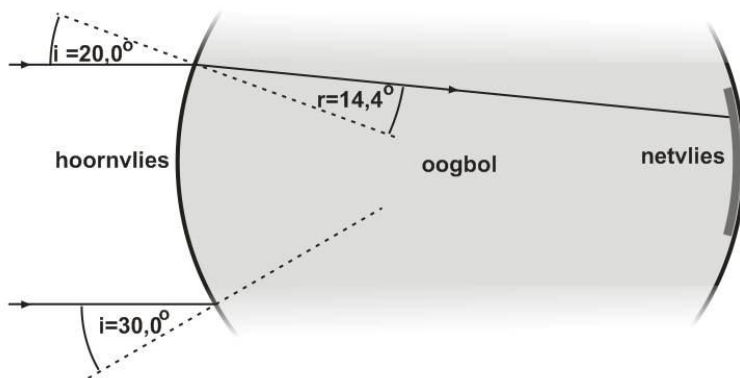
- Bereken aan de hand van de hoeken  $i$  en  $r$  van de bovenste lichtstraal de brekingsindex van de overgang van lucht naar het hoornvlies.
- Controleer je antwoord op de vorige vraag in BINAS tabel 18.
- Bereken de hoek waaronder de onderste lichtstraal afgebogen wordt.
- Teken het verdere verloop van deze lichtstraal.
- Om voorwerpen scherp te zien moeten parallel invallende lichtstralen samenkomen in één punt op het netvlies achterin de oogbol. Laat zien dat de getekende lichtstralen niet hier maar een stuk verder samenkomen.
- In werkelijkheid komen de lichtstralen wél samen op het netvlies. Leg uit hoe het oog erin slaagt deze lichtstralen toch op het netvlies samen te laten komen. Aanwijzing: Kijk in BINAS tabel 87-C2 wat er in het oog gebeurt nadat de lichtstralen het hoornvlies gepasseerd zijn.

$$\frac{\sin i}{\sin r} = n_{1 \rightarrow 2}$$

$i$  = invalshoek ( $^{\circ}$ )

$r$  = brekingshoek ( $^{\circ}$ )

$n_{1 \rightarrow 2}$  = brekingsindex overgang



## 12 Ooglens

De ooglens en het hoornvlies vormen samen een lens die er voor zorgt dat lichtstralen zodanig afgebogen worden dat achter in het oog, op het netvlies, een beeld ontstaat. Bij een gezond oog bedraagt de afstand tussen de lens en het netvlies 2,5 cm. Voor het ontstaan van een scherp beeld moet voor de brandpuntsafstand van de lens en voor de afstanden tussen het voorwerp, de lens, en het beeld de lenswet gelden (zie onder). In onderstaande afbeelding staat links schematisch wat er gebeurt als er naar een voorwerp wordt gekeken



op een afstand van 10 m (afbeelding is niet op schaal).

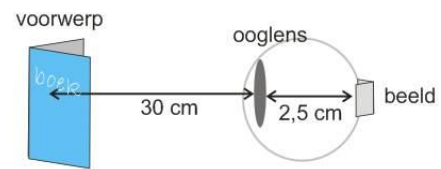
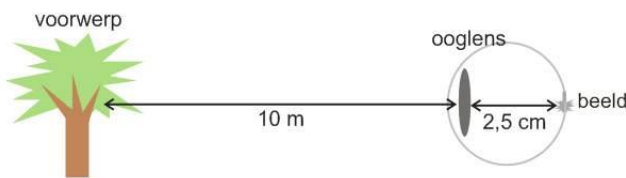
- Hoe groot zijn de  $v$  en  $b$  in dit geval?
- Bereken met de lenswet de brandpuntsafstand van het oog.
- Dezelfde persoon leest nu een boek op een afstand van 30 cm (rechter afbeelding). Bereken de brandpuntsafstand in deze situatie.
- De ooglenzen heeft de bijzondere eigenschap dat het zijn brandpuntsafstand kan veranderen. Dit kan omdat de ooglenzen flexibel is. Door het aanspannen van de spieren rondom de ooglenzen wordt de ooglenzen boller en de brandpuntsafstand kleiner. Als deze spieren ontspannen zijn wordt de ooglenzen minder bol en is de brandpuntsafstand groter. Beredeneer wat voor het oog inspannender is: Het lezen van een boek of het kijken in de verte.

