

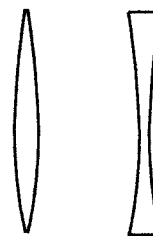
Lenzen

- § 1 Bolle en holle lenzen
- § 2 Brandpuntsafstand, lenssterkte
- § 3 Beeldpunten bij een bolle lens
- § 4 Naar beeldpunten kijken (bij bolle lens)
- § 5 Voorwerpsafstand, beeldafstand, lenzenformule
- § 6 Voorwerp, beeld, lineaire vergroting
- § 7 Rekenen aan voorwerpen en beelden
- § 8 Menselijk oog; bij- en verziendheid
- § 9 Hoekvergroting bij een loep
- § 10 Telescoop en microscoop
- § 11 Intreepupil en uitreepupil bij telescoop en microscoop

§ 1 Bolle en holle lenzen

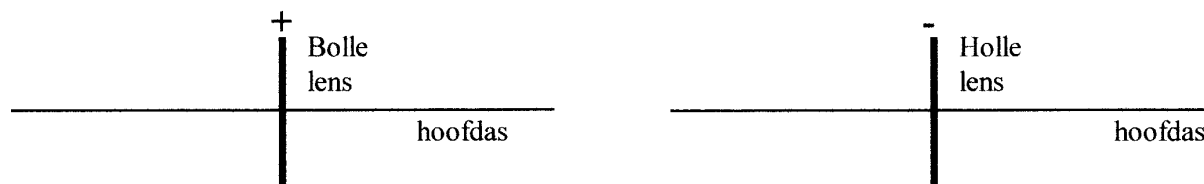
Bolle en holle lenzen

We beperken ons tot sferische lenzen. Dat zijn lenzen waarvan de twee gekromde oppervlakken delen zijn van BOL-oppervlakken. We maken onderscheid tussen Bolle en Holle lenzen. Een bolle lens is in het midden het dikst en aan de randen het dunst. Een holle lens is juist aan de randen het dikst en in het midden het dunst. Zie de figuren hiernaast.



Schematische weergave van lenzen

Dikke lenzen worden in de praktijk vaak niet gebruikt. Dat komt omdat de lichtbreking door dikke lenzen ongewenste eigenschappen heeft. Meestal beperkt men zich daarom tot dunne lenzen. Dunne lenzen worden in figuren vaak weergegeven als dikke rechte lijnen. Om aan te geven dat het om een bolle of een holle lens gaat wordt een plusteken (+) of minteken (-) boven de lijn gezet. Zie de onderstaande figuren.



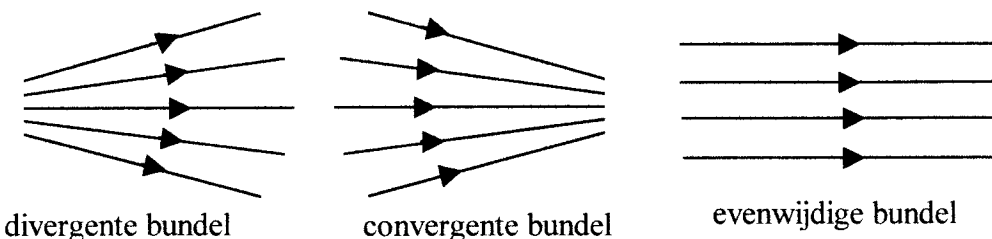
Behalve de rechte streep wordt meestal de "hoofdas" van de lens getekend. De hoofdas van een lens is de denkbeeldige lijn die loodrecht op de lens staat en precies door het midden van de lens gaat.

Lichtbundels

We spreken van een DIVERGENTE lichtbundel als alle lichtstralen in de bundel VAN één (gemeenschappelijk) punt af bewegen.

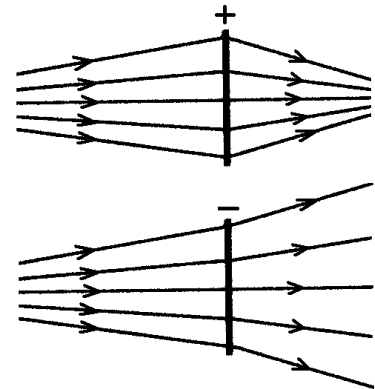
We spreken van een CONVERGENTE lichtbundel als alle lichtstralen in de bundel NAAR één (gemeenschappelijk) punt toe bewegen.

We spreken van een EVENWIJDIGE lichtbundel als alle lichtstralen in de bundel evenwijdig aan elkaar zijn. Zie ook de onderstaande figuren.



Convergerende of divergerende werking van lenzen

Hiernaast staan twee figuren. In de bovenste figuur valt een divergente lichtbundel op een Bolle lens. De gebroken lichtbundel (dat wil zeggen de lichtbundel die uit de lens komt) is convergent. In de onderste figuur valt een divergente lichtbundel op een Holle lens. De gebroken lichtbundel is nu sterker divergent dan de opvallende lichtbundel.



De twee figuren zijn voorbeelden van de volgende eigenschappen van lenzen.

Een bolle lens heeft altijd een convergerende werking.

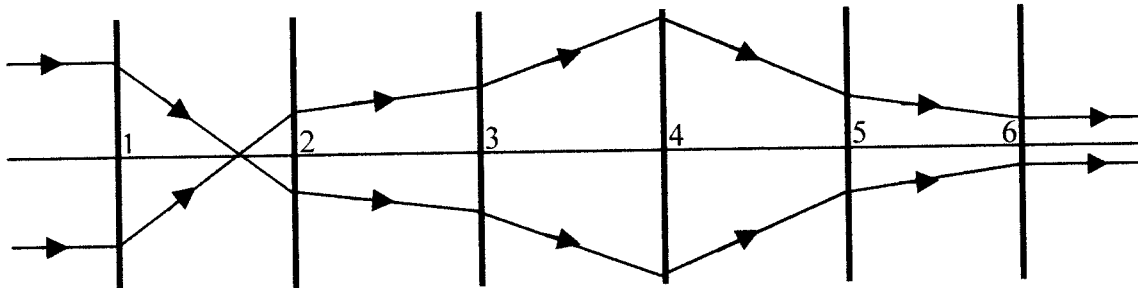
Dat betekent dat de lens het divergeren van de lichtbundel verzwakt en/of het convergeren van de lichtbundel versterkt.

Een holle lens heeft altijd een divergerende werking.

Dat betekent dat de lens het divergeren van de lichtbundel versterkt en/of het convergeren van de lichtbundel verzwakt.

Voorbeeld van een opgave

In de onderstaande figuur wordt een lichtbundel achtereenvolgens door zes lenzen gebroken. Schrijf boven elke lens een + of een -.



Antwoorden

Lens 1 heeft een convergerende werking want een evenwijdige bundel wordt omgezet in een bundel die convergeert. De lens moet dus bol (+) zijn.

Lens 2 heeft een convergerende werking want een bundel die divergeert wordt omgezet in een bundel die zwakker divergeert. De lens moet dus bol (+) zijn.

Lens 3 heeft een divergerende werking want een bundel die divergeert wordt omgezet in een bundel die sterker divergeert. De lens moet dus hol (-) zijn.

Lens 4 heeft een convergerende werking want een bundel die divergeert wordt omgezet in een bundel die convergeert. De lens moet dus bol (+) zijn.

Lens 5 heeft een divergerende werking want een bundel die convergeert wordt omgezet in een bundel die zwakker convergeert. De lens moet dus hol (-) zijn.

Lens 6 heeft een divergerende werking want een bundel die convergeert wordt omgezet in een evenwijdige bundel. De lens moet dus hol (-) zijn.

Lichtbundels zijn omkeerbaar

Lichtstralen zijn omkeerbaar. Dat wil zeggen dat je de richting van de lichtstralen kan omkeren zonder dat de weg waarlangs het licht loopt verandert. Deze eigenschap kan handig zijn bij het oplossen van de bovenstaande opgave. Neem bijvoorbeeld de lenzen 2 en 5. Als de lichtstralen in omgekeerde richting lopen, dan geldt hiervoor het volgende.

Lens 2 heeft een convergerende werking want een bundel die convergeert wordt omgezet in een bundel die sterker convergeert. De lens moet dus bol (+) zijn.

Lens 5 heeft een divergerende werking want een bundel die divergeert wordt omgezet in een bundel die sterker divergeert. De lens moet dus hol (-) zijn.

Opgaven bij § 1

Opgave 1

Welke twee soorten (sferische) lenzen onderscheiden we?

Opgave 2

Hoe wordt een dunne bolle lens schematisch weergegeven? En een dunne holle lens?

Opgave 3

Geef een korte omschrijving van de hoofdas van een lens.

Opgave 4

Welke drie soorten lichtbundels onderscheiden we?

Opgave 5

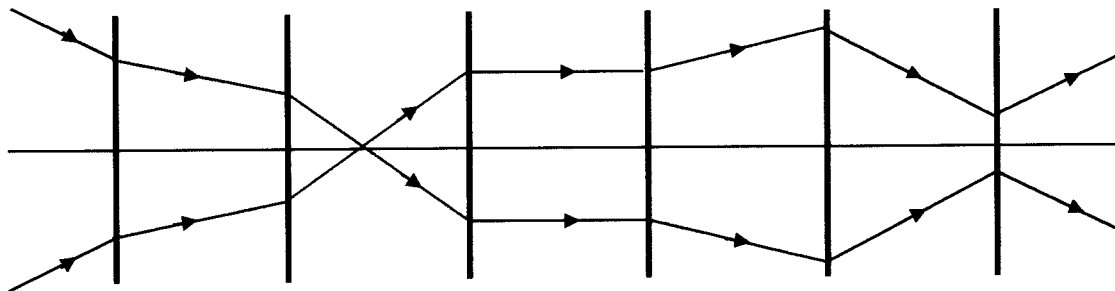
Een bolle lens heeft een _____ werking en een holle lens heeft een _____ werking. Vul in: convergerende of divergerende.

Opgave 6

Wat wordt bedoeld met een convergerende werking van een lens?

Opgave 7

In de onderstaande figuur wordt een lichtbundel achtereenvolgens door zes lenzen gebroken. Schrijf boven elke lens een + of een -.



Opgave 8

In de onderstaande figuren bevindt een klein lampje L zich voor een bolle lens.

In figuur 1 bevindt L zich op zeer grote afstand van de lens. In elke volgende figuur is de afstand tussen L en de lens verkleind. In figuur 6 is de afstand tussen L en de lens erg klein geworden.

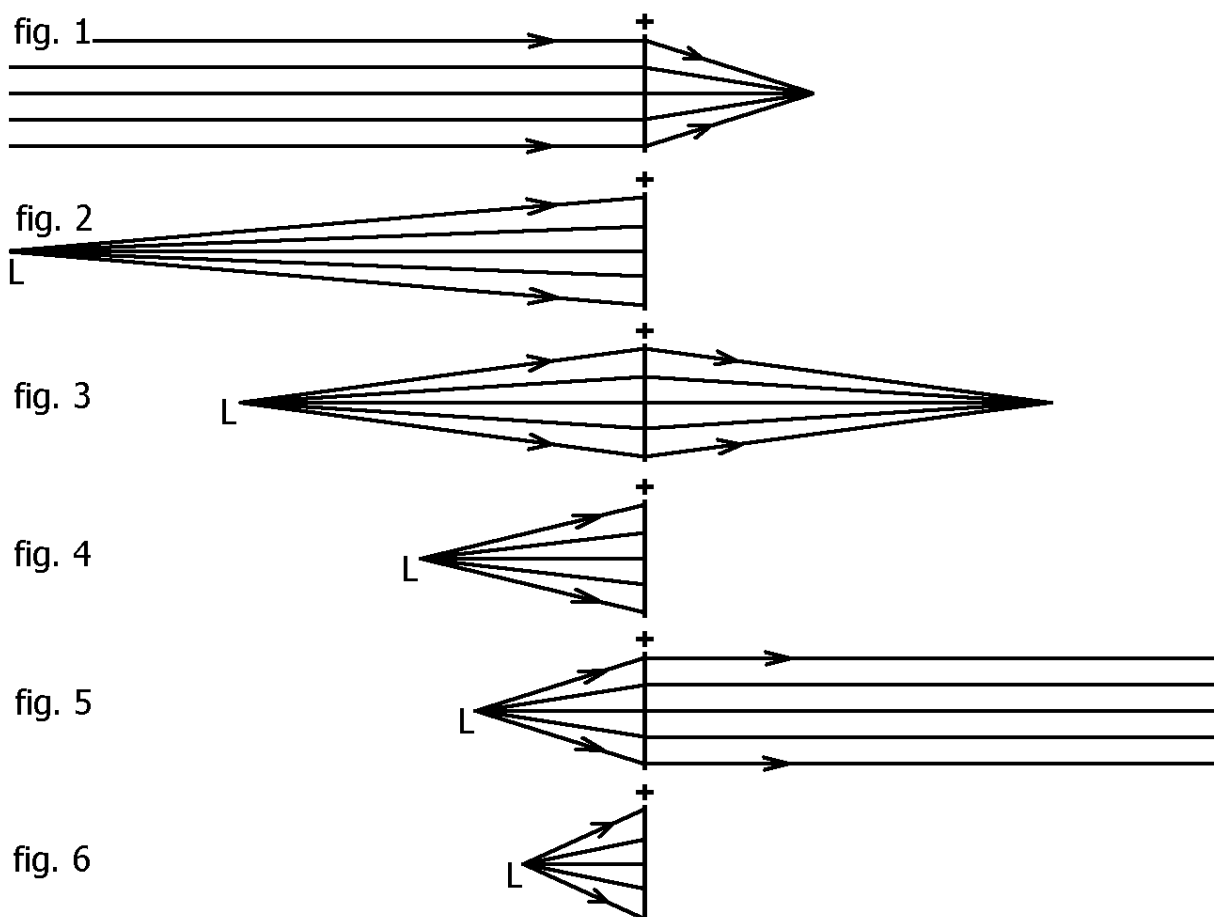
In elke figuur zijn lichtstralen getekend van L naar de lens.

In de figuren 1, 3 en 5 zijn ook de gebroken lichtstralen getekend.

Teken hoe de lichtstralen (ongeveer) worden gebroken in de figuren 2, 4 en 6.

Aanwijzing

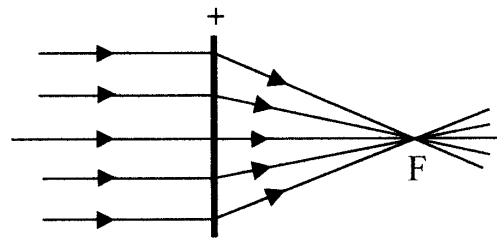
Elke keer als het lampje dichterbij de lens komt, zal de invallende lichtbundel sterker divergeren. Het wordt daardoor voor de lens steeds moeilijker om de lichtstralen naar elkaar toe te “buigen”.



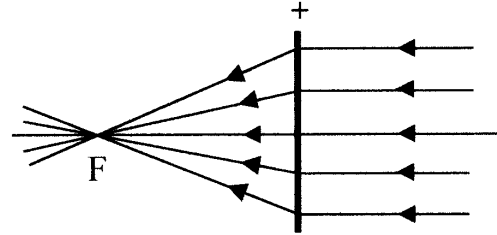
§ 2 Brandpuntsafstand, lenssterkte

Brandpunten van een bolle lens

Als er een evenwijdige lichtbundel op een Bolle lens valt, is de gebroken lichtbundel convergent. Als de invallende lichtbundel bovendien evenwijdig aan de hoofdas is, gaan de gebroken lichtstralen naar één punt op de hoofdas. Zie hiernaast (bovenste figuur). Dit punt noemen we het *brandpunt* van de lens. Het Latijnse woord voor brandpunt is focus. Daarom wordt het brandpunt met de hoofdletter F aangeduid.



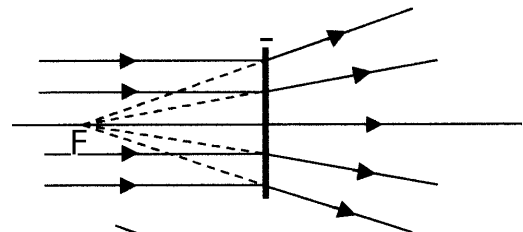
In de onderste figuur valt een evenwijdige lichtbundel aan de rechter kant op de lens (in plaats van de linker kant). We vinden dan een brandpunt aan de linker kant van de lens. Een bolle lens heeft dus twee brandpunten. Beide brandpunten liggen even ver van de lens.



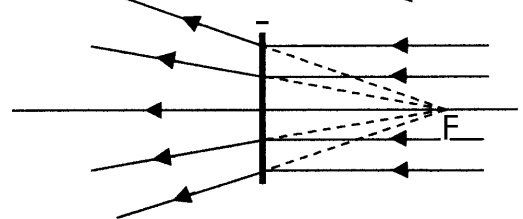
De brandpunten van een bolle lens noemen we **reëel** (= werkelijk) omdat de gebroken lichtstralen daar echt bij elkaar komen.

Brandpunten bij een holle lens

Als er een evenwijdige lichtbundel op een Holle lens valt, is de gebroken lichtbundel divergent. Als de invallende lichtbundel bovendien evenwijdig aan de hoofdas is, lijken de gebroken lichtstralen uit één punt op de hoofdas te komen. Zie hiernaast (bovenste figuur). Dit punt is het brandpunt F van de holle lens.



In de onderste figuur valt een evenwijdige lichtbundel aan de rechter kant op de lens (in plaats van de linker kant). We vinden dan een brandpunt aan de rechter kant van de lens. Een holle lens heeft dus (net als een bolle lens) twee brandpunten. Beide brandpunten liggen even ver van de lens.



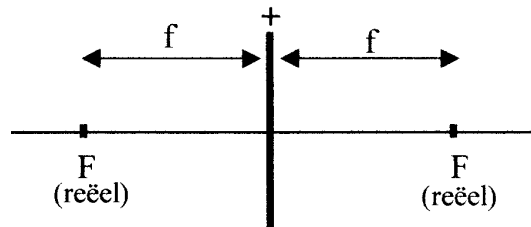
Beide brandpunten van een holle lens noemen we **virtueel** (= denkbeeldig = slechts schijnbaar bestaand) omdat de gebroken lichtstralen daar niet bij elkaar komen (ze lijken er alleen vandaan te komen).

Brandpuntsafstand

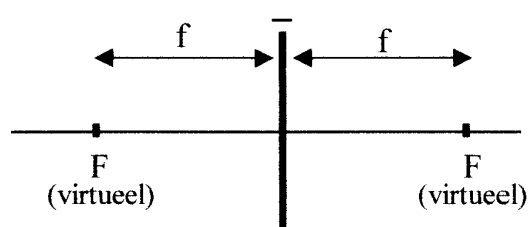
De afstand tussen de lens en de brandpunten heet de *brandpuntsafstand*. Zie de figuur hieronder. De brandpuntsafstand wordt met de kleine letter f aangeduid. Om het verschil aan te geven tussen Bolle en Holle lenzen wordt de brandpuntsafstand bij een bolle lens positief en bij een holle lens negatief genomen. Bijvoorbeeld geldt:

* bij een bolle lens $f = + 30 \text{ cm}$;

* bij een holle lens $f = - 30 \text{ cm}$.



Bolle lens: f is groter dan nul.



Holle lens: f is kleiner dan nul.

Opmerking

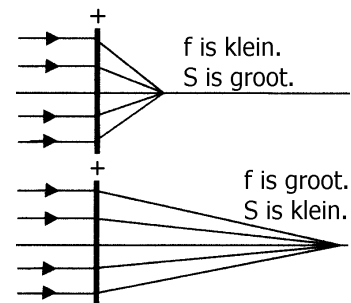
Afstanden worden meestal met kleine letters aangegeven en punten met hoofdletters. In het vervolg zullen we hier nog meer voorbeelden van zien.

Lenssterkte

Vaak gebruikt men de grootheid "lenssterkte" of kortweg "sterkte" om aan te geven hoe sterk een lens is. Het symbool hiervoor is S . De sterkte kan uit de brandpuntsafstand berekend worden met de volgende formule.

$$S = \frac{1}{f}$$

Deze formule is logisch want een lens met een kleine brandpuntsafstand is sterk en een lens met een grote brandpuntsafstand is zwak. Zie ook de figuren hiernaast.



Het begrip lenssterkte is zowel bruikbaar voor bolle lenzen als voor holle lenzen. Bij bolle lenzen zijn f en S groter dan nul en bij holle lenzen zijn f en S kleiner dan nul. Bij het gebruik van de formule moet f in meter (en niet in bijvoorbeeld centimeter) worden uitgedrukt. De lenssterkte heeft als eenheid "dioptrie". Afgekort: dpt.

Omgekeerd kan de brandpuntsafstand uit de lenssterkte berekend worden met de formule:

$$f = \frac{1}{S}$$

Voorbeeld 1

De brandpuntsafstand van een bolle lens is +20 cm.

Bereken de sterkte van de lens.

Uitwerking: gegeven: $f = +20 \text{ cm} = +0,20 \text{ m}$

gevraagd: S

$$\text{oplossing: } S = \frac{1}{f} = \frac{1}{+0,20 \text{ m}} = +5,0 \text{ dpt}$$

Voorbeeld 2

Een holle lens heeft een sterkte van -8,5 dioptrie.

Bereken de brandpuntsafstand van de lens in mm.

Uitwerking: gegeven: $S = -8,5 \text{ dpt}$

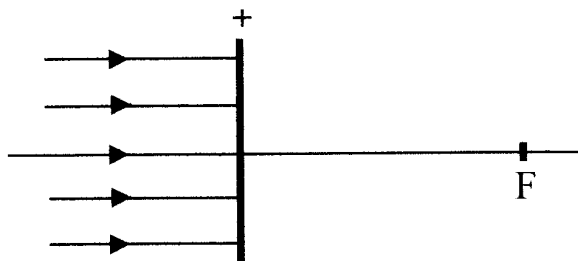
gevraagd: f

$$\text{oplossing: } f = \frac{1}{S} = \frac{1}{-8,5 \text{ dpt}} = -0,118 \text{ m} = -118 \text{ mm}$$

Opgaven bij § 2

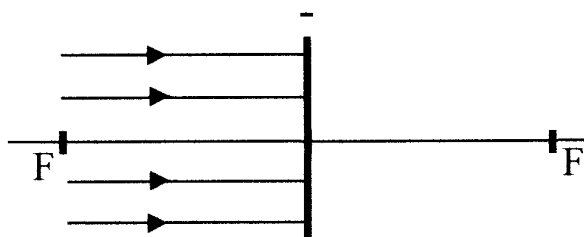
Opgave 1

In de figuur hiernaast vallen evenwijdige lichtstralen op een bolle lens. Teken het verdere verloop van de lichtstralen.



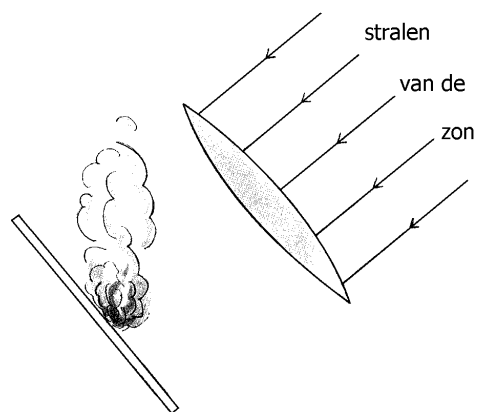
Opgave 2

In de figuur hiernaast vallen evenwijdige lichtstralen op een holle lens. Teken het verdere verloop van de lichtstralen.



Opgave 3

Tijdens een heldere dag laat je zonnestralen op een bolle lens vallen. Aan de andere kant van de lens houd je een stuk papier op de plaats van het brandpunt. Na enige tijd vliegt het papier in de brand. Zie de figuur hiernaast. Teken de gebroken stralen (= stralen die uit de lens komen).



Leg uit waarom het papier alleen gaat branden als het papier donker (en niet wit) is.

Opgave 4

Waarom worden de brandpunten van een bolle lens reëel genoemd?

Opgave 5

Waarom worden de brandpunten van een holle lens virtueel genoemd?

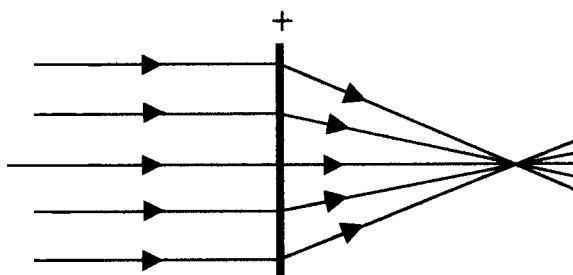
Opgave 6

Het brandpunt en de brandpuntsafstand worden met dezelfde letter aangeduid. Toch is er een verschil in beide symbolen. Welk verschil is dat?

Opgave 7

Schrijf in de figuur hiernaast de hoofdletter F bij het rechter brandpunt van de lens.

De figuur is op ware grootte getekend.
Meet met een liniaal hoe groot de brandpuntsafstand van de lens is.



Geef in de figuur aan waar het linker brandpunt zich bevindt. Zet hier de letter F bij.

Opgave 8

Piet heeft een lens met een brandpuntsafstand van -50 cm. Wat wil het minteken zeggen?

Opgave 9

Klaas heeft brillenglazen met een sterkte van -3 dioptrie (in het spraakgebruik “min drie”). Wat wil het minteken zeggen?

Opgave 10

Een lens heeft een brandpuntsafstand van $+2$ m. Bereken de sterkte van de lens.

Opgave 11

Een lens heeft een brandpuntsafstand van -30 cm. Bereken de sterkte van de lens.

Opgave 12

Tineke krijgt een bril voorgeschreven met lenzen van -4 dpt. Zij houdt de bril in de zon en probeert de stralen te bundelen om zodoende een stukje papier in brand te steken. Zal zij hierin slagen? Licht je antwoord toe.

Opgave 13

Een lens heeft een sterkte van $+4$ dpt. Bereken de brandpuntsafstand van de lens in m.

Opgave 14

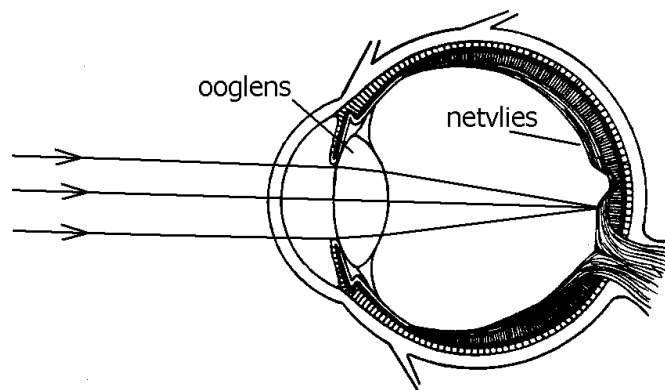
Een lens heeft een sterkte van -4 dpt. Bereken de brandpuntsafstand van de lens in mm.

Opgave 15

Kees houdt zijn brillenglas in de zon en laat de gebroken lichtstralen op een stuk papier vallen. Na korte tijd vliegt het papier in brand. De afstand tussen de lens en het papier bedraagt 40 cm. Bereken de sterkte van het brillenglas.

Opgave 16

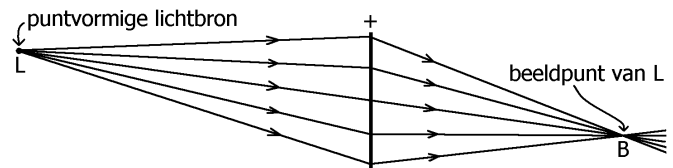
Als Marieke in de verte kijkt ziet zij alles scherp. Anders gezegd: evenwijdige stralen (uit de verte) worden gebroken en komen daarna precies op het netvlies samen. Zie de figuur hiernaast. Verder is gegeven dat de sterkte van haar ooglenzen in die toestand $+60$ dpt zijn. Bereken de afstand tussen haar ooglens en netvlies.



§ 3 Beeldpunten bij een bolle lens

Beeldpunt

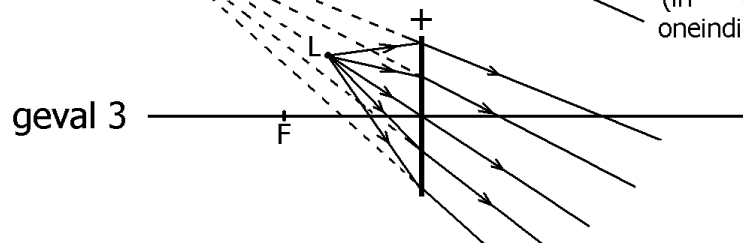
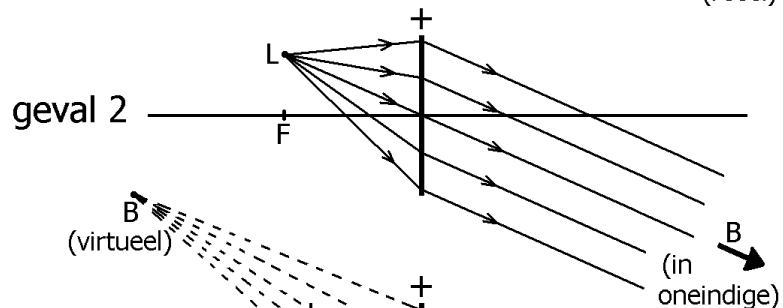
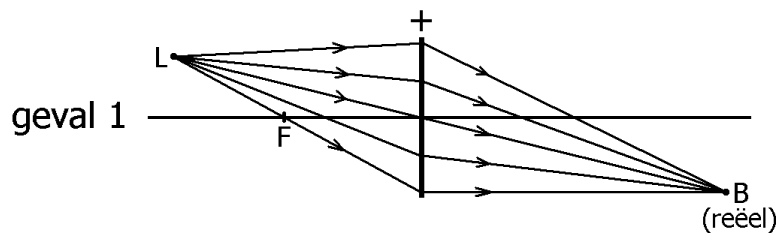
In de figuur hiernaast vallen er lichtstralen op een bolle lens die afkomstig zijn van een puntvormige lichtbron L. De gebroken lichtstralen zullen elkaar dan ook in één punt snijden. Dit snijpunt noemen we het **BEELDPUNT** van L en wordt met de hoofdletter B aangeduid. Zoals hierna wordt besproken, noemen we het beeldpunt in de figuur reëel. Bij kleinere afstanden tussen L en de lens kan het beeldpunt ook virtueel zijn of in het oneindige liggen.



Een beeldpunt (symbool B) moet niet worden verward met een brandpunt (symbool F). Elke lens heeft twee brandpunten die een vaste plaats ten opzichte van de lens hebben. Zie de vorige paragraaf. Een beeldpunt heeft geen vaste plaats ten opzichte van de lens. Als L namelijk verschuift, verschuift B ook.

Drie verschillende soorten beeldpunten

In de figuren hiernaast wordt het lichtpunt L steeds dichterbij de lens toe geschoven. In geval 1 is de afstand van L tot de lens groter dan de brandpuntsafstand (het linker brandpunt van de lens is met F aangegeven). De lens buigt de divergente lichtbundel dan om tot een convergente lichtbundel. De lichtstralen snijden elkaar in één punt, namelijk het beeldpunt B. We noemen het beeldpunt reëel (= werkelijk).



In geval 2 is de afstand van L tot de lens precies gelijk aan de brandpuntsafstand. De lichtbundel die op de lens valt divergeert nu sterker dan in geval 1. Daarom kan de lens deze lichtbundel niet meer ombuigen tot een convergente bundel maar tot een evenwijdige lichtbundel. De afstand tussen de stralen blijft nu dus gelijk. Het snijpunt van de stralen ligt daarom oneindig ver weg. We spreken in dit geval over een beeldpunt in het oneindige.

In geval 3 is de afstand van L tot de lens kleiner dan de brandpuntsafstand. Omdat de lichtbundel die op de lens valt nu nog sterker divergeert, zal ook de lichtbundel die uit de lens komt divergeren. De gebroken lichtstralen lopen steeds verder uit elkaar. Om het snijpunt van deze stralen toch te vinden moet je een kleine truc uithalen. Je moet de lichtstralen namelijk doortrekken (verlengen) naar de andere kant van de lens. Het snijpunt van deze verlengstukken geeft dan het beeldpunt. Zie de stippellijnen en de letter B in de figuur. We spreken in dit geval over een virtueel (= denkbeeldig) beeldpunt.

Het bovenstaande kan als volgt worden samengevat.

L = puntvormige lichtbron = vertrekpunt van de lichtstralen die op de lens vallen.

B = beeldpunt = snijpunt van de gebroken lichtstralen.

Bij elke L hoort een B.

Als de afstand tussen L en de lens groter is dan de brandpuntsafstand, convergeren de gebroken stralen en is B reëel.

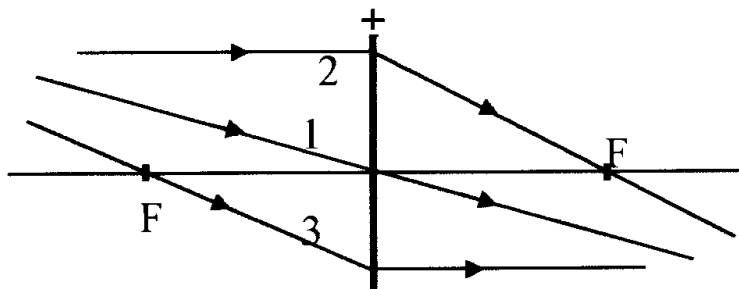
Als de afstand tussen L en de lens gelijk is aan de brandpuntsafstand, zijn de gebroken lichtstralen evenwijdig en ligt B in het oneindige.

Als de afstand tussen L en de lens kleiner is dan de brandpuntsafstand, zijn de gebroken lichtstralen divergent en is B virtueel.

Constructiestralen bij een bolle lens

De plaats van het beeldpunt kan gevonden worden met twee of drie zogenaamde constructiestralen. Dat zijn lichtstralen met een zeer eenvoudig karakter.

- Constructiestralen van de eerste soort gaan door het midden van de lens. Deze stralen veranderen bij het doorlopen van de lens niet van richting. Zie straal 1 in de figuur.
- Constructiestralen van de tweede soort lopen vóór de lens evenwijdig aan de hoofdas. Na breking gaan al deze stralen door het brandpunt F. Zie straal 2 in de figuur.
- Constructiestralen van de derde soort gaan vóór de lens door het brandpunt F. Na breking lopen al deze stralen evenwijdig aan de hoofdas. Zie straal 3 in de figuur.

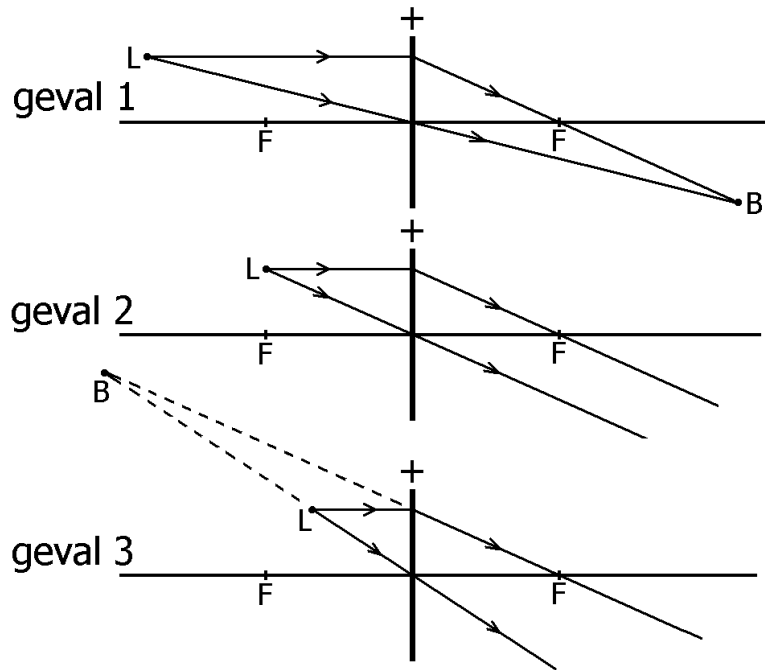


Constructie van beeldpunten

In de figuren hiernaast zijn in de drie gevallen de beeldpunten geconstrueerd. De constructiestralen vertrekken steeds vanuit de puntbron L en vallen op de lens. Het snijpunt van de gebroken constructiestralen levert dan het beeldpunt B op. Gemakshalve worden meestal slechts twee van de drie constructiestralen gebruikt om B te construeren. De derde constructiestraal kan ter controle getekend worden.

Merk op dat in geval 2 de gebroken constructiestralen inderdaad evenwijdig lopen.

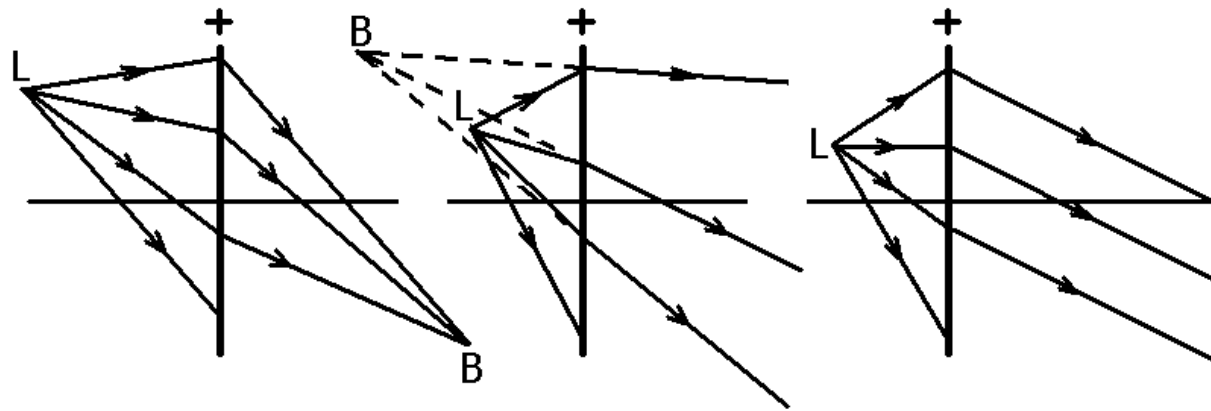
Merk ook op dat in geval 3 het snijpunt van de gebroken stralen pas gevonden kan worden nadat deze stralen in achterwaartse richting zijn verlengd.



Opgaven bij § 3

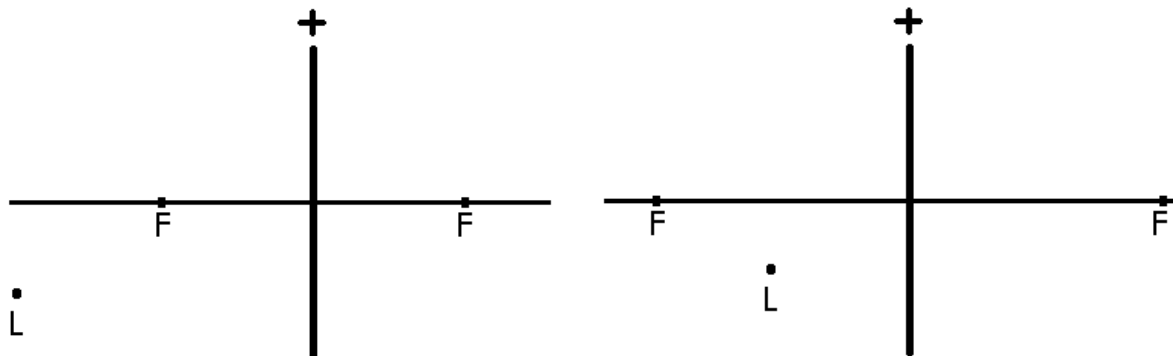
Opgave 1

Teken in de onderstaande figuren de gebroken lichtstralen die ontbreken.



Opgave 2

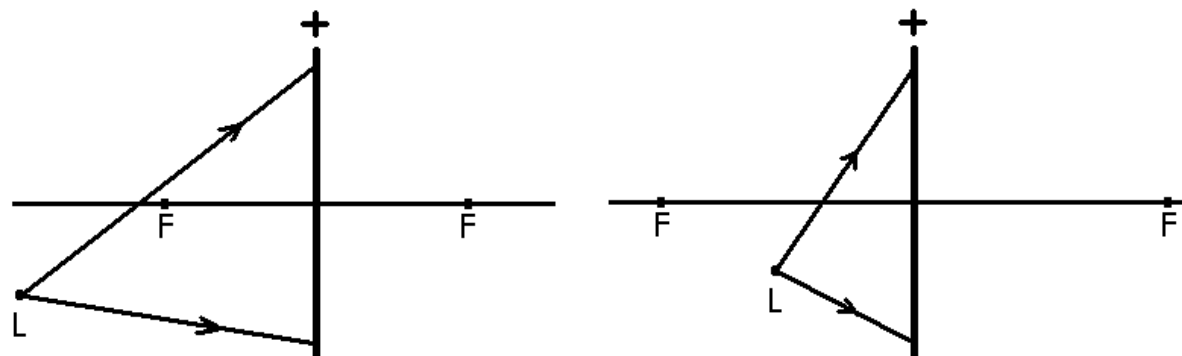
In de onderstaande figuren is de plaats van puntbron L gegeven. Construeer de plaats van het bijbehorende beeldpunt B door gebruik te maken van constructiestralen.



Opgave 3

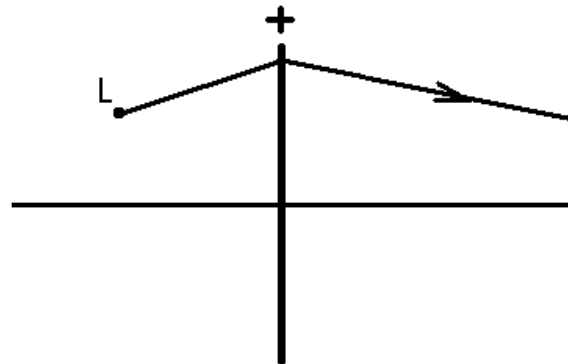
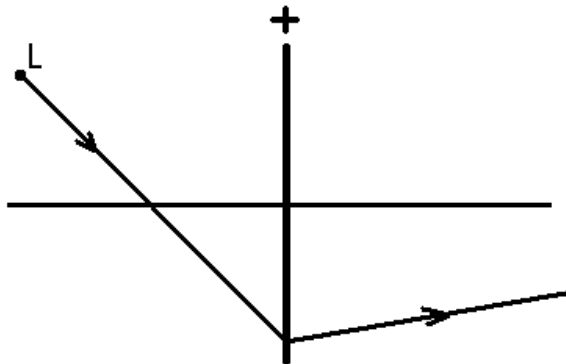
Voer de vorige opgave nogmaals uit.

Teken daarna hoe de getekende lichtstralen door de lens worden gebroken.



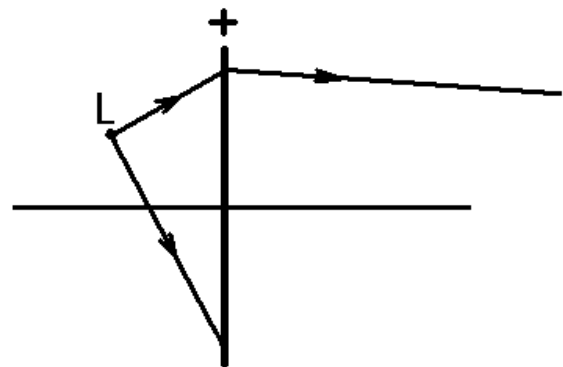
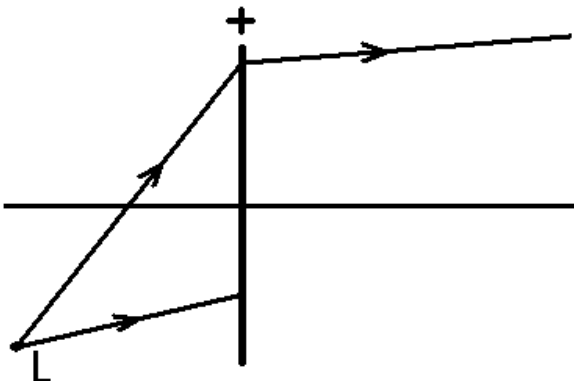
Opgave 4

In de onderstaande figuren is een lichtstraal getekend die van puntbron L vertrekt. Construeer het bijbehorende beeldpunt met behulp van de lichtstraal door het midden van de lens.



Opgave 5

Teken in de onderstaande figuren de gebroken lichtstralen die ontbreken.

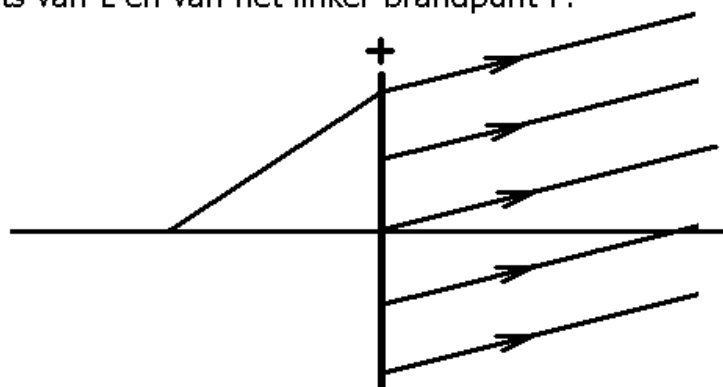
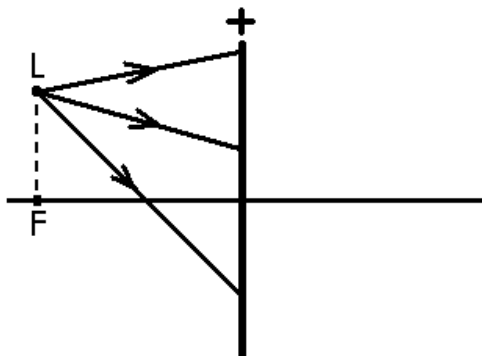


Opgave 6

In de onderstaande figuren komen de lichtstralen uit één punt L.