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{b} + \frac{1}{v}$$

$f$  = brandpuntsafstand (m)

$b$  = afstand tussen beeld en lens (m)

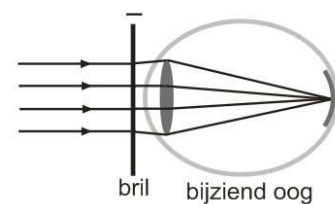
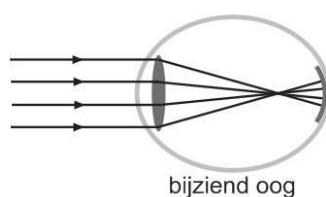
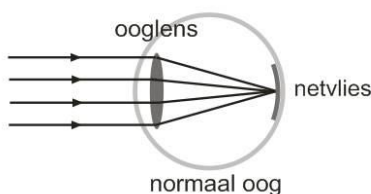
$v$  = afstand tussen voorwerp en lens (m)



### 13 Bijziendheid

Als je moeite hebt met scherp zien in de verte ben je bijziend. Bij een normaal oog is het zo dat parallel invallende lichtstralen afkomstig van een voorwerp in de verte door de lens zo worden afgebogen dat ze samenkomen in één punt op het netvlies. Bij een bijziend oog klopt de lenssterkte van de ooglenzen niet met de afstand tussen de lens en het netvlies. Lenssterkte is een getal wat aangeeft hoe goed een lens in staat is om lichtstralen af te buigen. Hoe groter de lenssterkte, hoe beter sterker lichtstralen worden afgebogen.

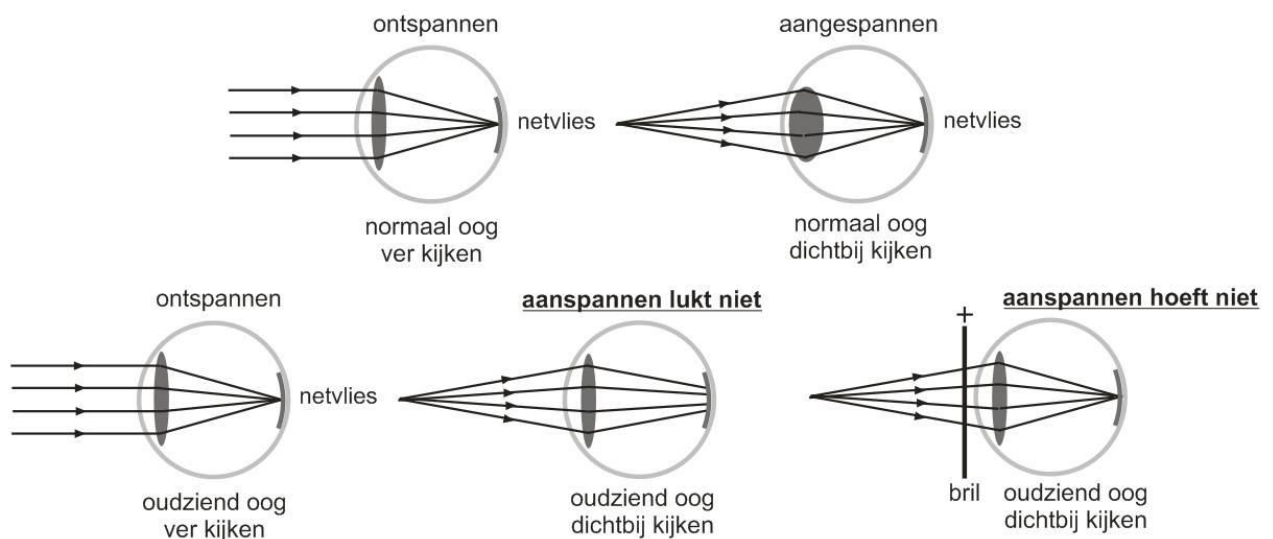
- Ga aan de hand van de afbeelding na dat de lenssterkte van de ooglenzen voor het normale oog en het bijziende oog gelijk zijn.
- Ga aan de hand van de afbeelding na wat de oorzaak van de bijziendheid is.
- In de rechter afbeelding staat hoe bijziendheid kan worden verholpen met een bril of contactlenzen. Dit moet een negatieve lens zijn zodat de totale lenssterkte kleiner wordt. Beredeneer waarom de totale lenssterkte van oog en bril bij elkaar kleiner gemaakt moet worden om de effecten van bijziendheid weg te nemen.



## 14 Oudziendheid

Bij een normaal oog kan met de spieren rond de ooglens scherp gesteld worden op voorwerpen ver weg of dichtbij. Dit staat schematisch weergegeven in de bovenste twee afbeeldingen. Voor dichtbij kijken moet de ooglens aangespannen worden zodat hij dikker en boller wordt. De lenssterkte neemt dan toe, zodanig dat de lichtstralen afkomstig van het voorwerp samenkomen op het netvlies.