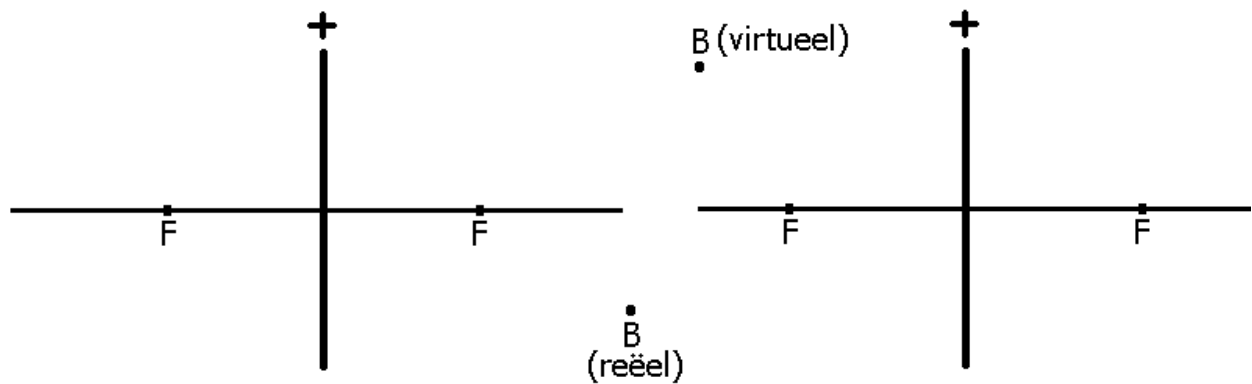
Teken in de linker figuur hoe de drie lichtstralen worden gebroken.

Teken in de rechter figuur de plaats van L en van het linker brandpunt F.



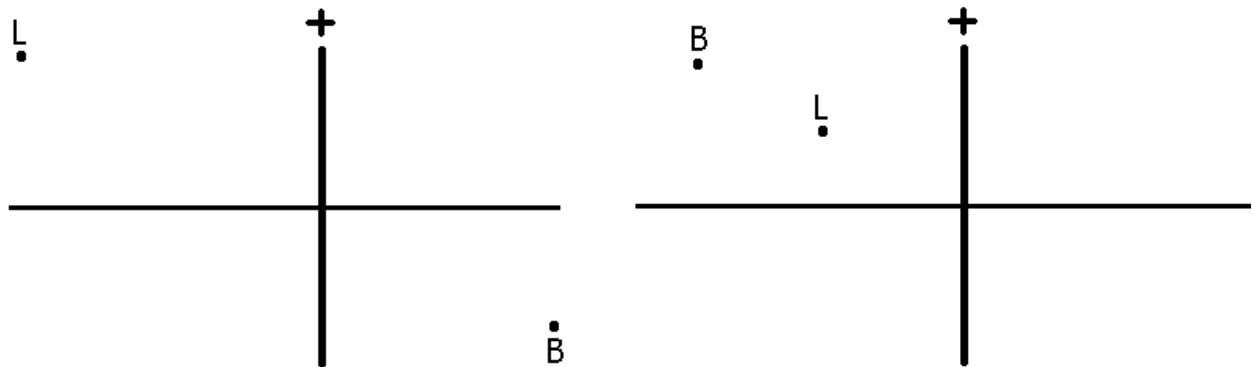
Opgave 7

In de onderstaande figuren is de plaats van het beeldpunt gegeven.
Construeer de plaats van de bijbehorende puntbron L.



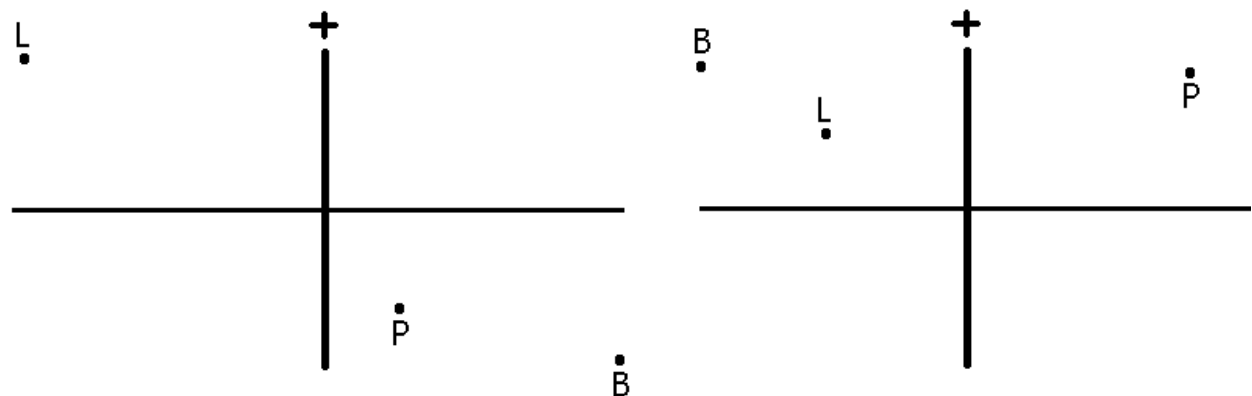
Opgave 8

In de onderstaande figuren zijn een puntbron L en het bijbehorende beeldpunt B getekend. Construeer de beide brandpunten van de lenzen.



Opgave 9

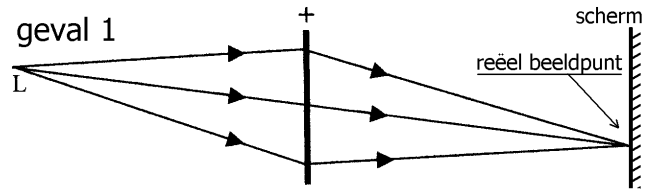
In de onderstaande figuren zijn puntbron L en het bijbehorende beeldpunt B gegeven. Construeer de lichtstraal die van L naar punt P gaat.



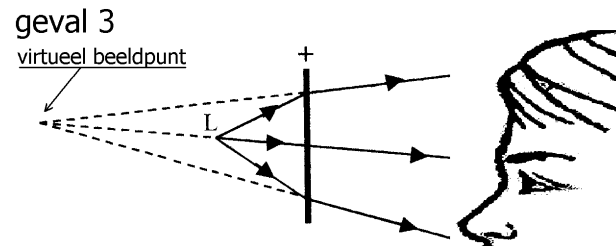
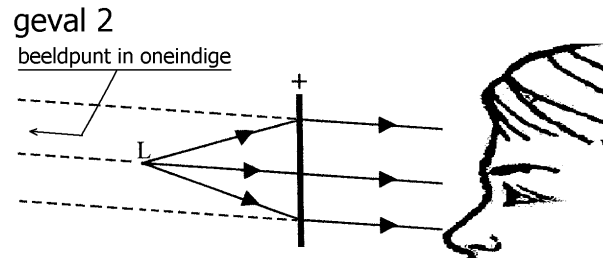
§ 4 Naar beeldpunten kijken (bij bolle lens)

Het zien van een beeldpunt

Een reëel beeldpunt is op een scherm af te beelden als een lichtpunt. Anders gezegd: je krijgt een afbeelding van de puntbron (het lampje) op het scherm. Zie geval 1 hiernaast.



Dit geldt niet voor een beeldpunt in het oneindige en een virtueel beeldpunt. Zie de gevallen 2 en 3 hiernaast. In deze gevallen is er op het scherm geen lichtpunt maar een lichtvlek zichtbaar. Toch kun je deze beeldpunten wel zien. Je moet je oog dan in de uittredende lichtbundel houden en naar L kijken. Je ziet de puntbron (het lampje) dan op de plaats van het beeldpunt. De gebroken lichtbundel lijkt hier namelijk vandaan te komen. Bij het beeldpunt in het oneindige (geval 2) lijkt de puntbron oneindig ver weg te staan.



In de gevallen 2 en 3 gebruik je de lens als vergrootglas. Een vergrootglas is altijd een bolle lens die je dicht bij het te bestuderen object moet houden.

Getallenvoorbeeld

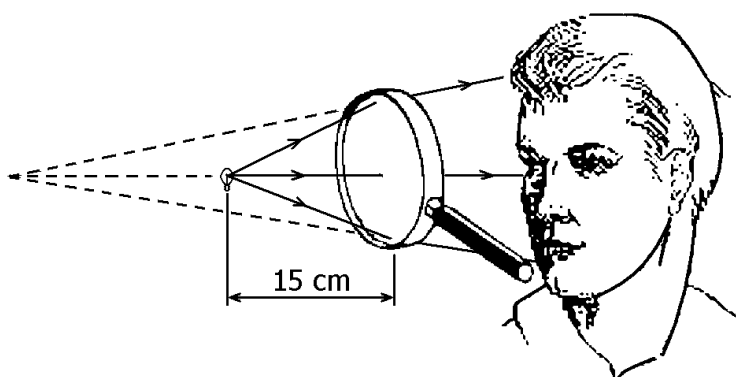
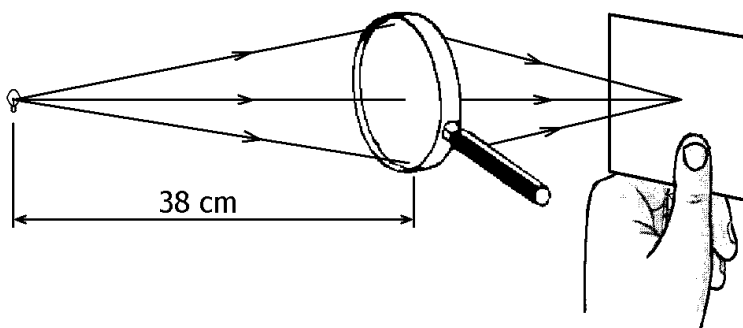
Niels houdt een klein lampje voor een bolle lens met een brandpuntsafstand van 15 cm. Als Niels het lampje op bijvoorbeeld 40 cm afstand voor de lens houdt, kan hij het lampje op een scherm zichtbaar maken. Als Niels het lampje op precies 15 cm afstand voor de lens houdt, komt er een evenwijdige lichtbundel uit de lens. Hij kan het beeld van het lampje dan alleen zien door de lens als vergrootglas te gebruiken. De ogen van Niels moeten zich dan op de verte scherp stellen. Als Niels het lampje op bijvoorbeeld 10 cm afstand voor de lens houdt, is de gebroken lichtbundel divergent en is het beeldpunt virtueel. Ook nu moet hij de lens als vergrootglas gebruiken om het beeld van het lampje te zien. Vanuit Niels positie gezien, bevindt het beeld zich achter het vergrootglas op een grotere afstand dan 10 cm maar niet oneindig ver weg.

Opgaven bij § 4

Opgave 1

Een klein lampje wordt voor een bolle lens gezet. Als de afstand tussen het lampje en de lens 38 cm is, ontstaat er op een scherm een scherp beeld. Zie de bovenste figuur hiernaast.

Als de afstand tussen het lampje en de lens 15 cm is, kan je het beeld scherp zien door in de lens te kijken. Zie de onderste figuur hiernaast.



Wat kun je uit de bovenste figuur concluderen over de brandpuntsafstand van de lens? Omcirkel je keuze.

- * kleiner dan 38 cm
- * gelijk aan 38 cm
- * groter dan 38 cm

Wat kun je uit de onderste figuur concluderen over de brandpuntsafstand van de lens? Omcirkel je keuze.

- * kleiner dan 15 cm
- * gelijk aan 15 cm
- * groter dan 15 cm

Opgave 2

Een klein lampje wordt voor een bolle lens met een brandpuntsafstand van 30 cm geplaatst. Vul hierna steeds één van de volgende woorden in: convergent, divergent, evenwijdig, reëel, virtueel, oneindige.

Als het lampje 50 cm voor de lens wordt geplaatst, zijn de lichtstralen die uit de lens komen _____ en is het beeldpunt _____.

Als het lampje 30 cm voor de lens wordt geplaatst, zijn de lichtstralen die uit de lens komen _____ en ligt het beeldpunt in het _____.

Als het lampje 15 cm voor de lens wordt geplaatst, zijn de lichtstralen die uit de lens komen _____ en is het beeldpunt _____.

Opgave 3

Bij welke van de drie gevallen 1, 2 of 3 (uit de nummering in deze paragraaf) hoort elk van de onderstaande situaties?

- Een klein vlammetje wordt 30 cm voor een bolle lens geplaatst. De lens heeft een brandpuntsafstand van 20 cm. Het beeld van het vlammetje wordt op een scherm afgebeeld.
- Een gloeiend ijzerdeeltje bevindt zich op een bepaalde afstand voor een bolle lens. Het licht dat op de lens valt zal na breking divergeren.
- Een lampje bevindt zich voor een bolle lens. De door de lens gebroken lichtbundel is evenwijdig.

Opgave 4

Een klein lampje bevindt zich voor een bolle lens met een brandpuntsafstand van 20 cm. Aan de andere kant van de lens wordt het lampje scherp op een scherm afgebeeld. Wat kun je dan meteen over de afstand tussen het lampje en de lens zeggen?

Omcirkel je keuze.

- * kleiner dan 20 cm
- * gelijk aan 20 cm
- * groter dan 20 cm

Opgave 5

Een vergrootglas heeft een brandpuntsafstand van 10 cm. Je kijkt met dit vergrootglas naar een pixel van een beeldscherm. Door de werking van het vergrootglas lijkt het pixel oneindig ver weg te zijn. Wat kun je dan meteen over de afstand tussen het pixel en het vergrootglas zeggen? Omcirkel je keuze.

- * kleiner dan 10 cm
- * gelijk aan 10 cm
- * groter dan 10 cm

Opgave 6

Een vergrootglas heeft een brandpuntsafstand van 15 cm. Jim kijkt met dit vergrootglas naar de kleine wijzer van een dameshorloge. Voor Jim lijkt de wijzer 40 cm achter het vergrootglas te zitten. Wat kun je dan meteen over de afstand tussen de wijzer en het vergrootglas zeggen? Omcirkel je keuze.

- * kleiner dan 15 cm
- * gelijk aan 15 cm
- * groter dan 15 cm

Opgave 7

Een bolle lens heeft een brandpuntsafstand van 40 cm. Een lichtpunt bevindt zich op de hoofdas van de lens op een afstand van 70 cm. Vervolgens wordt het lichtpunt naar de lens toe geschoven totdat het lichtpunt bijna tegen de lens aan zit. Verbeter nu de volgende bewering. "Het beeldpunt is achtereenvolgens: virtueel, reëel, in het oneindige."

Opgave 8

Een vlammetje staat 50 cm voor een bolle lens. Op een scherm wordt het vlammetje scherp afgebeeld. De afstand tussen het vlammetje en de lens wordt nu een beetje kleiner gemaakt.

In welke richting moet je het scherm schuiven om een scherp beeld te houden?

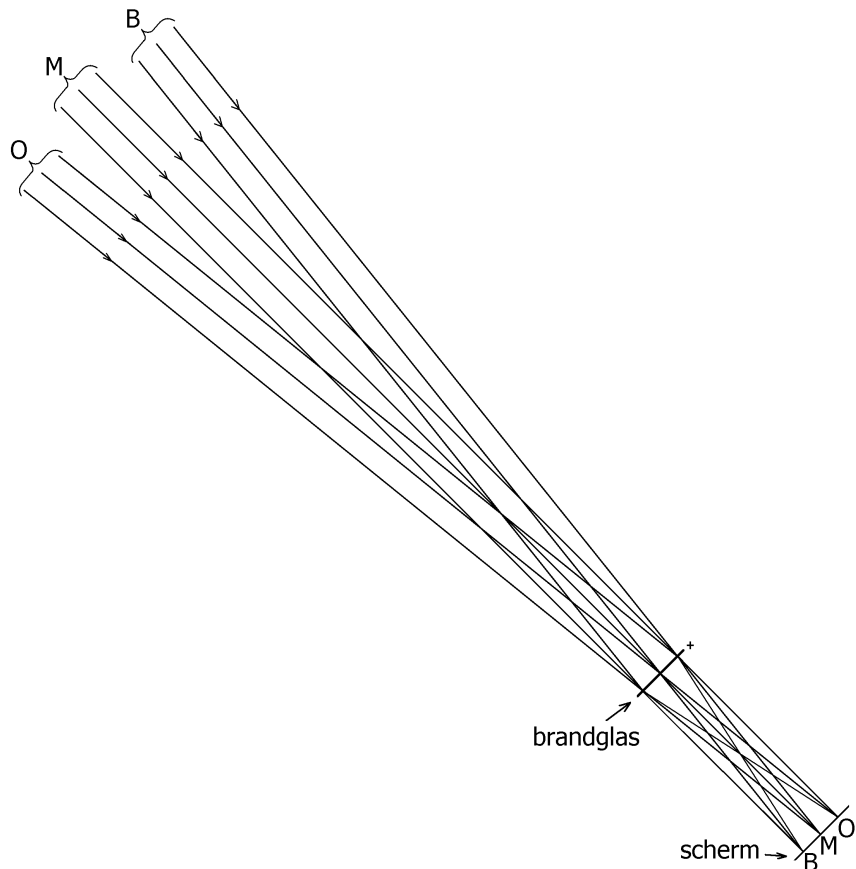
Opgave 9

Je wilt een klein diamantje met een vergrootglas (= bolle lens) bekijken. De brandpuntsafstand van het vergrootglas is 20 cm. Wat moet dan gelden voor de afstand tussen het diamantje en het vergrootglas? Omcirkel je keuze.

- * kleiner dan 20 cm
- * kleiner of gelijk aan 20 cm
- * groter dan 20 cm
- * groter of gelijk aan 20 cm

Opgave 10

In de figuur hiernaast wordt een afbeelding van de zon op een scherm gemaakt. De letter B geeft de lichtstralen aan, die van het bovenste puntje van de zon afkomstig zijn. Op dezelfde manier geven M en O de stralen aan die van het midden en van het onderste puntje van de zon afkomstig zijn. De afstand tussen het brandglas (dit is een bolle lens) en het scherm is gelijk aan de brandpuntsafstand.



a.

Leg uit dat er hier sprake is van geval 1 van de nummering in deze paragraaf.

b.

Leg uit dat bij omkering van de lichtstralen geval 2 ontstaat.

§ 5 Voorwerpsafstand, beeldafstand, lenzenformule

Voorwerpspunt

Vanaf nu wordt een (zeer kleine) puntbron voor een lens een voorwerpspunt genoemd. Dit houdt verband met het volgende. In veel gevallen bevindt zich geen puntbron maar een lichtbron met bepaalde afmetingen voor een lens. Zo'n lichtbron wordt wel een voorwerp genoemd. En omdat een voorwerp uit vele puntbronnen opgebouwd is, worden puntbronnen voorwerpspunten genoemd.

Brandpunts-, voorwerps- en beeldafstand

Hiervoor hebben we kennis gemaakt met drie soorten punten:

1. brandpunt F
2. voorwerpspunt L (= puntvormige lichtbron)
3. beeldpunt B.

In deze paragraaf gaat het om de afstand tussen deze punten en de lens. Zie de volgende omschrijvingen.

De brandpuntsafstand f is de afstand tussen het brandpunt F en de lens.

De voorwerpsafstand v is de afstand tussen het voorwerpspunt L en de lens.

De beeldafstand b is de afstand tussen het beeldpunt B en de lens.

Hieruit blijkt het volgende.

- Punten (F, L en B) worden met hoofdletters aangegeven.
- Afstanden (f , v en b) worden met kleine letters aangegeven.

De afstanden f , v en b worden langs de hoofdas gemeten. Afstanden loodrecht op de hoofdas spelen hierbij géén rol.

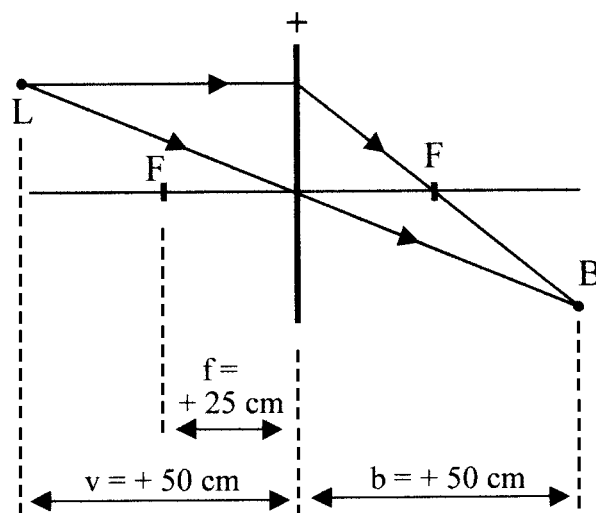
Voorbeeld 1

In het eerste voorbeeld bevindt een voorwerpspunt zich 50 cm voor een bolle lens. De brandpuntsafstand van de lens is 25 cm. Het beeldpunt is reëel en bevindt zich 50 cm voorbij de lens. Zie de figuur hiernaast. We kunnen deze gegevens nu als volgt opschrijven.

$$f = 25 \text{ cm}$$

$$v = 50 \text{ cm}$$

$$b = 50 \text{ cm}$$



Voorbeeld 2

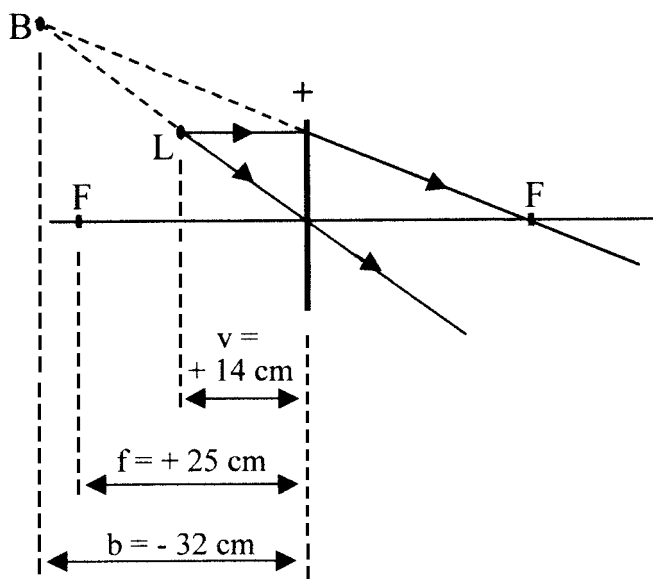
In het tweede voorbeeld bevindt een voorwerpspunt zich 14 cm voor een bolle lens. De brandpuntsafstand van de lens is 25 cm. Het beeldpunt is virtueel en bevindt zich 32 cm voor de lens. Zie de figuur hiernaast. We kunnen deze gegevens nu als volgt opschrijven.

$$f = 25 \text{ cm}$$

$$v = 14 \text{ cm}$$

$$b = -32 \text{ cm}$$

Het valt op dat de beeldafstand negatief is namelijk -32 cm in plaats van + 32 cm. Dit heeft te maken met het feit dat het beeldpunt virtueel is in plaats van reëel.



Positieve en negatieve afstanden

Zoals hiervoor is behandeld heeft een Bolle lens reële brandpunten en is de brandpuntsafstand groter dan nul. Omgekeerd heeft een Holle lens virtuele brandpunten en is de brandpuntsafstand kleiner dan nul.

Bij beeldpunten geldt iets soortgelijks. Bij een reëel beeldpunt hoort een positieve beeldafstand en bij een virtueel beeldpunt hoort een negatieve beeldafstand.

Opmerking:

In deze cursus zijn voorwerpspunten steeds reëel en voorwerpsafstanden positief. Toch kan een voorwerpspunt wel virtueel zijn en de bijbehorende voorwerpsafstand negatief. Hiervan is sprake als er een convergente lichtbundel op een lens valt (het snijpunt van de invallende stralen is dan virtueel). Dit valt echter buiten de lesstof.

Samengevat (zie ook de tabel):

Bij reële punten horen positieve afstanden; bij virtuele punten horen negatieve afstanden.

Soort punt	Afstand van dit punt tot de lens	Is deze afstand positief of negatief?
F = brandpunt	f = brandpuntsafstand	$f > 0$ als F reëel is (bolle lens) $f < 0$ als F virtueel is (holle lens)
L = voorwerpspunt	v = voorwerpsafstand	In deze cursus geldt steeds: $v > 0$ en L reëel
B = beeldpunt	b = beeldafstand	$b > 0$ als B reëel is $b < 0$ als B virtueel is

Lenzenformule

Bij een gegeven lens hoort bij elk voorwerpspunt een beeldpunt. De plaats van het beeldpunt kan met behulp van de constructiestralen geconstrueerd worden.

De beeldafstand b kan echter ook berekend worden als de brandpuntsafstand f en de voorwerpsafstand v gegeven is. Dit gebeurt met de door onze landgenoot Christiaan Huygens (1629 – 1695) afgeleide **lenzenformule** die het verband tussen f , v en b geeft.

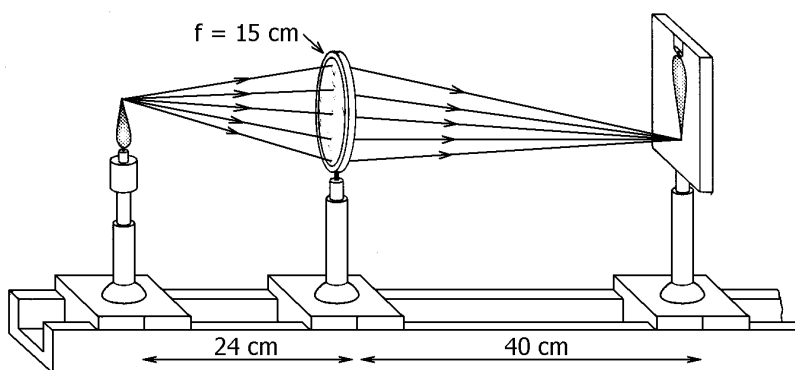
$$\frac{1}{v} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f} \quad (\text{lenzenformule})$$

Opmerkingen

1. Het teken (+ of -) van v , b en f is belangrijk bij gebruik van de lenzenformule.
2. De eenheden van v , b en f moeten gelijk zijn. Dus bijvoorbeeld alle drie in cm.
3. In de lenzenformule komen v en b op precies dezelfde manier voor. De formule verandert dus niet als v en b worden verwisseld. Dit klopt met het feit dat lichtstralen omkeerbaar zijn.
4. Als de beeldafstand berekend moet worden, gebruik je de volgende vorm van de formule $\frac{1}{b} = \frac{1}{f} - \frac{1}{v}$.

Rekenvoorbeeld 1

Een vlam bevindt zich 24 cm voor een bolle lens. Deze lens heeft een brandpuntsafstand van 15 cm. Voorbij de lens is de vlam scherp geprojecteerd op een scherm. Zie de figuur hiernaast. Hierin zijn alleen de lichtstralen getekend die horen bij het bovenste voorwerpspunt.



Hieronder is aangegeven hoe de beeldafstand berekend kan worden.

gegeven: $v = +24 \text{ cm}$

$f = +15 \text{ cm}$

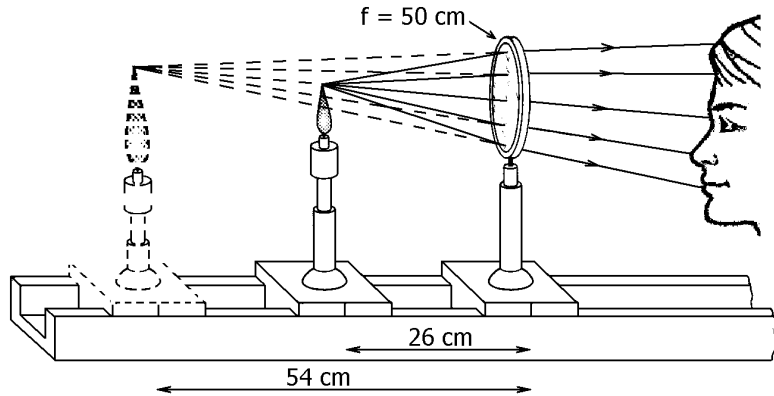
gevraagd: b

oplossing: $\frac{1}{b} = \frac{1}{f} - \frac{1}{v} = \frac{1}{15} - \frac{1}{24} \rightarrow b = +40 \text{ cm}$

De beeldafstand (40 cm) is ook in de figuur aangegeven. De waarde van b is groter dan nul omdat het beeldpunt reëel is.

Rekenvoorbeeld 2

Een vlam bevindt zich 26 cm voor een bolle lens. Deze lens heeft een brandpuntsafstand van 50 cm. Het licht dat uit de lens komt bestaat uit divergerende bundels. Zie de figuur hiernaast. Hierin zijn alleen de lichtstralen getekend die horen bij het bovenste voorwerpspunt.



Hieronder is aangegeven hoe de beeldafstand berekend kan worden.

gegeven: $v = +26 \text{ cm}$

$f = +50 \text{ cm}$

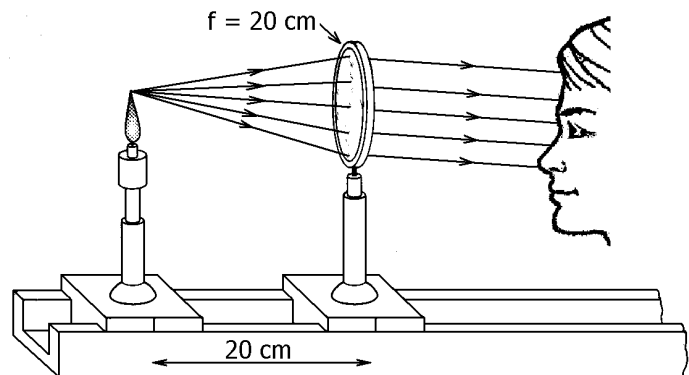
gevraagd: b

oplossing: $\frac{1}{b} = \frac{1}{f} - \frac{1}{v} = \frac{1}{50} - \frac{1}{26} \rightarrow b = -54 \text{ cm}$

De beeldafstand (-54 cm) is ook in de figuur aangegeven. De waarde van b is kleiner dan nul omdat het beeldpunt virtueel is.

Rekenvoorbeeld 3

Een vlam bevindt zich 20 cm voor een bolle lens. Deze lens heeft een brandpuntsafstand van 20 cm. Het licht dat uit de lens komt bestaat uit evenwijdige bundels. Zie de figuur hiernaast. Hierin zijn alleen de lichtstralen getekend die horen bij het bovenste voorwerpspunt.



Hieronder is aangegeven hoe de beeldafstand berekend kan worden.

gegeven: $v = +20 \text{ cm}$

$f = +20 \text{ cm}$

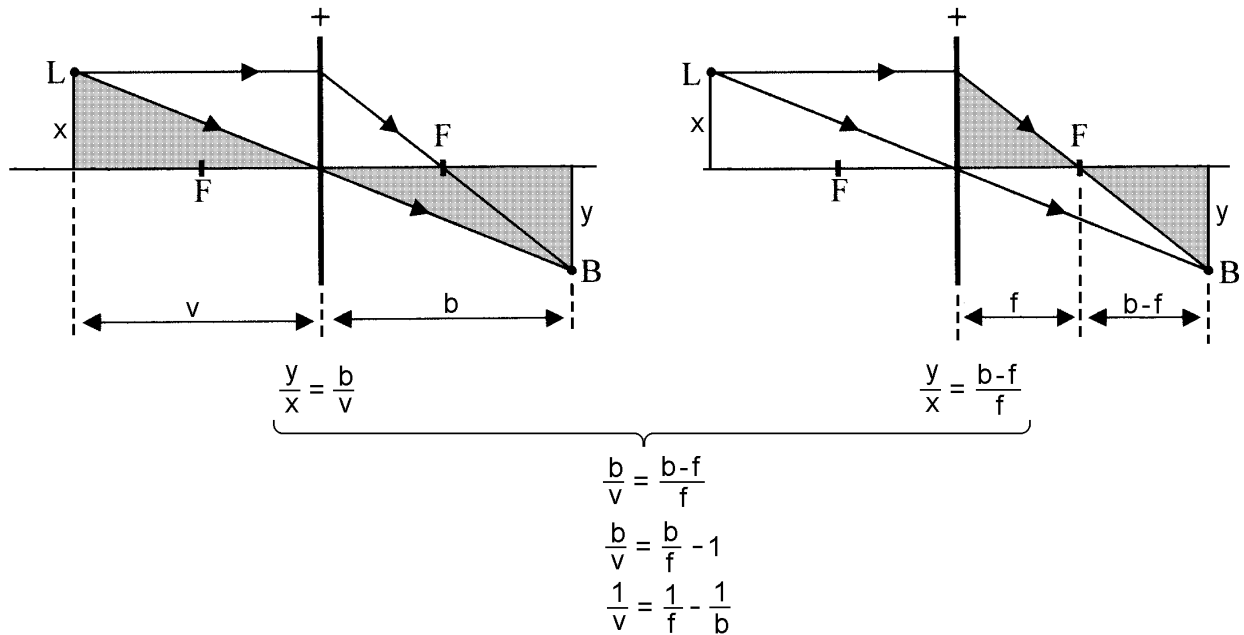
gevraagd: b

oplossing: $\frac{1}{b} = \frac{1}{f} - \frac{1}{v} = \frac{1}{20} - \frac{1}{20} \rightarrow b = \infty$

De beeldafstand is oneindig groot omdat $1/b$ nul is. Dit wil zeggen dat het beeldpunt in het oneindige ligt en de gebroken bundel evenwijdig is.

Bewijs van de lenzenformule (valt buiten de lesstof)

De lenzenformule is eenvoudig te bewijzen met behulp van gelijkvormigheid van driehoeken. In het onderstaande geval wordt dit gedaan in het geval van een bolle lens en een reëel beeldpunt. Hierin is x de afstand van L (= voorwerpspunt) tot de hoofdas en y de afstand van B (= beeldpunt) tot de hoofdas. De onderstaande figuren spreken voor zich.



Opgaven bij § 5

Advies: werk de volgende opgaven uit in de drie stappen 'gegeven', 'gevraagd' en 'oplossing'.

Opgave 1

Een lichtpunt staat 60 cm voor een bolle lens met een brandpuntsafstand van 40 cm.

a.

Bereken de beeldafstand.

b.

Is het beeldpunt reëel, in het oneindige of virtueel? Leg dit kort uit.

Opgave 2

Een lichtpunt staat 30 cm voor een bolle lens met een brandpuntsafstand van 40 cm.

a.

Bereken de beeldafstand.

b.

Is het beeldpunt reëel, in het oneindige of virtueel? Leg dit kort uit.

Opgave 3

Een lichtpunt staat 40 cm voor een bolle lens met een brandpuntsafstand van 40 cm.

a.

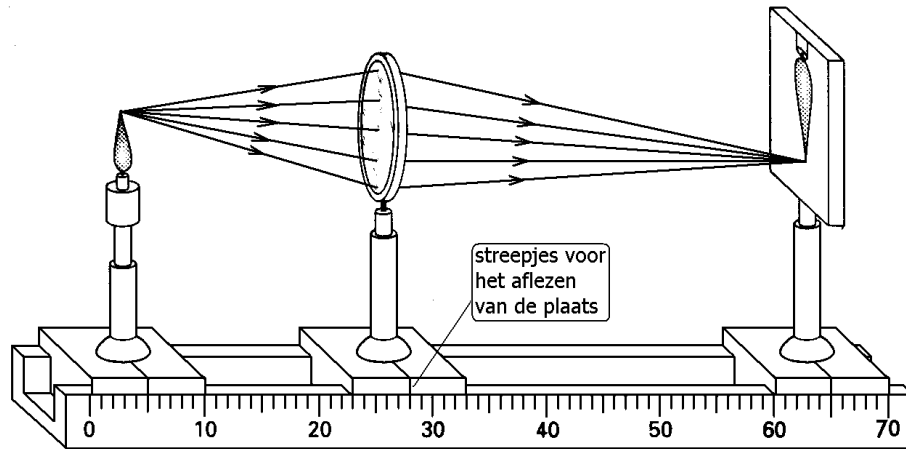
Bereken de beeldafstand.

b.

Is het beeldpunt reëel, in het oneindige of virtueel? Leg dit kort uit.

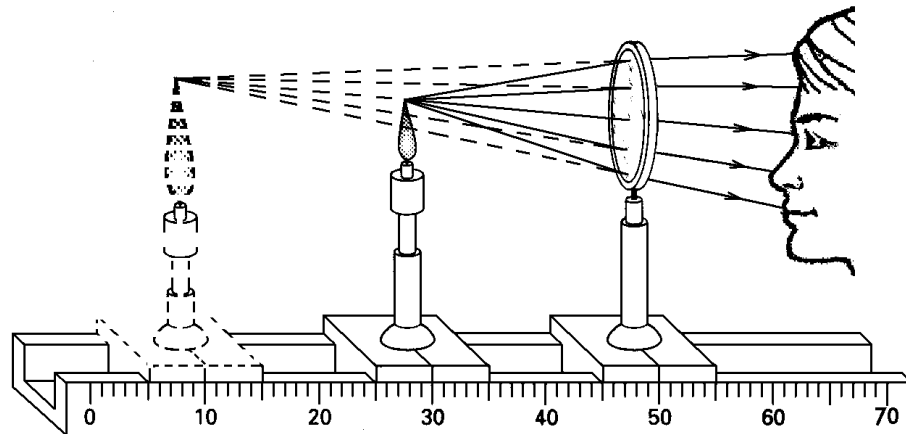
Opgave 4

Bereken de brandpuntsafstand van de lens in de onderstaande figuur. Om de plaats van de vlam, de lens en het scherm gemakkelijk te bepalen zijn er streepjes op de verschuifbare houders aangebracht. Leg aan de hand van de uitkomst uit dat de lens bol is.



Opgave 5

Bereken de brandpuntsafstand van de lens in de onderstaande figuur. Leg aan de hand van de uitkomst uit dat de lens bol is.



Opgave 6

Een lichtpunt staat voor een bolle lens met een brandpuntsafstand van 70 cm. Het bijbehorende beeldpunt wordt 150 cm achter de lens op een scherm afgebeeld. Bereken hoever het lichtpunt voor de lens staat.

Opgave 7

Een lichtpunt staat voor een bolle lens met een brandpuntsafstand van 125 cm. Het bijbehorende beeldpunt staat 60 cm voor de lens (dus aan dezelfde kant als het lichtpunt). Bereken hoever het lichtpunt voor de lens staat.

Opgave 8

Een lichtpunt staat voor een holle lens met een brandpuntsafstand van -125 cm. Het bijbehorende beeldpunt staat 90 cm voor de lens (dus aan dezelfde kant als het lichtpunt). Bereken hoever het lichtpunt voor de lens staat.

Opgave 9

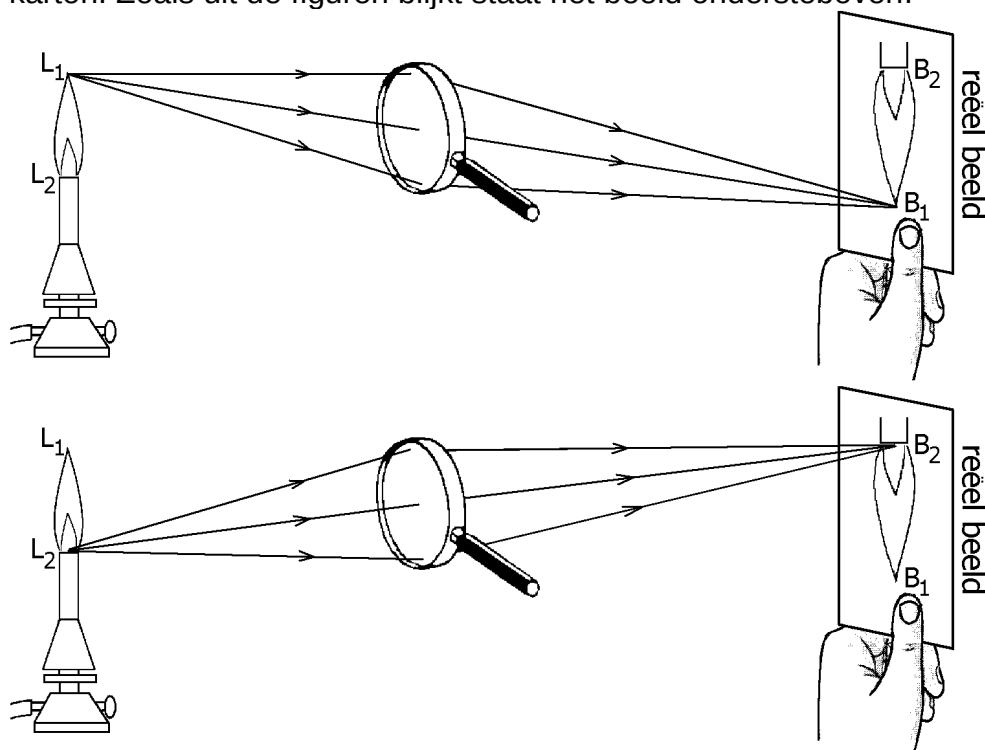
Een ster wordt door een lens op een scherm afgebeeld. Het scherm bevindt zich 33 cm achter de lens. Bereken de brandpuntsafstand van de lens.

§ 6 Voorwerp, beeld, lineaire vergroting

Opmerking: in deze paragraaf beperken we ons tot BOLLE lenzen.

Lichtgevende vlam op ruime afstand voor een lens

In de onderstaande figuren bevindt een lichtgevende gasvlam zich op ruime afstand voor een bolle lens. Achter de lens ontstaat het beeld van de vlam op een stuk wit karton. Zoals uit de figuren blijkt staat het beeld ondersteboven.

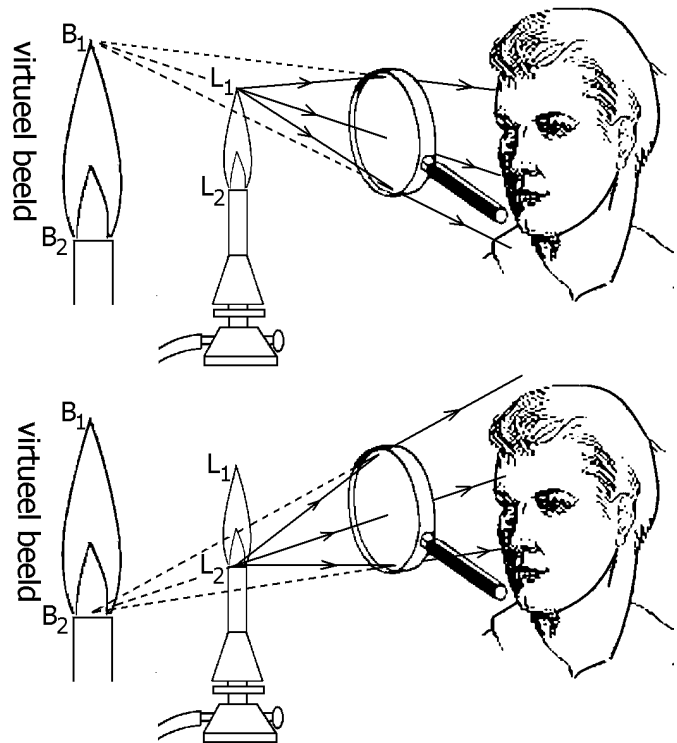


We kunnen eenvoudig begrijpen hoe het beeld van de vlam ontstaat. De vlam is namelijk opgebouwd uit zeer veel lichtpunten. Bij elk lichtpunt hoort een beeldpunt op het karton. En alle beeldpunten samen vormen het beeld van de vlam. Kijk bijvoorbeeld naar de lichtstralen in de figuren. De lichtstralen die van het bovenste lichtpunt L_1 vertrekken, komen in het onderste beeldpunt B_1 weer samen. Op dezelfde manier komen de lichtstralen, die van het onderste lichtpunt L_2 vertrekken, in het bovenste beeldpunt B_2 weer samen.

We noemen de vlam het “voorwerp”. De afzonderlijke punten van de vlam zoals L_1 en L_2 worden voorwerpspunten genoemd. Alle voorwerpspunten hebben (ongeveer) dezelfde voorwerpsafstand. Omdat deze voorwerpsafstand groter dan de brandpuntsafstand van de lens is, zijn de beeldpunten reëel. We spreken in zo’n geval over een reëel beeld.

Lichtgevende vlam op kleine afstand voor een lens

In de figuren hiernaast bevindt een lichtgevende gasvlam zich op kleine afstand voor een bolle lens. De voorwerpsafstand (= de afstand tussen de vlam en de lens) is kleiner dan de brandpuntsafstand van de lens. Je kunt het beeld van de vlam dan alleen zien door in de lens te kijken. Je gebruikt de lens dan als vergrootglas.

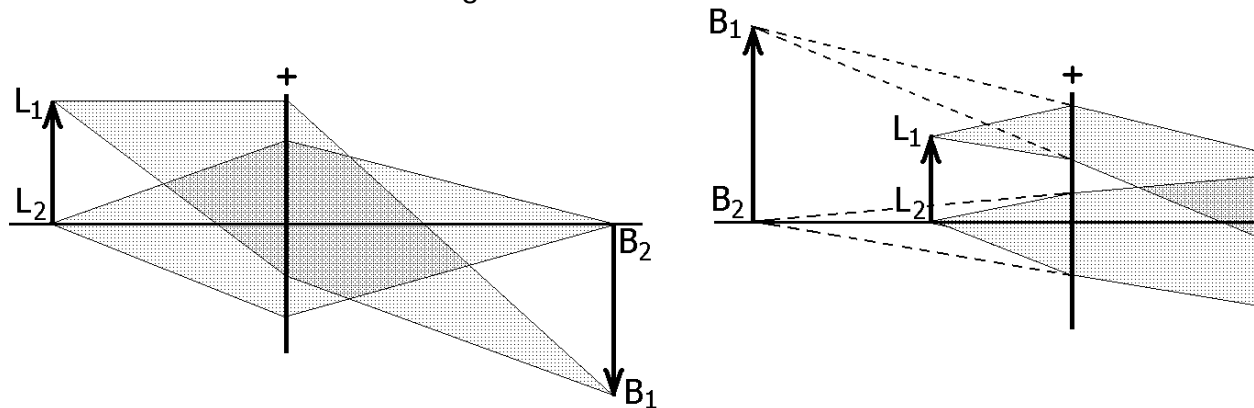


Net als in de vorige situatie hoort er bij elk voorwerpspunt weer een beeldpunt. Nu zijn de beeldpunten echter virtueel. De betekenis hiervan blijkt uit de figuren. De lichtstralen die van voorwerpspunt L_1 vertrekken, lijken voor de waarnemer uit beeldpunt B_1 te komen. De lichtstralen die van voorwerpspunt L_2 vertrekken, lijken uit beeldpunt B_2 te komen.