- Leg uit waarom het lezen van een boek op de lange duur vermoeiender is dan kijken in de verte.
- Bij oudere mensen gaat het vermogen om de ooglens boller te maken langzaam achteruit. Hierdoor is het niet meer goed mogelijk om goed dichtbij te kunnen kijken. Dit wordt ook wel *oudziendheid* genoemd. In de onderste afbeelding staat wat er gebeurt als iemand die zijn ooglens niet goed meer kan aanspannen: Er wordt geen scherp beeld op het netvlies gevormd en alles blijft wazig. Leg uit waarom iemand die oudziend is nog wél prima in de verte kan kijken.
- De oplossing voor oudziendheid is een leesbril (positieve lens). Zo wordt de ooglens als het ware een beetje geholpen en is beter in staat om de lichtstralen te buigen dat ze wél samenkomen op het netvlies. Leg uit waarom je met een leesbril prima kunt lezen maar níét in de verte kunt kijken.



## 15 Kleurenblindheid

In het netvlies zitten 4 verschillende soorten lichtgevoelige cellen:

- Staafjes, die vooral gevoelig zijn in situaties met weinig licht
- Kegeltjes die vooral voor blauw gevoelig zijn (A)
- Kegeltjes die vooral voor groen gevoelig zijn (B)
- Kegeltjes die vooral voor rood gevoelig zijn (C)

In BINAS tabel 27-A2 staat voor elk van de drie soorten kegeltjes hoe de gevoeligheid

afhangt van de golflengte en kleur van het licht.

- a Bepaal voor elk van de drie soorten kegeltjes bij welke golflengte ze het gevoeligst zijn.
- b Dankzij het feit dat verschillende kegeltjes voor verschillende kleuren gevoelig zijn kunnen we kleuren van elkaar onderscheiden. Leg uit hoe aan de onderlinge verschillen tussen de gedetecteerde signalen van de drie kegeltjes kleuren van elkaar onderscheiden kunnen worden.
- c Bij een bepaald kleur licht wordt de meeste licht gedetecteerd door type B kegeltjes. De respons van de type A kegeltjes en van type C is kegeltjes zijn allebei ongeveer 1,5 keer lager. Beredeneer welke kleur er door het oog gezien wordt. Je mag er hierbij vanuit gaan dat het licht monochromatisch is (bestaande uit één golflengte).
- d Kleurenblindheid (deuteranomalie) is een erfelijke afwijking die voorkomt bij ongeveer 1 op de 20 mannen. Karel en Ayman zijn kleurenblind. Door een defect in hun kegeltjes type B hebben ze moeite om rood en groen onderscheiden. Volgens Karel ontbreekt het kegeltje om groen te zien en kan hij daarom 'geen groen zien'. Volgens Ayman heb je aan twee soorten kegeltjes ook genoeg om kleuren te onderscheiden en komt het omdat type A kegeltjes boven een bepaalde golflengte niet gevoelig zijn. Boven de 530 nm is er daardoor maar één kegeltje actief en daardoor kun je boven deze golflengte geen kleuren meer onderscheiden. Leg uit wie er volgens jou gelijk heeft.
- e In BINAS tabel 19A is te zien dat kleur groen zich uitstrekt tussen, grofweg, 500 nm en 560 nm. Stoplichten in Nederland gebruiken een kleur groen die aan de blauwe kant van het spectrum ligt rond de 520 nm. Waarom is gekozen voor deze kleur groen?

## ANTWOORDEN VAN DE REKENOPGAVEN

Uitwerkingen en uitleg van alle opgaven zijn te vinden op [natuurkundeuitgelegd.nl/uitwerkingen](http://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 Lichaamsoppervlak

- c tussen 1,2 en 2,5 m<sup>2</sup>  
d tussen 600 en 1300 W

### 5 Waterijs

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

### 6 Gehoorgang

- a  $\approx 3$  cm  
b  $\approx 3$  kHz

### 7 Binnenoor

- c 5,1 mg  
e 2,8 mg  
a 325 nm

### 8 Geluidsintensiteit

- b  $1,8 \cdot 10^{-3}$  Wm<sup>-2</sup>  
c  $5,0 \cdot 10^2$  m

### 9 Gehoordrempel

- b 4 kHz  
c 150 - 200 Wm<sup>-2</sup>

### 10 Decibel

- b  $4,0 \cdot 10^{-4}$  Wm<sup>-2</sup>

### 11 Hoornvlies

- a  $n=1,38$   
c  $21,3^\circ$

### 12 Oog lens

- a  $v=10$  m /  $b=0,025$  m  
b  $f = 0,025$  m  
c  $f = 0,023$  m

### 15 Kleurenblindheid

- a 422/535/568 nm  
c 473 nm / blauw