Het beeld van de vlam wordt virtueel genoemd. Het bevindt zich aan dezelfde kant van de lens als het voorwerp. Het beeld staat rechtop (niet ondersteboven) en is groter dan het voorwerp. Vandaar de naam vergrootglas.

Schematische weergave van het voorwerp en het beeld

Vaak worden het voorwerp en het beeld weergegeven als pijlen loodrecht op de hoofdas. Zie de onderstaande figuren.



Pijl L_1L_2 stelt het voorwerp voor en pijl B_1B_2 stelt het beeld voor. Pijl L_1L_2 is opgebouwd uit voorwerpspunten en pijl B_1B_2 is opgebouwd uit beeldpunten. Bij elk voorwerpspunt hoort een beeldpunt.

In de linker figuur is de voorwerpsafstand (= de afstand tussen het voorwerp en de lens) groter dan de brandpuntsafstand van de lens. Het beeld is dan reëel. In de rechter figuur is de voorwerpsafstand kleiner dan de brandpuntsafstand. Het beeld is dan virtueel.

Definitie van lineaire vergroting

Met de lineaire vergroting bedoelen we het aantal keren dat het beeld groter is dan het voorwerp.

Het gaat bij de vergelijking tussen beeld en voorwerp om een **lengte-maat** (en niet om bijvoorbeeld het oppervlak of het volume).

Bij het berekenen van de vergroting worden de volgende symbolen gebruikt.

N = de lineaire vergroting

$L_1 L_2$ = de hoogte (of breedte) van het voorwerp

$B_1 B_2$ = de hoogte (of breedte) van het beeld

Met de volgende formule kan de lineaire vergroting berekend worden.

$$N = \frac{B_1 B_2}{L_1 L_2}$$

Opm. 1) $L_1 L_2$ en $B_1 B_2$ worden altijd positief genomen. Daarom is N ook altijd positief.

2) Als $0 < N < 1$ is er sprake van een verkleining in plaats van een vergroting.

3) De vergroting N heeft geen eenheid. Zie de volgende voorbeelden.

Rekenvoorbeeld 1

Een gasvlam met een hoogte van 10 cm wordt op een scherm afgebeeld. Het (reële) beeld van de vlam heeft een hoogte van 13 cm. Voor de lineaire vergroting geldt dan:

$$N = \frac{B_1 B_2}{L_1 L_2} = \frac{13 \text{ cm}}{10 \text{ cm}} = 1,3$$

Rekenvoorbeeld 2

Iris bekijkt een 10 cm hoge gasvlam met een vergrootglas. Het virtuele beeld is 20 cm hoog. Voor de lineaire vergroting geldt dan:

$$N = \frac{B_1 B_2}{L_1 L_2} = \frac{20 \text{ cm}}{10 \text{ cm}} = 2,0$$

Tweede formule voor de lineaire vergroting

Er is een tweede manier om N te berekenen. Hierbij wordt gebruik gemaakt van:

v = voorwerpsafstand (= afstand tussen het voorwerp en de lens)

b = beeldafstand (= afstand tussen het beeld en de lens)

De vergroting kan ook met de volgende formule berekend worden.

$$N = \left| \frac{b}{v} \right|$$

Deze formule volgt uit het feit dat in de voorgaande figuren driehoek L_1L_2O gelijkvormig is met driehoek B_1B_2O (met O = optisch middelpunt). De absoluutstrepen garanderen dat N altijd groter dan nul is. Ze zijn nodig bij een virtueel beeld omdat $b < 0$.

Rekenvoorbeeld 3 (vervolg van rekenvoorbeeld 1)

De gasvlam uit rekenvoorbeeld 1 bevindt zich 23 cm voor de lens.

Het scherm bevindt zich 30 cm achter de lens.

De lineaire vergroting kan als volgt berekend worden.

$$v = + 23 \text{ cm}$$

$$b = + 30 \text{ cm}$$

$$N = \left| \frac{b}{v} \right| = \frac{30 \text{ cm}}{23 \text{ cm}} = 1,3$$

Rekenvoorbeeld 4 (vervolg van rekenvoorbeeld 2)

De gasvlam uit rekenvoorbeeld 2 bevindt zich 12 cm voor de lens.

Het virtuele beeld van de gasvlam bevindt zich 24 cm voor de lens.

De lineaire vergroting kan als volgt berekend worden.

$$v = + 12 \text{ cm}$$

$$b = - 24 \text{ cm}$$

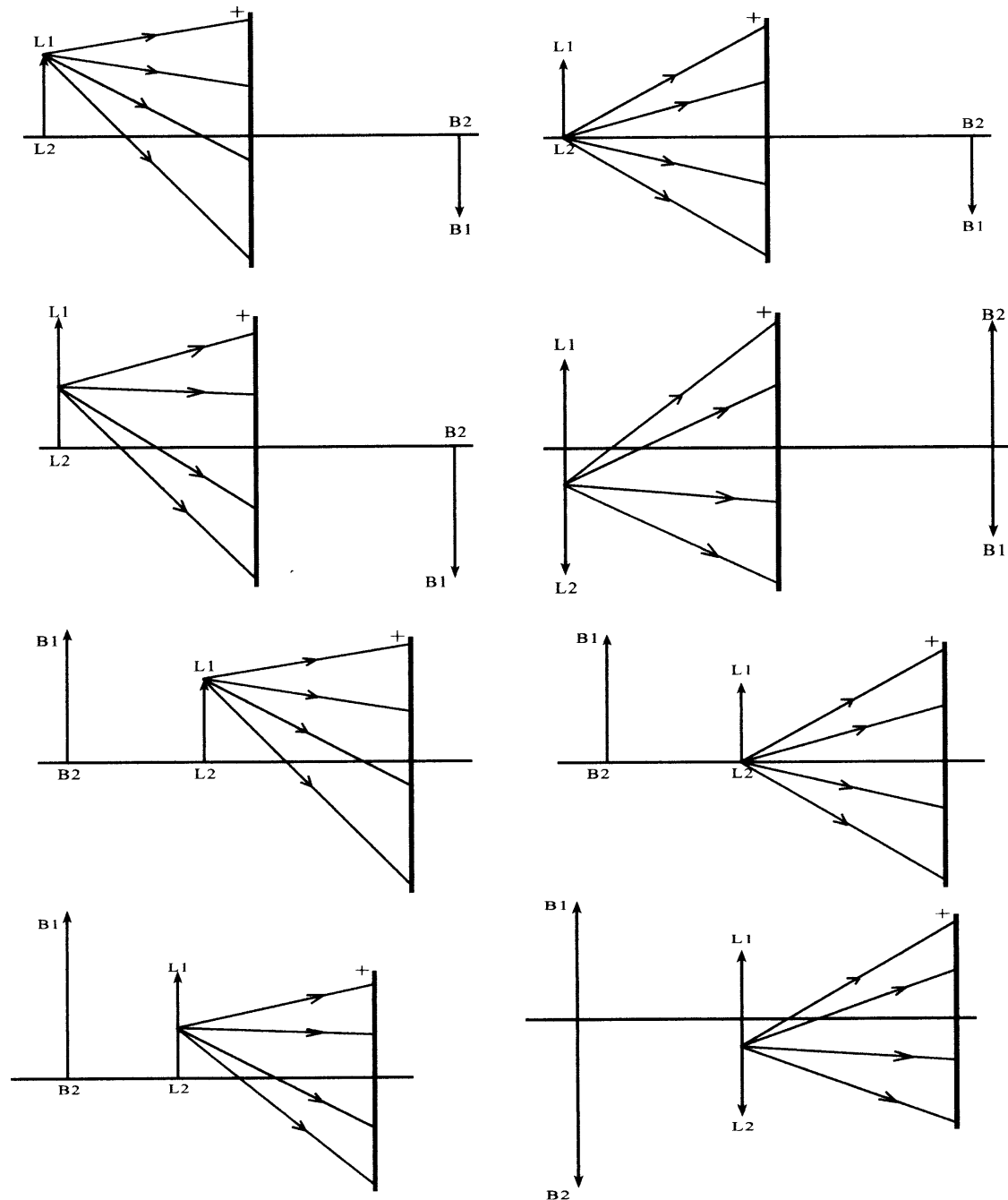
$$N = \left| \frac{b}{v} \right| = \left| \frac{- 24 \text{ cm}}{12 \text{ cm}} \right| = 2,0$$

Opgaven bij § 6

Opgave 1

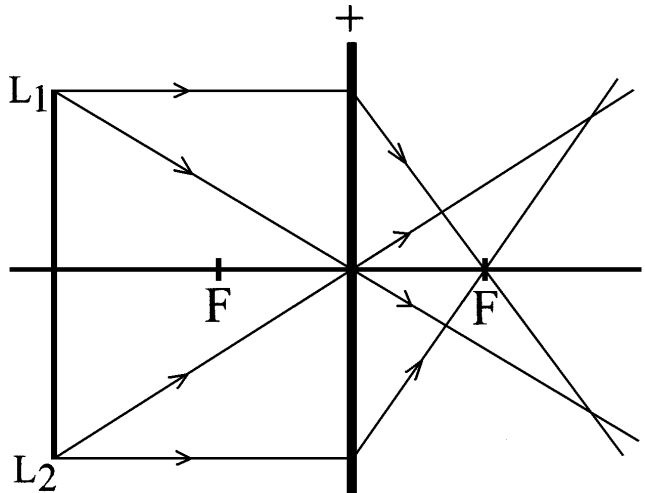
In de onderstaande acht figuren is B_1B_2 het beeld van voorwerp L_1L_2 . In de eerste vier figuren is het beeld reëel, in de laatste vier figuren is het beeld virtueel. In elke figuur vertrekken vanuit één voorwerpspunt vier lichtstralen.

Teken in de figuur het verdere verloop van deze lichtstralen.



Opgave 2

In de figuur hiernaast bevindt voorwerp L_1L_2 zich voor een bolle lens. Ook zijn er vier lichtstralen getekend die van het voorwerp uitgaan.



a.

Teken het beeld B_1B_2 van het voorwerp. Schrijf de letters B_1 en B_2 bij de uiteinden van het beeld.

b.

Meet in de figuur de hoogte van het voorwerp op. $L_1L_2 = \underline{\hspace{2cm}}$ mm

c.

Meet in de figuur de hoogte van het beeld op.

$B_1B_2 = \underline{\hspace{2cm}}$ mm

d.

Bereken de lineaire vergroting N met de definitie. $N = B_1B_2 / L_1L_2 = \underline{\hspace{2cm}}$

e.

Meet in de figuur de voorwerpsafstand op. $v = \underline{\hspace{2cm}}$ mm

f.

Meet in de figuur de beeldafstand op. $b = \underline{\hspace{2cm}}$ mm

g.

Bereken de lineaire vergroting N met de tweede formule. $N = |b / v| = \underline{\hspace{2cm}}$

h.

Controleer dat beide uitkomsten van N gelijk zijn.

Opgave 3

a.

Teken in de figuur hiernaast het beeld B_1B_2 van het voorwerp L_1L_2 . Schrijf de letters B_1 en B_2 bij de uiteinden van het beeld.

b.

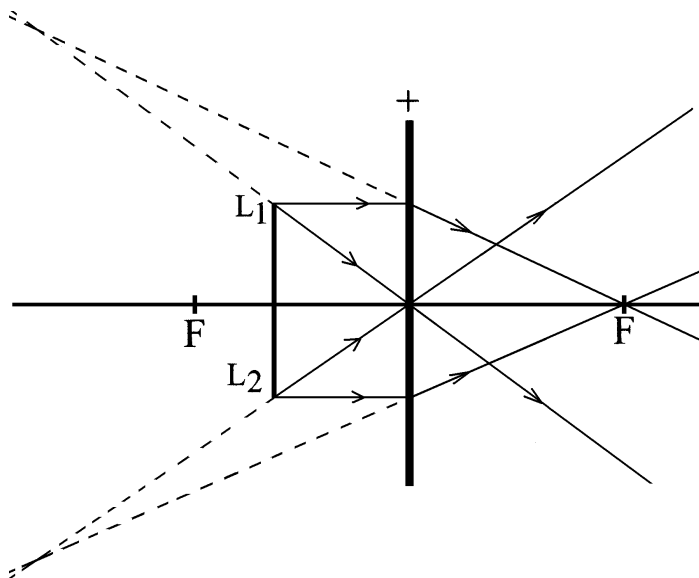
Bepaal de lineaire vergroting N met behulp van de definitie ($N = B_1B_2 / L_1L_2$).

c.

Bepaal de lineaire vergroting N met behulp van de tweede formule ($N = |b / v|$).

d.

Controleer dat beide uitkomsten van N gelijk zijn.



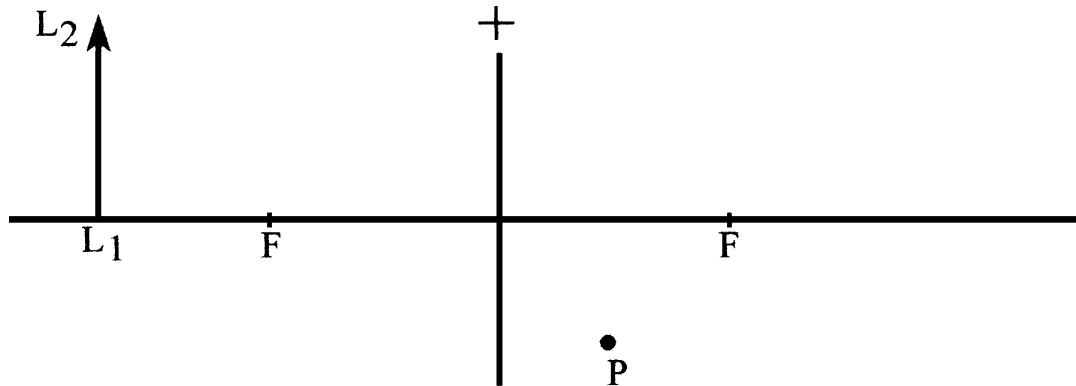
Opgave 4

In de onderstaande figuur staat een lichtgevende pijl L_1L_2 voor een bolle lens. De hoofdas en de brandpunten van de lens zijn ook in de figuur aangegeven.

Construeer het beeld van de pijl. Geef het beeld van de pijl ook als een pijl weer.

Zet B_1 en B_2 bij de uiteinden van het beeld.

Construeer de lichtstraal die vanuit de voet van de pijl (L_1) na breking precies door punt P gaat.



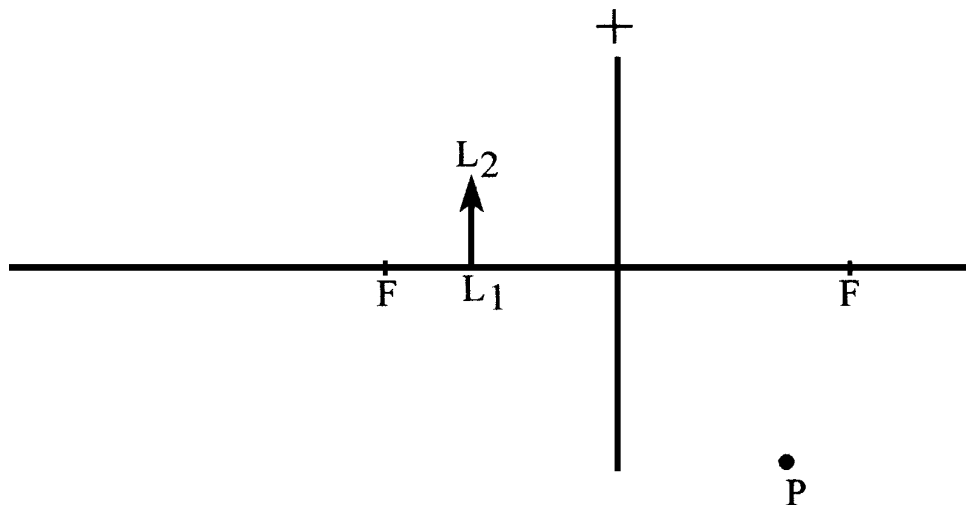
Opgave 5

In de onderstaande figuur staat een lichtgevende pijl L_1L_2 voor een bolle lens. De hoofdas en de brandpunten van de lens zijn ook in de figuur aangegeven.

Construeer het beeld van de pijl. Geef het beeld van de pijl ook als een pijl weer.

Zet B_1 en B_2 bij de uiteinden van het beeld.

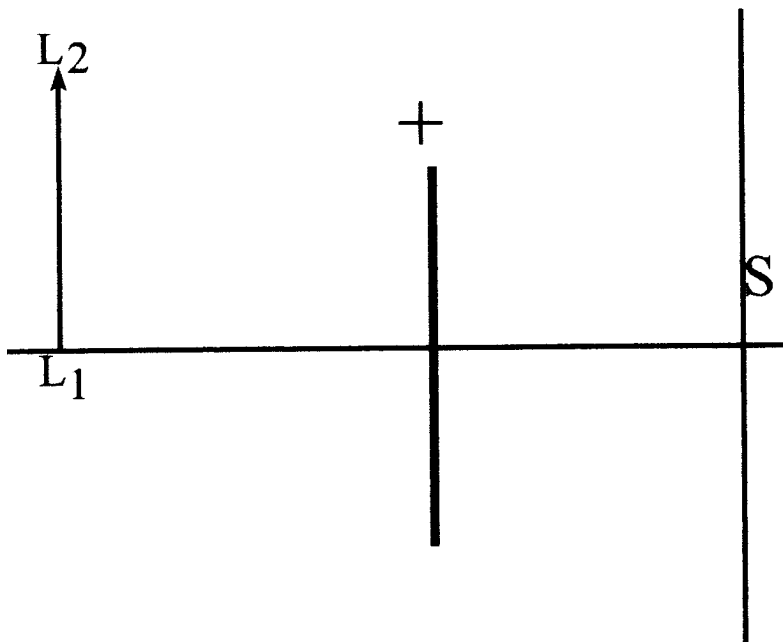
Construeer de lichtstraal die vanuit de voet van de pijl (L_1) na breking precies door punt P gaat.



Opgave 6

In de figuur hiernaast wordt de lichtgevende pijl L_1L_2 door een lens **scherp** afgebeeld op scherm S . De pijl staat loodrecht op de hoofdas en de voet van de pijl L_1 ligt op de hoofdas.

- Geef door constructie aan waar het beeld van L_1L_2 op het scherm komt.
- Geef door constructie aan waar de brandpunten van de lens liggen.

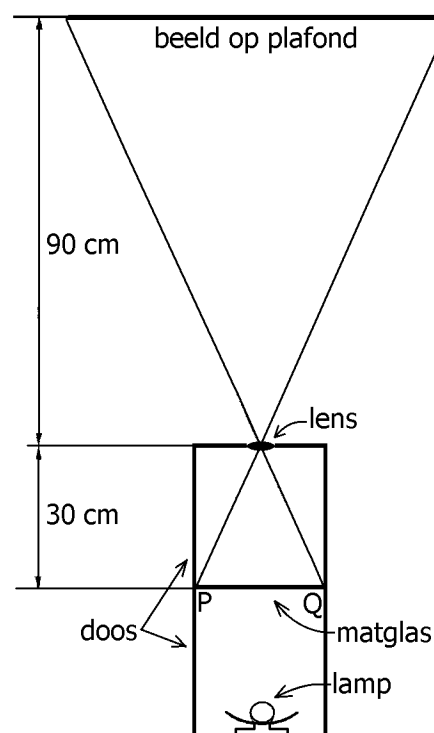


Opgave 7

In de figuur hiernaast is een langwerpige doos getekend die aan de binnenkant volledig zwart geverfd is. Onderin de doos bevindt zich een lamp en op halve hoogte een plaat van matglas. Bovenin de doos is een gat gemaakt waarin een bolle lens gemonteerd is.

Op het matglas is met een zwarte viltstift een tekening gemaakt. Het beeld van de tekening wordt op het plafond scherp afgebeeld. In de figuur zijn enkele maten gegeven.

- Bereken de brandpuntsafstand van de lens.



- Op het matglas staat een vierkant afgebeeld met een zijde van 10 cm getekend.
- Bereken de oppervlakte van het vierkant dat op het plafond ontstaat.

Opgave 8

Otto bekijkt een postzegel met behulp van een vergrootglas. Zie de figuur hiernaast.

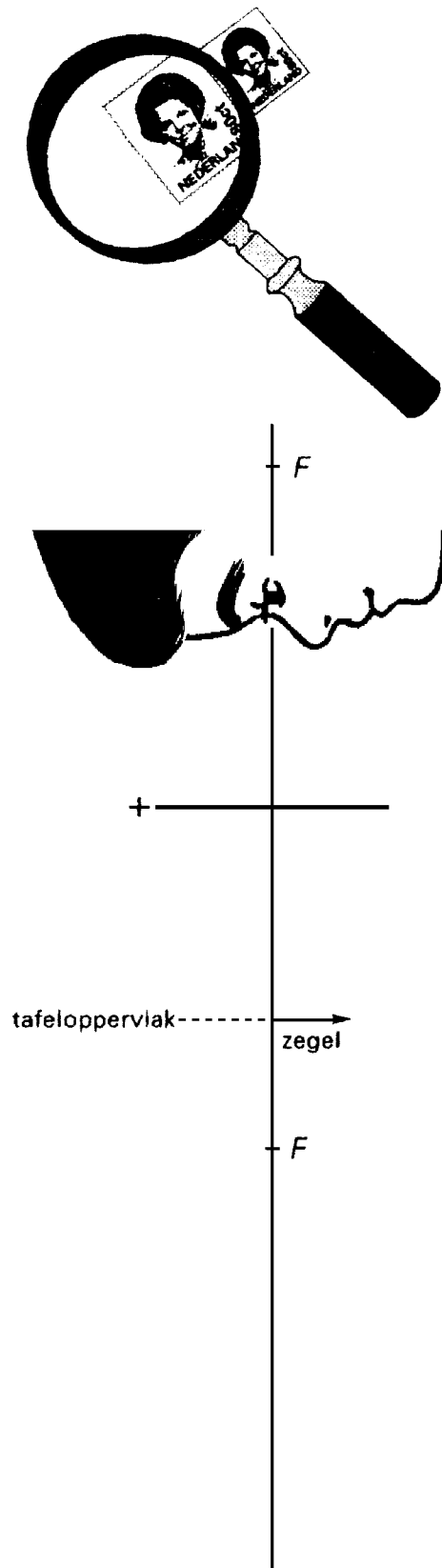
In het onderste deel van de figuur zijn het vergrootglas en de postzegel schematisch getekend. Otto kijkt van bovenaf naar de postzegel.

a.

Construeer in de figuur het beeld van de postzegel.

b.

Construeer de lichtstraal die van de rechterkant van de postzegel komt en via het vergrootglas het oog van Otto binnengaat.



§ 7 Rekenen aan voorwerpen en beelden

Overzicht van de grootheden

De grootheden die in dit stencil van belang zijn, zijn in de onderstaande tabel opgesomd.

grootheid	eenheid
f = brandpuntsafstand	m (of cm, mm etc.)
S = lenssterkte	dpt (= 1/m)
v = voorwerpsafstand	m (of cm, mm etc.)
b = beeldafstand	m (of cm, mm etc.)
L_1L_2 = hoogte (of breedte) van het voorwerp	m (of cm, mm etc.)
B_1B_2 = hoogte (of breedte) van het beeld	m (of cm, mm etc.)
N = lineaire vergroting	geen

Overzicht van de formules

De volgende formule geeft het verband tussen de brandpuntsafstand en de lenssterkte. Als f in meter uitgedrukt is, is S in dioptrie uitgedrukt.

$$S = \frac{1}{f}$$

De volgende formule geeft het verband tussen de voorwerpsafstand, beeldafstand en brandpuntsafstand. De formule is bruikbaar zolang v , b en f in dezelfde eenheid uitgedrukt zijn (bijvoorbeeld centimeter).

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

De volgende formule geeft de definitie van de lineaire vergroting. De formule is bruikbaar zolang v , b en f in dezelfde eenheid uitgedrukt zijn (bijvoorbeeld centimeter). N heeft zelf geen eenheid.

$$N = \frac{B_1B_2}{L_1L_2}$$

Met de volgende formule kan de lineaire vergroting op een tweede manier berekend worden. De absoluutstrepen hebben alleen tot doel om de uitkomst positief te laten zijn.

$$N = \left| \frac{b}{v} \right|$$

Voordelen van berekenen boven construeren

In principe kun je de vele vraagstukken op twee manieren oplossen:

- met behulp van de constructie (tekenen) van lichtstralen, voorwerpen en beelden.
- met behulp van berekeningen.

Beide manieren moeten natuurlijk tot hetzelfde antwoord leiden. Toch heeft het oplossen met behulp van berekeningen een aantal voordelen.

Het eerste voordeel is de grotere nauwkeurigheid. Bij het construeren kunnen kleine afwijkingen in de stralengang grote fouten in het eindantwoord veroorzaken. Bij berekeningen heb je daar geen last van.

Het tweede voordeel is de grotere toepasbaarheid. Bijvoorbeeld zijn holle lenzen (dus $f < 0$) bij berekeningen totaal geen probleem. Bij het construeren hebben we ons echter beperkt tot bolle lenzen.

Vertaalslag van tekst naar een rijtje gegevens

De moeilijkheid bij het oplossen van vraagstukken zit meestal niet in het werken met formules (dus het rekentechnische deel). Het is vaak veel lastiger om uit een stuk tekst de juiste gegevens te halen en deze op een correcte manier te verwerken. Een hulpmiddel daarbij is het driestappenplan volgens gegeven, gevraagd, oplossing. Hierbij worden eerst de gegevens kort opgeschreven (dat wil zeggen in symbolen, niet in woorden). Daarna wordt opgeschreven welke grootheid eigenlijk berekend moet worden. Tot slot worden de berekeningen uitgevoerd. Zie het volgende rekenvoorbeeld.

Voorbeeld waarbij formules gecombineerd worden

Een TL-lamp met een lengte van 80 cm hangt aan het plafond. Een bolle lens met een brandpuntsafstand van 40 cm wordt gebruikt om een scherpe afbeelding van de TL-buis op de grond te maken. De afstand tussen de lens en de vloer bedraagt 50 cm op het moment dat er een scherpe afbeelding is. Bereken hoe lang de geprojecteerde TL-buis is (op de grond).

Deze opgave kan op de volgende manier opgelost worden.

gegeven: $L_1 L_2 = 80 \text{ cm}$

$$f = 40 \text{ cm}$$

$$b = 50 \text{ cm}$$

gevraagd: $B_1 B_2$.

oplossing:
$$\frac{1}{v} = \frac{1}{f} - \frac{1}{b} = \frac{1}{40} - \frac{1}{50} \Rightarrow v = 200 \text{ cm}$$

$$N = \left| \frac{b}{v} \right| = \frac{50}{200} = 0,25$$

$$B_1 B_2 = N \cdot L_1 L_2 = 0,25 \cdot 80 \text{ cm} = 20 \text{ cm}$$

Opgaven bij § 7

Advies: werk de volgende opgaven uit in de drie stappen 'gegeven', 'gevraagd' en 'oplossing'.

Opgave 1

Een fotolamp bevat een lichtgevende gloeispiraal. De lamp staat 90 cm vóór een bolle lens. Deze lens maakt een scherpe afbeelding van de gloeispiraal op een scherm. Het scherm staat 180 cm achter de lens.

a.

Bereken de lineaire vergroting van de gloeispiraal.

b.

De gloeispiraal is 11 cm lang. Bereken hoe groot de gloeispiraal op het scherm is.

Opgave 2

Op 4 cm afstand van een bolle lens bevindt zich een voorwerp. Op 12 cm achter de lens wordt een reëel beeld gevormd. Het voorwerp is 4 cm hoog. Bereken hoe hoog het beeld is.

Opgave 3

Een man met een lengte van 1,80 m wordt gefotografeerd met een digitale camera. Op de lichtgevoelige chip (beeldsensor met veel fotocellen) is de man slechts 2,2 cm lang.

a.

Bereken de lineaire vergroting van de man.

b.

De afstand tussen de cameralens en de chip bedraagt 3,8 cm. Bereken de afstand tussen de man en de cameralens.

Opgave 4

Een 3,5 cm lange spin wordt geprojecteerd op een scherm. Op het scherm heeft de spin een lengte van 95 cm. De afstand tussen de spin en de (projectie-)lens bedraagt 15 cm.

a.

Bereken de afstand tussen de lens en het scherm.

b.

Bereken de brandpuntsafstand van de lens.

Opgave 5

Op 10 cm voor een bolle lens wordt een voorwerp geplaatst. Deze lens geeft een virtueel beeld op 40 cm voor de lens.

a.

Bereken de lineaire vergroting.

b.

Het (virtuele) beeld is 15 cm lang. Bereken hoe groot het voorwerp is.

c.

Bereken de brandpuntsafstand van de lens.

Opgave 6

Een vlam met een hoogte van 8 cm wordt met behulp van een bolle lens op de muur geprojecteerd. De brandpuntsafstand van de lens is 15 cm. De afstand tussen de lens en de muur bedraagt 25 cm. Bereken de hoogte van de geprojecteerde vlam.

Opgave 7

Ter informatie eerst het volgende.

Gedurende de tweede helft van de twintigste eeuw waren zogenoemde 'dia's' heel populair. Een dia was een doorzichtig plaatje van 24 mm bij 36 mm dat je heel groot op een scherm kon laten zien door er fel licht doorheen te laten schijnen. Een projectielens, die zich tussen de dia en het scherm bevond, vormde van de dia een beeld op het scherm.

Nu de opgave.

Marieke heeft een dia van de Brandaris (de vuurtoren op Terschelling). De afstand van de dia tot de projectielens bedraagt 18 cm. De brandpuntsafstand van de lens bedraagt 16 cm. Op het projectiescherm heeft de Brandaris een hoogte van 23 cm. Bereken hoe groot de Brandaris op de dia is.

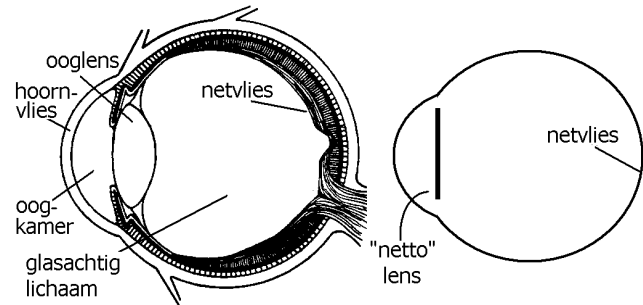
Opgave 8

Carel kijkt door zijn brillenglas van -5 dpt naar een munt met een diameter van 3 cm. De afstand tussen het brillenglas en de munt is 12 cm. Bereken de diameter van het beeld van de munt.

§ 8 Menselijk oog; bij- en verziendheid

Het menselijk oog

Het menselijk oog is hiernaast in de linker figuur weergegeven. Lichtstralen komen aan de linker kant het oog binnen. Na het doorlopen van het hoornvlies, oogkamer, ooglens en glasachtig lichaam vallen de lichtstralen op het netvlies. Op het netvlies bevinden zich lichtgevoelige cellen die de opgevangen lichtsignalen doorgeven aan de hersenen.



Hoornvlies, oogkamer en ooglens gedragen zich samen als een "lens" met een sterk convergerende werking. Op deze manier kunnen voorwerpen die zich voor het oog bevinden scherp worden afgebeeld op het netvlies. In de rechter figuur is het oog sterk vereenvoudigd weergegeven. Hierin stelt de verticale streep een lens voor met dezelfde convergerende werking als het hoornvlies, oogkamer en ooglens.

Accommoderen, nabijheidspunt en nabijheidsafstand

Als je naar iemand kijkt die naar je toeloopt, past je oog zich aan om deze persoon scherp te blijven zien. Dat gebeurt door de ooglens boller te maken. Hiermee neemt de convergerende werking van je oog toe. Het boller maken van de ooglens heet accommoderen. Dit is mogelijk met de kringspier langs de rand van de ooglens. Deze trekt zich dan samen.

Bij een ONgeaccommodeerd oog is de kringspier ontspannen en is de ooglens op zijn "platst" (minst bol). Een voorwerp dat zeer ver weg staat (eigenlijk: "in het oneindige") wordt dan scherp op het netvlies afgebeeld (bij een goed werkend oog!).

Bij een MAXIMAAL geaccommodeerd oog is de ooglens op zijn bolst. Een voorwerp vlak voor het oog (bijv. op 25 cm afstand) wordt dan scherp op het netvlies afgebeeld. Het oog is niet in staat om langdurig maximaal te accommoderen.

Nabijheidspunt en vertepunt

Om aan te geven waar een voorwerp zich moet bevinden om door een persoon scherp te kunnen worden gezien, gebruikt men de begrippen nabijheidspunt en vertepunt. Simpel gezegd moet het voorwerp zich tussen deze twee punten bevinden.

Het nabijheidspunt en het vertepunt worden als volgt gedefinieerd.

Het **nabijheidspunt** N van het oog is het voorwerpspunt (op de hoofdas van de ooglens) dat door het maximaal geaccommodeerde oog scherp op het netvlies wordt afgebeeld. Het is het dichtstbijzijnde punt voor je oog dat je nog net scherp kunt zien.

Het **vertepunt** V van een oog is het voorwerpspunt (op de hoofdas van de ooglenzen) dat door het ONgeaccommodeerde oog scherp op het netvlies wordt afgebeeld.

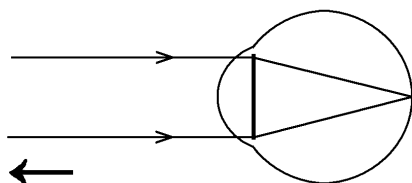
Hierna worden de plaatsen van V en N besproken voor achtereenvolgens:

1) een goed werkend oog, 2) een bijziend oog 3) een verziend oog.

Goed werkend oog

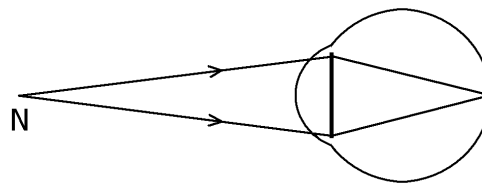
Voor een goed werkend oog ligt het vertepunt V op een oneindig grote afstand voor het oog. Het nabijheidspunt N ligt op ongeveer 25 cm voor het oog. Zie de onderstaande figuren.

Ongeaccommodeerd goed oog



V ligt oneindig ver weg.

Maximaal geaccommodeerd goed oog



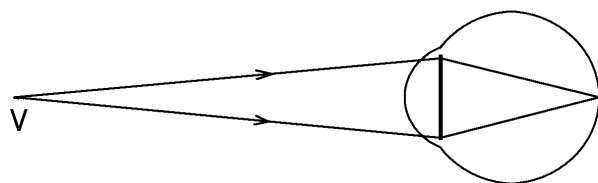
N ligt bijv. 25 cm voor het oog.

Bij jonge mensen ligt N meestal op een kleinere afstand voor het oog omdat hun ooglenzen elastischer zijn en dus boller gemaakt kunnen worden.

Bijziend oog

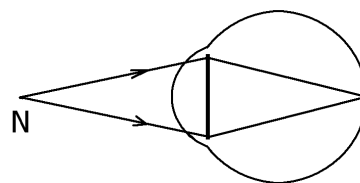
De ooglenzen van een bijziend persoon is van nature te bol, en dus te sterk. Hierdoor zijn het vertepunt en het nabijheidspunt naar de ooglenzen toe geschoven (uitgaande van hun plaatsen bij een goed werkend oog). Zie de onderstaande figuren.

Ongeaccommodeerd bijziend oog



V ligt bijv. 45 cm voor het oog.

Maximaal geaccommodeerd bijziend oog



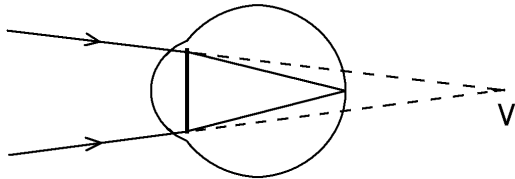
N ligt bijv. 15 cm voor het oog.

Iemand die bijziend is, kan dichtbij wel goed zien en verder af niet. Hij heeft een bril met holle lenzen nodig. Het teveel aan convergerend vermogen wordt hierdoor opgeheven.

Verziend oog

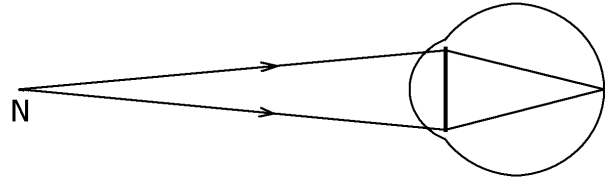
De oog lens van een verziend persoon is van nature te plat, en dus te zwak. Hierdoor zijn het vertepunt en het nabijheidspunt van de oog lens af geschoven (uitgaande van hun plaatsen bij een goed werkend oog). Zie de onderstaande figuren. Voor het vertepunt betekent dit dat het achter de oog lens komt te liggen. We spreken dan van een virtueel voorwerpspunt. Als het oog niet geaccommodeerd is, moet de lichtbundel namelijk al convergeren om in één punt samen te komen op het netvlies.

Ongeaccommodeerd verziend oog



V ligt bijv. 30 cm achter het oog.

Maximaal geaccommodeerd verziend oog



N ligt bijv. 45 cm voor het oog.

Iemand die verziend is, kan veraf wel goed zien (maar zijn ogen moeten hier wel voor accommoderen) en dichtbij niet. Hij heeft een bril met bolle lenzen nodig. Het tekort aan convergerend vermogen wordt hierdoor aangevuld.

Opgaven bij § 8

Opgave 1

a.

Heeft een bijziend persoon een bril met bolle of holle lenzen nodig?

b.

Kan een bijziend persoon (zonder bril) iets in de verte scherp zien?

c.

Kon een jager uit de oertijd beter verziend of bijziend zijn?

Opgave 2

Klaas heeft een bril met holle lenzen. Hij wil een postzegel van heel dichtbij bekijken. Heeft hij zijn bril dan nodig of niet? Licht je antwoord toe.

Opgave 3

Kees en Iris hebben allebei een oogafwijking.

Van Kees ligt het vertepunt 50 cm voor het oog en het nabijheidspunt 10 cm voor het oog.

Van Iris ligt het vertepunt 35 cm achter het oog en het nabijheidspunt 70 cm voor het oog.

Welke oogafwijkingen hebben Kees en Iris? Kies hierbij uit: bijziendheid en verziendheid.

Opgave 4

Bij het ouder worden (vaak al na het 40-ste levensjaar) neemt de elasticiteit van de ooglens af. Daardoor kan het oog niet meer zo goed accommoderen.

a.

Zal hierdoor de plaats van het nabijheidspunt veranderen? Zo ja, hoe?

b.

Zal hierdoor de plaats van het vertepunt veranderen? Zo ja, hoe?

c.

Een oude man heeft een leesbril nodig voor dichtbij. Bevat deze bolle of holle lenzen?

Opgave 5

Maria heeft een oog waarvan het vertepunt 60 cm voor het oog ligt. Het nabijheidspunt ligt op 30 cm voor het oog. Welke combinatie van oogafwijkingen heeft Maria? Kies hierbij uit bijziendheid, verziendheid en ouderdomskwaal.

Opgave 6

Vul de volgende open plekken in.

Kees heeft goede ogen en ziet zijn vriendin Petra in de verte. Hij loopt naar haar toe en blijft naar haar kijken. De afstand tussen Kees en Petra wordt steeds kleiner. Toch blijft Kees Petra steeds scherp zien. Dit komt omdat de ooglenzen van Kees steeds _____ worden. Dit is mogelijk dankzij de oogspiertjes. Naarmate de afstand kleiner wordt zullen deze zich _____. Dit gehele proces heet met een moeilijk woord _____.

Nu heeft Kees Petra bereikt en geeft haar een kus. Nu kan hij haar niet meer scherp zien (ook al zou hij dat willen) omdat de afstand tussen beiden te klein is. Blijkbaar bevindt Petra zich tussen Kees en zijn _____.

Opeens kijkt Kees naar een ster (het is avond). Omdat de afstand zo groot is zullen de lichtstralen van de ster die op de ogen van Kees vallen _____ zijn. Kees ziet de ster scherp zonder te accommoderen. Blijkbaar ligt zijn vertepunt _____.

Nadat Kees langdurig naar de ster heeft gekeken kijkt hij nu langdurig naar een mier op 20 cm afstand. De ogen van Kees worden vermoeider als hij naar de _____ kijkt omdat zijn oogspiertjes dan meer _____ moeten zijn.

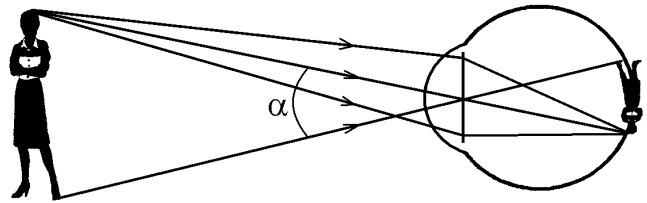
Piet is bijziend. Dit betekent dat hij voorwerpen van dichtbij _____ kan zien en voorwerpen die ver weg staan _____ kan zien. Zijn ooglenzen zijn van nature te _____, waardoor de lichtstralen die op zijn oog vallen te _____ worden gebroken. Piet heeft een bril met _____ lenzen nodig.

Jan is verziend. Dit betekent dat hij voorwerpen van dichtbij _____ kan zien en voorwerpen die ver weg staan _____ kan zien. Zijn ooglenzen zijn van nature te _____, waardoor de lichtstralen die op zijn oog vallen te _____ worden gebroken. Jan heeft een bril met _____ lenzen nodig.

§ 9 Hoekvergroting bij een loep

Gezichtshoek

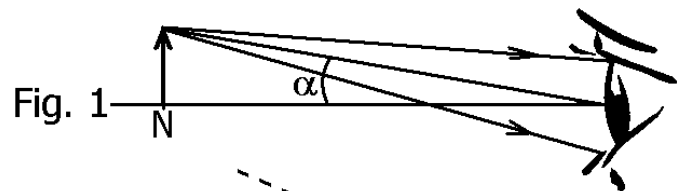
In de figuur hiernaast wordt een vrouw op het netvlies afgebeeld. De gezichtshoek is de hoek die je krijgt als je vanuit het oog (om precies te zijn het midden van de ooglens) rechte lijnen trekt naar de beide uiteinden van de vrouw. In de figuur is de gezichtshoek met α aangegeven.



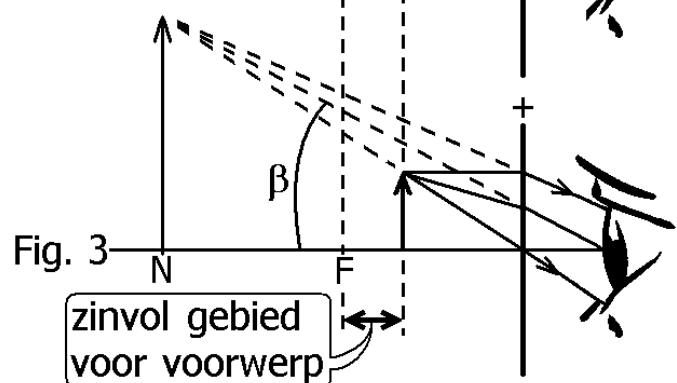
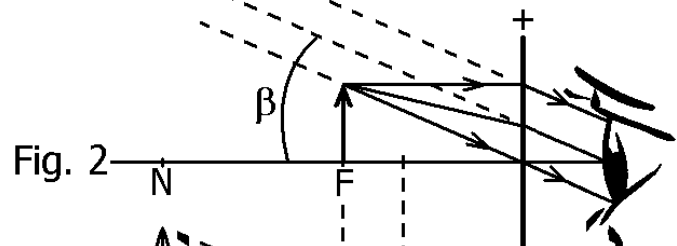
De gezichtshoek bepaalt hoe groot je de vrouw ziet. Preciezer: de gezichtshoek bepaalt hoe groot het beeld op het netvlies komt. Als de afstand tussen de vrouw en het oog bijvoorbeeld kleiner wordt, neemt de gezichtshoek toe en zie je de vrouw ook groter.

Gebruik van een loep

In figuur 1 hiernaast bevindt het voorwerp zich in het nabijheidspunt van het oog. Zie de letter N in de figuur. Het oog accommodeert nu maximaal. Ook is de gezichtshoek α maximaal (zolang je geen loep gebruikt).



Door gebruik te maken van een loep (ander woord: vergrootglas), kun je het voorwerp nog dichterbij je oog brengen dan het nabijheidspunt N. Dit is logisch want een loep is een bolle lens. Die geeft het oog als het ware extra convergerende kracht. Met een loep neemt de gezichtshoek daarom toe. Dit is te zien in de figuren 2 en 3 waarin de gezichtshoek met β is aangegeven.



Als je een voorwerp met een loep wilt bekijken, moet het voorwerp binnen een bepaald gebied liggen. Dit gebied is in de figuren met verticale stippellijnen aangegeven. In figuur 2 bevindt het voorwerp zich op de linker grens van het gebied. Het oog hoeft dan niet te accommoderen om het beeld scherp te zien. In figuur 3 bevindt het voorwerp zich op de rechter grens van het gebied. Het oog moet dan juist maximaal accommoderen.

In figuur 2 bevindt het voorwerp zich in het zogenoemde 'brandvlak' van de loep. Het brandvlak is het vlak door het brandpunt en loodrecht op de hoofdas. Zie de letter F in de figuur. De lichtstralen bereiken dan als evenwijdige bundels je oog waarbij elke bundel bij een punt van het voorwerp hoort. Als je door de loep naar het voorwerp kijkt, lijkt het daarom alsof dit voorwerp zeer ver weg staat en ook erg groot is (eigenlijk oneindig ver weg en oneindig groot).

Als het voorwerp vanuit het brandvlak naar de lens wordt geschoven, verschuift het beeld vanuit het oneindige ook naar de lens toe. Het oog moet dan wél accommoderen voor een scherp beeld. In figuur 3 bevindt het voorwerp zich zo dicht mogelijk bij de lens. Het beeld zit dan in het nabijheidspunt van de waarnemer. Zie de letter N in de figuur. Je oog wordt gauw moe. De hoekvergroting is echter wel op zijn grootst.

Hoekvergroting bij een loep

Door gebruikmaking van een loep neemt de gezichtshoek toe. We kunnen daarom spreken over de hoekvergroting. Als:

α = maximale gezichtshoek met het blote oog (dus bij maximaal accommoderen);

β = gezichtshoek met een loep;

dan geldt voor de hoekvergroting M:

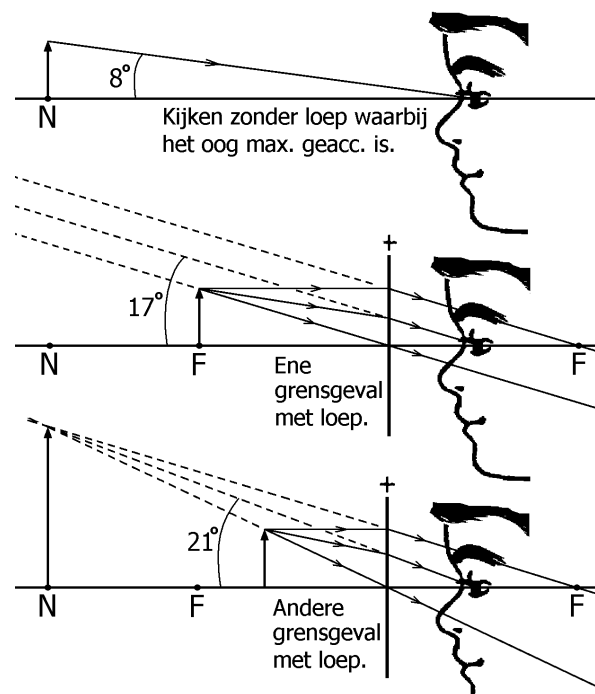
$$M = \frac{\beta}{\alpha}$$

Voorbeeld

In de bovenste figuur hiernaast kijkt iemand zonder loep naar een voorwerp. Het voorwerp staat in het nabijheidspunt (N). De gezichtshoek is 8° .

In de middelste figuur wordt een loep gebruikt. Het voorwerp staat in het brandvlak van de loep. Het oog hoeft dan niet te accommoderen. De gezichtshoek is 17° . De hoekvergroting is dan:

$$M = \frac{\beta}{\alpha} = \frac{17^\circ}{8^\circ} = 2,1$$



In de onderste figuur is het voorwerp zo ver mogelijk naar de lens geschoven zodanig dat het oog maximaal moet accommoderen. De gezichtshoek is 21° . De hoekvergroting is dan:

$$M = \frac{\beta}{\alpha} = \frac{21^\circ}{8^\circ} = 2,6$$

Hoekvergroting berekenen

Als het voorwerp zich in het brandvlak van de loep bevindt (zoals in de bovenstaande figuur 2), kunnen we de hoekvergroting eenvoudig berekenen door twee afstanden op elkaar te delen namelijk de nabijheidsafstand n van het oog en de brandpuntsafstand f van de loep. Onder de nabijheidsafstand verstaan we de afstand van het nabijheidspunt N tot het oog. Voor de hoekvergroting geldt dan:

$$M = \frac{n}{f}$$

De formule geldt eigenlijk alleen bij kleine gezichtshoeken. Echter, in de praktijk hoeft je met dit laatste geen rekening te houden. Stel bijvoorbeeld dat iemand met een nabijheidsafstand van 30 cm een mier wil bekijken. Als hij een loep gebruikt met een brandpuntsafstand van 10 cm, dan geldt voor de hoekvergroting:

$$M = \frac{n}{f} = \frac{30 \text{ cm}}{10 \text{ cm}} = 3,0 .$$

Bij het aangeven van de vergroting van een loep, bijvoorbeeld door een fabrikant, wordt vaak uitgegaan van een nabijheidsafstand van 25 cm.

Opgaven bij § 9

Opgave 1

a.

Wat wordt bedoeld met accommoderen?

b.

Wat verstaan we onder het nabijheidspunt?

c.

Wat verstaan we onder de gezichtshoek waaronder je een voorwerp ziet?

Opgave 2

Worden je ogen moe van niet accommoderen of juist van maximaal accommoderen?

Opgave 3

Kees kijkt naar een auto die steeds dichterbij komt.

Worden zijn ooglenzen steeds boller of steeds minder bol?

Wordt de gezichtshoek waaronder hij de auto ziet steeds groter of juist kleiner?

Opgave 4

Schrijf de twee formules voor de hoekvergroting van een loep op.

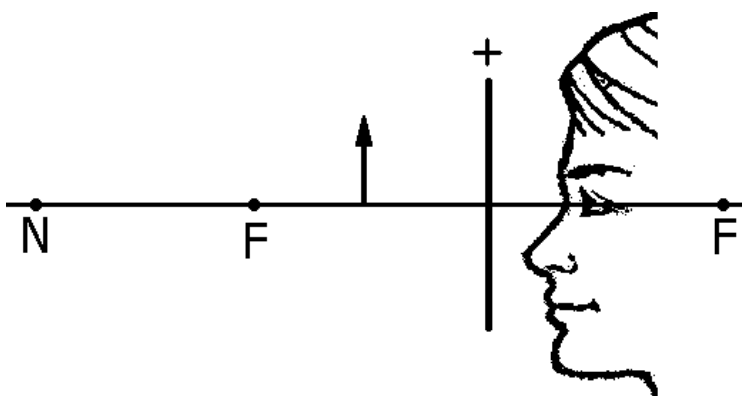
Een van de formules is niet altijd geldig. Aan welke voorwaarde moet voldaan zijn?

Opgave 5

Anthonie van Leeuwenhoek zag als eerste mens ter wereld bacteriën. Daarvoor gebruikte hij een zeer sterk lensje dat hij zelf had geslepen. De brandpuntsafstand hiervan was ongeveer 1 mm. Bereken de hoekvergroting die hij hiermee bereikte als zijn nabijheidsafstand 25 cm bedroeg.

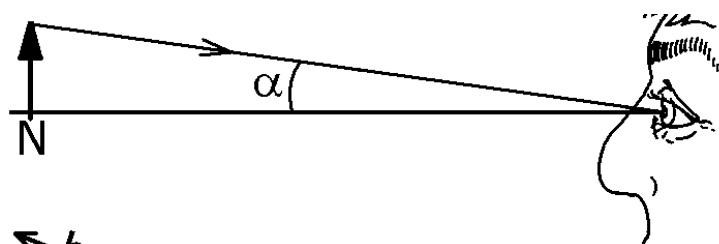
Opgave 6

In de figuur hiernaast bekijkt Jan een postzegel door een loep. De brandpunten van de loep zijn met F aangegeven. Het nabijheidspunt van Jan is met N aangegeven. Construeer eerst het beeld van de postzegel. Leg daarna uit waarom Jan de postzegel niet scherp kan zien.

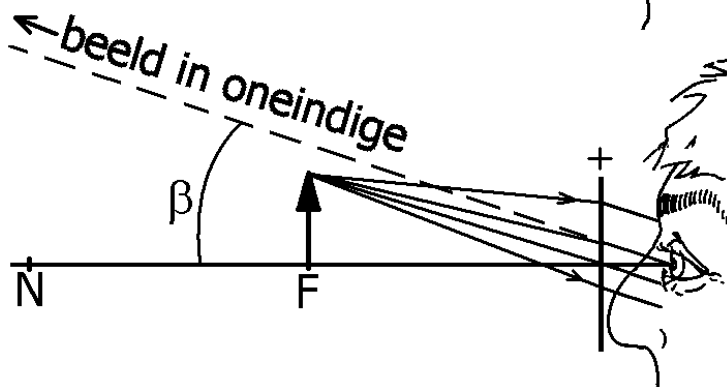


Opgave 7

Jaap bekijkt een kleine foto. In de bovenste figuur hiernaast gebruikt hij geen loep. De foto bevindt zich in zijn nabijheidspunt N. Bepaal de gezichtshoek α waaronder Jaap de foto zonder loep ziet.



In de onderste figuur kijkt Jaap door een loep naar de foto. Deze bevindt zich in het brandpunt F van de loep. Bepaal de gezichtshoek β waaronder Jaap de foto met loep ziet.



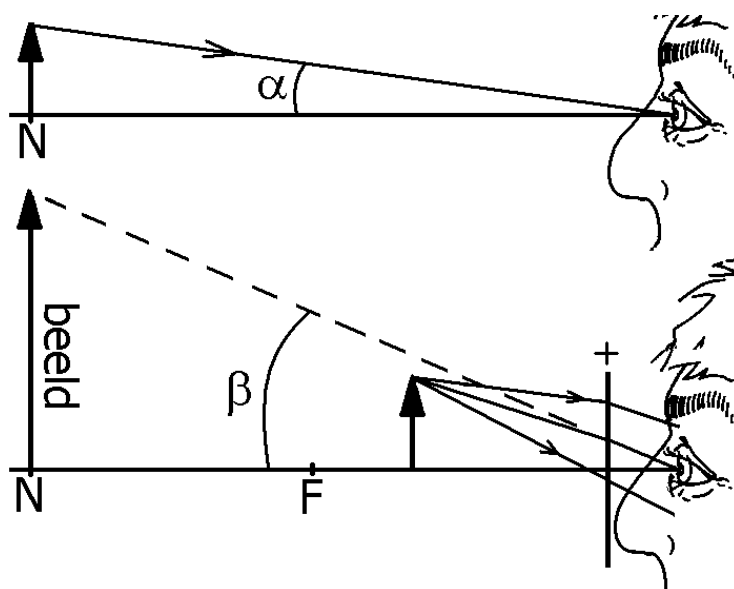
Bereken de hoekvergroting van de loep door de twee gezichtshoeken op elkaar te delen.

Bereken de hoekvergroting op een tweede manier namelijk door twee afstanden op te meten en deze op elkaar te delen.

In de tweede figuur staat de foto in het brandvlak van de loep. Welk voordeel heeft dit?

Opgave 8

Maarten bekijkt een kleine foto. In de bovenste figuur hiernaast gebruikt hij geen loep. De foto bevindt zich in zijn nabijheidspunt N. Bepaal de gezichtshoek α waaronder Maarten de foto zonder loep ziet.



In de onderste figuur kijkt Maarten door een loep naar de foto. De foto bevindt zich zo dicht mogelijk bij de loep. Dat wil zeggen dat het beeld zich in het nabijheidspunt van Maarten bevindt.

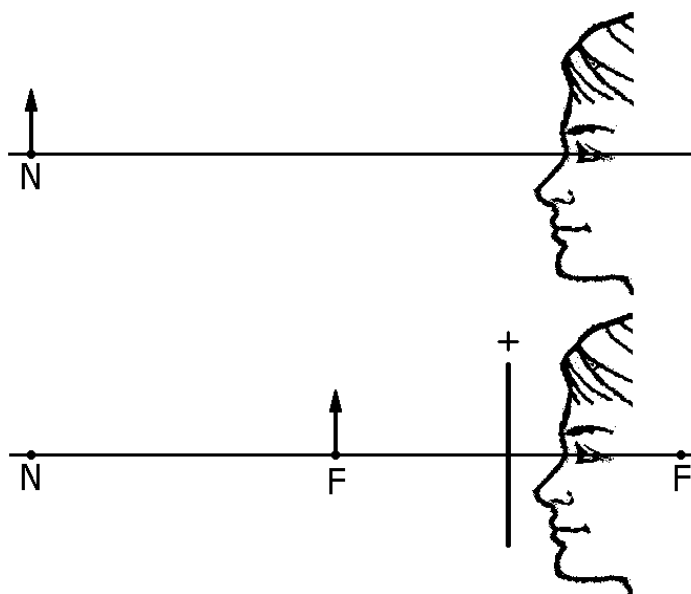
Bepaal de gezichtshoek β waaronder Maarten de foto met loep ziet.

Bereken de hoekvergroting van de loep door de twee gezichtshoeken op elkaar te delen.

In de onderste figuur staat het beeld van de foto in het nabijheidspunt van Maarten. Welk nadeel kleeft daaraan?

Opgave 9

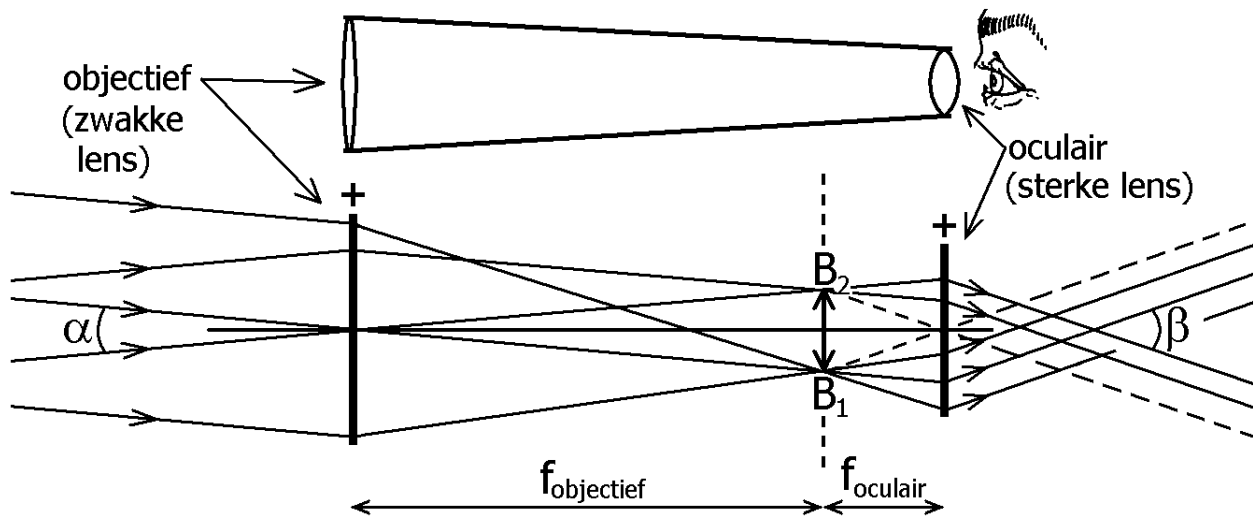
Ben bekijkt een postzegel. In de bovenste figuur hiernaast gebruikt hij geen loep. De postzegel bevindt zich hierbij in Bens nabijheidspunt. In de onderste figuur kijkt Ben door een loep naar de postzegel. De postzegel bevindt zich hierbij in het brandpunt van de loep. Bepaal de hoekvergroting van de loep door twee gezichtshoeken op elkaar te delen. Maak daarvoor eerst de benodigde constructies in de figuren hiernaast.



§ 10 Telescoop en microscoop

Telescoop

Met een telescoop vergroot je de gezichtshoek van voorwerpen die ver weg staan. Een telescoop bestaat (in zijn eenvoudigste vorm) uit twee bolle lenzen namelijk het objectief en het oculair. Zie de onderstaande figuur.



In grote lijnen werkt een telescoop als volgt. Het licht van een ver voorwerp valt op het objectief. Dit licht wordt door het objectief gebroken. Zodoende ontstaat er van het voorwerp een reëel beeld B_1B_2 . Maar dit beeld is tegelijkertijd het voorwerp voor het oculair. De waarnemer gebruikt het oculair als loep om er beeld B_1B_2 mee te bekijken.

Over het objectief kan het volgende worden opgemerkt. Omdat het voorwerp zo ver weg ligt vallen de lichtstralen als evenwijdige bundels op de lens. Daarom ligt het beeld B_1B_2 in het brandvlak van het objectief. Het objectief van een telescoop is altijd een zwakke lens. Want hoe verder het brandvlak van het objectief af ligt, des te groter het beeld B_1B_2 is.

Over het oculair geldt het volgende. Meestal ligt het beeld B_1B_2 in het brandvlak van het oculair (net als in het brandvlak van het objectief!). Dat betekent dat de lichtstralen als evenwijdige bundels uit het oculair komen. Dit heeft het voordeel dat je oog niet hoeft te accommoderen om het beeld scherp te zien. Het oculair van een telescoop is altijd een sterke lens. Want hoe dichter het brandvlak bij het oculair ligt, des te groter zijn hoekvergroting is.

Opmerkelijk is dat het reële beeld B_1B_2 bij een telescoop niet op een scherm wordt geprojecteerd. De stralen kunnen gewoon doorlopen. Het beeld wordt als het ware gezien door voorbij het beeld tegen het licht in te kijken.

Zonder telescoop is de gezichtshoek waaronder je het voorwerp ziet α . Met telescoop is dit β . Deze hoeken zijn in de figuur weergegeven. Voor de hoekvergroting van de telescoop geldt dan:

$$M = \frac{\beta}{\alpha}$$

De hoekvergroting is groter naarmate het objectief zwakker is (dus een grotere brandpuntsafstand heeft) en het oculair sterker is. Voor de hoekvergroting van een telescoop geldt dan ook de volgende formule.

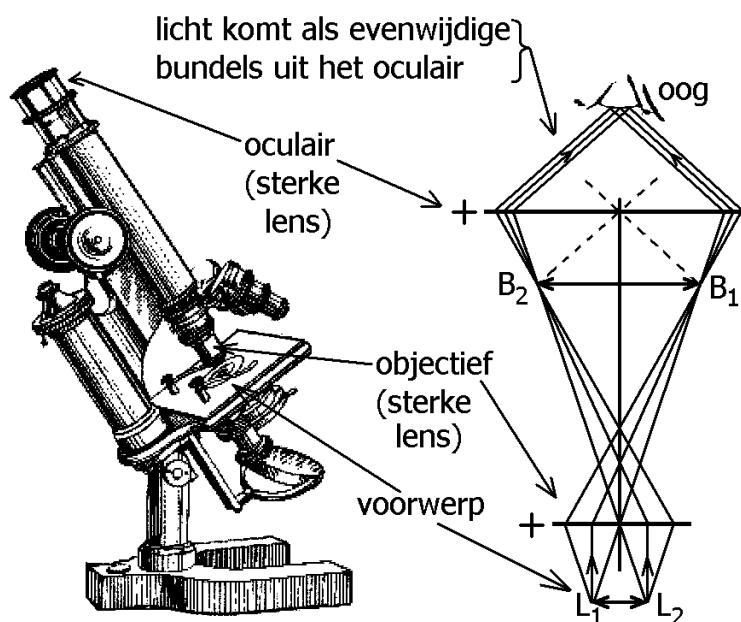
$$M = \frac{f_{\text{objectief}}}{f_{\text{oculair}}}$$

Microscop

Met een microscoop vergroot je de gezichtshoek van voorwerpen die klein zijn. Een microscoop bestaat net als bij een telescoop uit twee bolle lenzen namelijk het objectief en het oculair. Zie de onderstaande figuur.

Het objectief vormt van het te bekijken voorwerp L_1L_2 het reële beeld B_1B_2 . Net als bij een telescoop ziet de waarnemer dit beeld door in het oculair te kijken. Het oculair wordt dus weer als loep gebruikt.

Bij een microscoop ligt het beeld B_1B_2 in het brandvlak van het oculair (net als bij een telescoop). Dit heeft weer als voordeel dat je oog niet hoeft te accommoderen om het beeld scherp te zien.



De hoekvergroting van de microscoop geeft aan hoeveel keer je het voorwerp groter ziet met microscoop dan zonder microscoop. Deze vergroting wordt in twee stappen opgebouwd. De eerste stap wordt door het objectief geleverd. Hierbij is sprake van een lineaire vergroting omdat het objectief een reël beeld vormt. De tweede stap wordt geleverd door het oculair. Hierbij is er sprake van een hoekvergroting zoals we die bij een loep hebben leren kennen. De totale hoekvergroting is gelijk aan de lineaire vergroting door het objectief keer de hoekvergroting door het oculair.

Voor de hoekvergroting van de microscoop geldt dus:

$$M_{microscoop} = N_{objectief} \cdot M_{oculair}$$

Stel bijvoorbeeld dat de lineaire vergroting door het objectief 10 en de hoekvergroting door het oculair 5 is. De totale hoekvergroting van de microscoop is dan $10 \times 5 = 50$.

Slotopmerkingen

1)

De hierboven behandelde telescoop en microscoop keren het beeld om (onder wordt boven en links wordt rechts). In sommige gevallen is dat onwenselijk, bijvoorbeeld als je met een telescoop naar aardse voorwerpen kijkt. Dit probleem kan worden opgelost door geen bolle lens maar een holle lens als oculair te nemen. Het beeld staat dan rechtop. Nadeel is wel dat het blikveld hierdoor verkleind wordt. Je kijkt als het ware door een rietje.

2)

Vaak bestaan een objectief en een oculair niet uit één lens maar uit een lenzenstelsel. Het doel hiervan is om afbeeldingsfouten te verkleinen.

Opgaven bij § 10

Opgave 1

Jan heeft een eenvoudige telescoop gekocht. De telescoop bevat slechts twee bolle lenzen (en dus geen lenzenstelsels). Het objectief heeft een brandpuntsafstand van 40 cm. Het oculair heeft een brandpuntsafstand van 4 cm. Jan bekijkt met zijn telescoop de planeet Mars. Het oog hoeft niet te accommoderen om het beeld scherp te zien.

a.

Bereken de afstand tussen het objectief en het oculair.

b.

Bereken de hoekvergroting van de telescoop.

Opgave 2

Mark heeft een microscoop gekocht. Hiermee bekijkt hij een mier van 1 mm lengte. Het objectief vormt van de mier een reëel beeld dat 6 mm lang.

a.

Bereken de lineaire vergroting van het objectief.

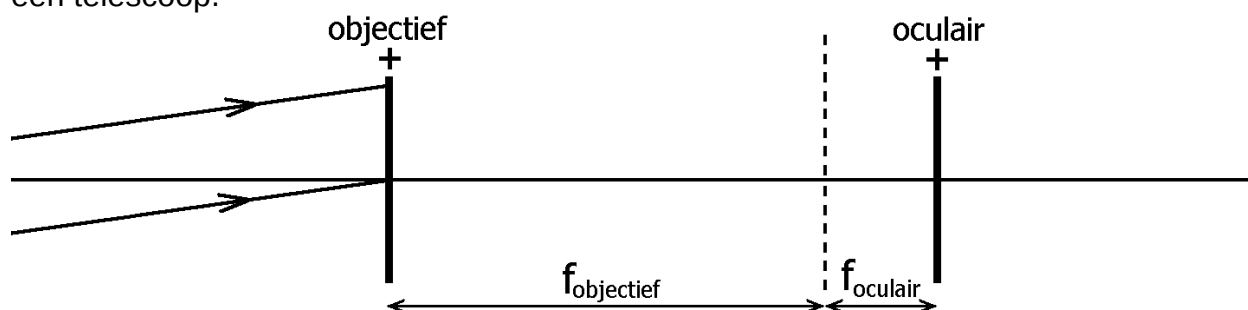
b.

De hoekvergroting van het oculair bedraagt 8.

Bereken de totale hoekvergroting van de microscoop.

Opgave 3

In de onderstaande figuur vallen er twee evenwijdige lichtstralen op het objectief van een telescoop.



a.

Construeer het verdere verloop van de lichtstralen.

b.

Bepaal de hoekvergroting van de telescoop door de twee gezichtshoeken op elkaar te delen.

c.

Bepaal de hoekvergroting van de telescoop door twee afstanden in de figuur op elkaar te delen.

Opgave 4

In de figuur hiernaast bevindt een voorwerp L_1L_2 zich in het nabijheidspunt van het oog. Toch kijkt het oog niet rechtstreeks naar het voorwerp maar met behulp van twee lenzen die samen een microscoop vormen. Het objectief vormt van L_1L_2 een beeld B_1B_2 . Dit beeld bevindt zich in het brandvlak van het oculair.

a.

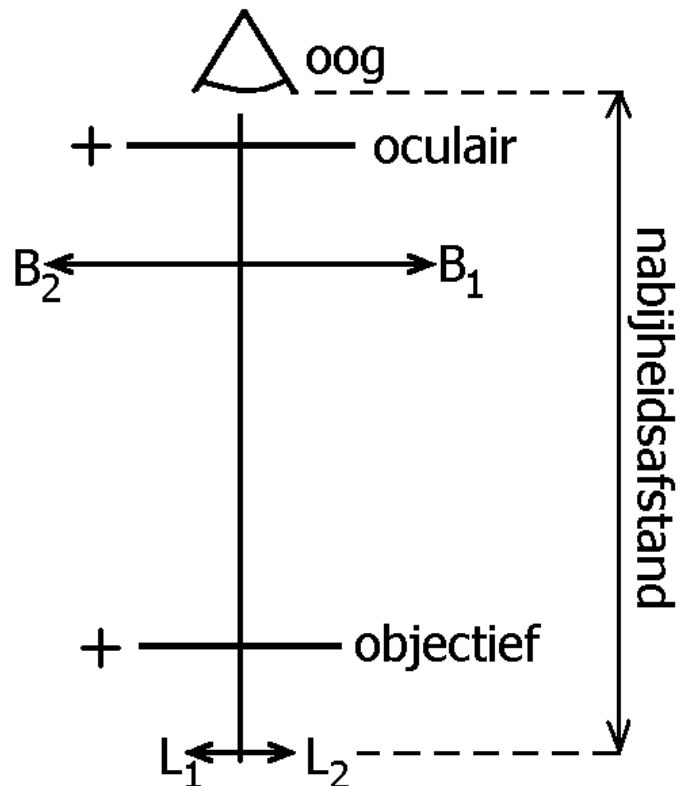
Bepaal de lineaire vergroting van het objectief door in de figuur de verhouding van twee afstanden te bepalen.

b.

Bepaal de hoekvergroting van het oculair door in de figuur de verhouding van twee afstanden te bepalen.

c.

Bereken uit de voorgaande antwoorden de hoekvergroting van de microscoop.



Opgave 5

Een bacterie is te klein om met het blote oog te zien. Dit is met een getallenvoorbeeld makkelijk te begrijpen. Stel dat een bacterie met een doorsnede van 1 micrometer (= een duizendste van een millimeter) zich 20 cm voor je oog bevindt. Dan is de gezichtshoek waaronder je de bacterie ziet 0,00029 graad. Deze hoek is voor je oog veel te klein. Om de contouren van een bolvormig voorwerp duidelijk te zien moet de gezichtshoek namelijk toch al gauw 0,1 graad zijn. Een microscoop biedt echter uitkomst. Bereken de benodigde hoekvergroting van de microscoop om hiermee de bovengenoemde bacterie te kunnen zien.

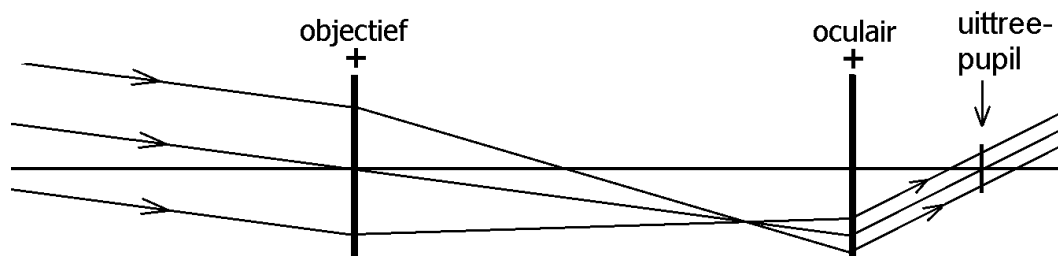
Opgave 6

Saturnus heeft een diameter van 120 megameter (mega = miljoen) en bevindt zich 1,4 terameter van de zon (tera = miljoen keer miljoen). Daaruit volgt dat de gezichtshoek waaronder je Saturnus ziet ongeveer 0,005 graad is. Dit is te weinig om kenmerken te zien zoals de ringen rond Saturnus. Hiervoor moet de gezichtshoek minstens 0,1 graad zijn. Met een telescoop kun je de ringen van Saturnus wel zien. Welke hoekvergroting moet de telescoop dan minstens hebben?

§ 11 Intree- en uittreepupil bij telescoop en microscoop

Intree- en uittreepupil bij een telescoop

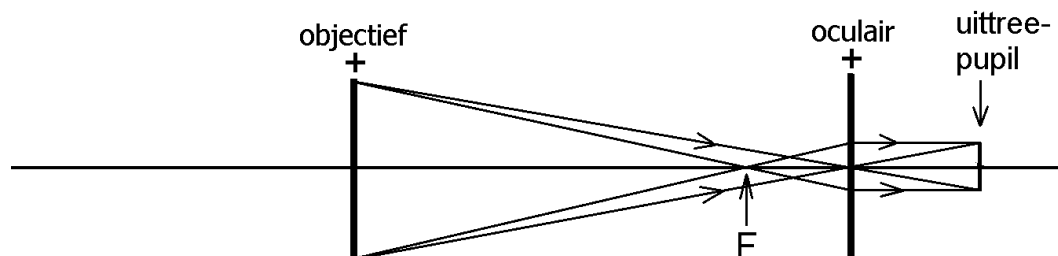
In de onderstaande figuur zijn het objectief en het oculair van een telescoop als verticale strepen weergegeven. Zoals we weten, komen de lichtstralen als evenwijdige lichtbundels de telescoop binnen. Elke evenwijdige bundel is afkomstig van een punt van het te bestuderen object (aannemende dat dit object ver weg ligt). De lichtstralen verlaten de telescoop ook als evenwijdige lichtbundels.



De rand van het objectief vormt de begrenzing van de invallende lichtbundels. We noemen het objectief de intreepupil van de telescoop. Voorbij het oculair bevindt zich de uittreepupil van de telescoop. De uittreepupil is de denkbeeldige ronde schijf waar al het licht dat uit het oculair komt, doorheen gaat. Alle evenwijdige lichtbundels gaan dus door zowel de intreepupil als ook door de uittreepupil.

Uittreepupil

We kunnen de uittreepupil omschrijven als het door het oculair gevormde beeld van de intreepupil. Elk punt van de uittreepupil correspondeert dus met een punt van de intreepupil. Invallende lichtstralen die door een willekeurig punt van de intreepupil gaan, gaan voorbij het oculair door het bijbehorende punt van de uittreepupil. In de onderstaande figuur is de plaats en de grootte van de uittreepupil door constructie bepaald. De rand van de uittreepupil is het door het oculair gevormde beeld van de rand van de intreepupil.



In de praktijk kunnen we van een telescoop de plaats en de grootte van de uittreepupil gemakkelijk vastleggen door achter het oculair een stukje transparant tekenpapier te houden. Als we de kijker richten op een helder stuk van de hemel, zien we op het transparante papier een heldere vlek met een vage rand. Door het papier wat naar voren of naar achteren te bewegen, krijgen we op de plaats van de uittreepupil een scherp omrande lichtvlek.

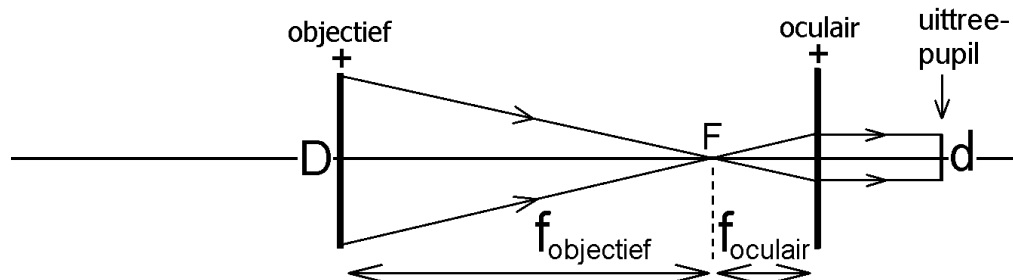
Bij optimaal gebruik van de telescoop moet het oog zich op de plaats van de uittreepupil bevinden. Wanneer de uittreepupil groter is dan de menselijke pupil, is het gemakkelijk om een beeld waar te nemen. Als de uittreepupil kleiner is, wordt het veel lastiger om een goed beeld te krijgen. Bij goede ogen varieert de pupilgrootte bij mensen tussen de 2 en 7 mm. Bij een nachtkijker is de oogpupil (meestal) groot en moet de uittreepupil bijvoorbeeld een diameter van minstens 7 mm hebben. De diameter van de uittreepupil mag niet onnodig groot zijn omdat het beeld dan onnodig lichtzwak wordt.

De grootte van de uittreepupil berekenen

Met de volgende regel is de grootte van de uittreepupil snel te berekenen.

De diameter van de uittreepupil is gelijk aan de diameter van de intreepupil gedeeld door de hoekvergroting van de telescoop.

Deze regel volgt uit de volgende figuur. Hierin is de intreepupil met de hoofdletter D aangegeven en de diameter van de uittreepupil met de kleine letter d.



Omdat de twee driehoeken in de figuur gelijkvormig zijn, geldt voor de hoekvergroting M:

$$M = \frac{D}{d} = \frac{f_{\text{objectief}}}{f_{\text{oculair}}}$$

Getallenvoorbeeld

Een telescoop heeft een objectief met een diameter van 8,0 cm en een brandpuntsafstand van 40 cm. Het oculair heeft een brandpuntsafstand van 2,0 cm. De diameter d van de uittreepupil kan als volgt uitgerekend worden.

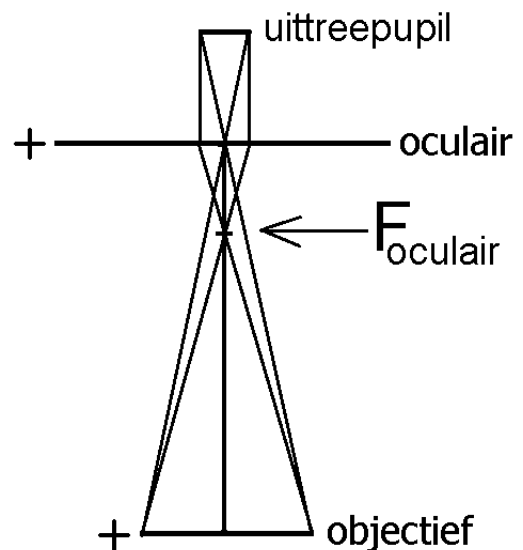
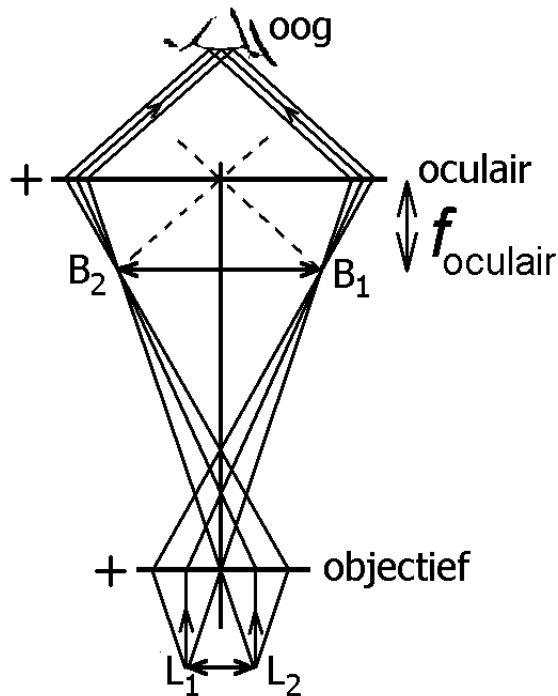
$$M = \frac{f_{\text{objectief}}}{f_{\text{oculair}}} = \frac{40 \text{ cm}}{2,0 \text{ cm}} = 20$$

$$d = \frac{D}{M} = \frac{8,0 \text{ cm}}{20} = 4,0 \text{ mm}$$

Uittreepupil van een microscoop

In de onderstaande linker figuur is de stralengang door een microscoop getekend. Het objectief vormt van het te observeren object L_1L_2 het reële beeld B_1B_2 . Dit beeld bevindt zich in het brandvlak van het oculair. Daarom verlaat het licht de microscoop in evenwijdige bundels.

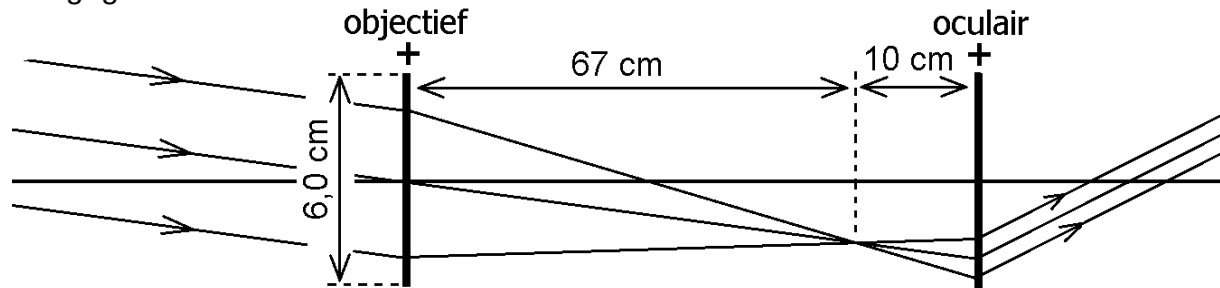
Net als bij de telescoop kunnen we bij een microscoop over een intreepupil en uittreepupil spreken. De intreepupil is weer het objectief en de uittreepupil is het door het oculair gevormde beeld van de intreepupil. Zie de onderstaande rechter figuur. Bij het correct gebruik van de microscoop bevindt de oogpupil zich op de plaats van de uittreepupil.



Opgaven bij § 11

Opgave 1

In de onderstaande figuur is de stralengang door een telescoop getekend. De figuur is niet op schaal (dus vertekend). De van belang zijnde afmetingen zijn in de figuur aangegeven.

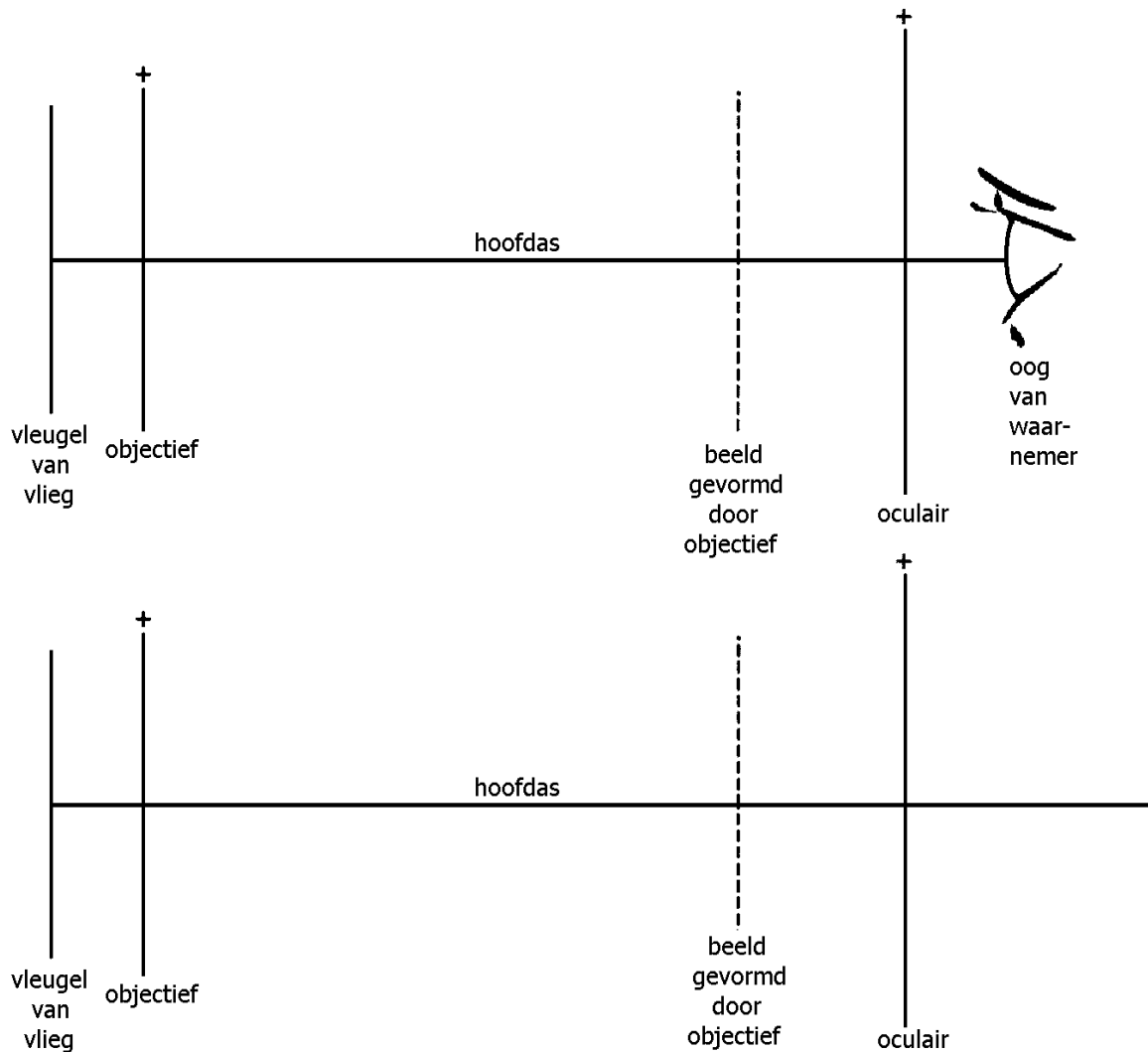


- Bereken de hoekvergroting van de telescoop.
- Bereken de diameter van de uitteerpupil door gebruik te maken van de hoekvergroting.
- Bereken de afstand van de uitteerpupil tot het oculair.
- Controleer je antwoord op vraag b door gebruik te maken van de lineaire vergroting.

Opgave 2

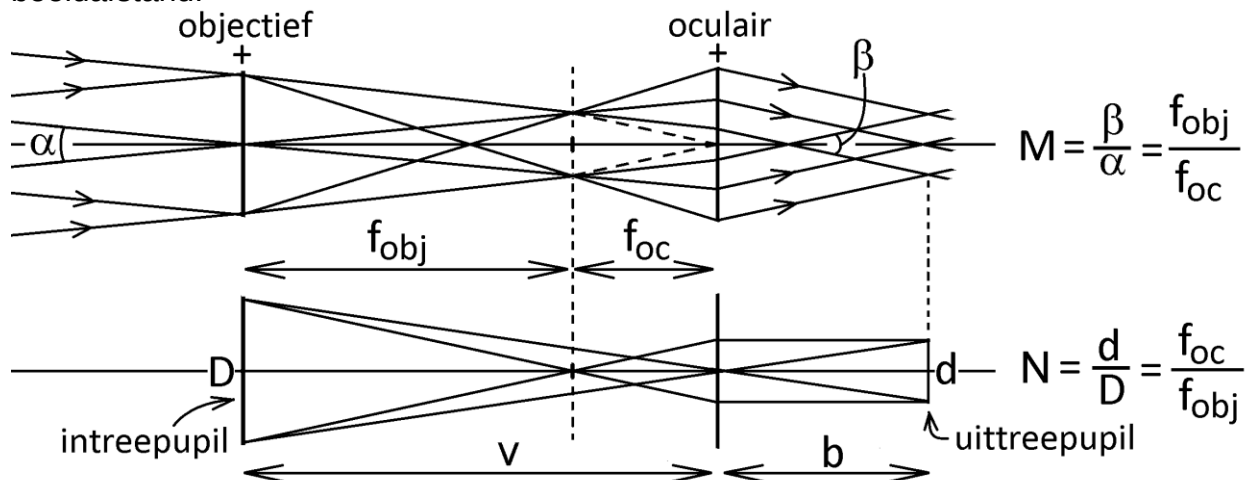
In de onderstaande figuren bestudeert iemand de vleugel van een vlieg met een microscoop. Het beeld van de vleugel dat door het objectief gevormd wordt, bevindt zich in het brandvlak van het oculair.

Laat in de onderste figuur met behulp van een constructie zien of het oog zich op de juiste plaats bevindt.



Opgave 3

In de onderstaande bovenste figuur is de stralengang door een telescoop getekend. In de onderste figuur is de constructie van de uitteerpupil getekend. Hierin zijn D en d de diameters van de intree- en uitteerpupil. Verder zijn v en b de voorwerps- en beeldafstand.



a.

Druk v uit in f_{obj} en in f_{oc} .

Gebruik de lenzenformule om $1/b$ uit te drukken in f_{obj} en in f_{oc} .

Laat vervolgens zien dat geldt:

$$\frac{v}{b} = \frac{f_{obj}}{f_{oc}}$$

b.

Leg met de formules in vraag a kort uit dat geldt: $N = 1 / M$.