

Leerdoelen

Wat je moet kennen en kunnen aan het eind van blok 19

1 Je moet weten welke twee soorten terugkaatsing er zijn en wanneer deze optreden. [P1, T1, W1]

2 Je moet weten welke regel er geldt bij spiegelende terugkaatsing. [P1, T1, W1]

3 Je moet weten wat we bedoelen met de volgende begrippen: de normaal; de hoek van inval (i); de hoek van terugkaatsing (t). [P1, T1, W1]

4 Je moet met behulp van de terugkaatsingswet het spiegelbeeld van een voorwerp kunnen tekenen. [P1, T1, W1]

5 Je moet weten wat we bedoelen met de voorwerpsafstand (v) en de beeldafstand (b). [P1, T1, W1]

6 Je moet weten welke drie soorten lichtbundels er zijn en deze kunnen tekenen. [P1, T1, W1]

7 Je moet weten welke twee soorten lenzen er zijn en hoe een evenwijdige lichtbundel door deze lenzen wordt gebroken. [P1, T1, W1]

8 Je moet met drie bijzondere lichtstralen het beeld kunnen tekenen dat door een bolle lens wordt gevormd. [P1, T1, W1]

9 Je moet weten wat we bedoelen met een reëel en een virtueel beeld en aan kunnen geven wanneer deze ontstaan. [T2, W2]

10 Je moet de lenzenformule kennen en deze kunnen gebruiken. [T2, W2]

11 Je moet weten wat we bedoelen met de vergroting en deze kunnen berekenen. [T2, W2]

12 Je moet met de lenzenformule en de vergroting de plaats en de grootte van het beeld kunnen berekenen, dat wordt gevormd door een bolle lens. [T2, W2]

13 Je moet weten wat we bedoelen met de sterkte van een lens. Je moet de eenheid van sterkte kennen en de sterkte kunnen berekenen uit de brandpuntsafstand en omgekeerd. [T2, W2]

14 Je moet weten wat we bedoelen met: een lichtstraal wordt gebroken bij de overgang van de ene stof naar de andere. [P3, T3, W3]

15 Je moet weten wat we bedoelen met de volgende begrippen: grensvlak; invallende straal; gebroken straal; hoek van breking (r). [P3, T3, W3]

16 Je moet weten wat we bedoelen met:

a stof 1 is optisch dichtter dan stof 2;

b stof 1 is optisch ijler dan stof 2. [T3, W3]

17 Je moet weten hoe een lichtstraal wordt gebroken bij de overgang van:

a een optisch ijle naar een optisch dichte stof;

b een optisch dichte naar een optisch ijle stof. [T3, W3]

18 Je moet weten wat we bedoelen met:

a breking naar de normaal toe;

b breking van de normaal af. [T3, W3]

19 Je moet weten hoe een lichtstraal wordt gebroken die loodrecht invalt. [P3, T3, W3]

20 Je moet de verschuiving tussen de invallende en de uit-tredende straal bij een dikke ruit kunnen verklaren.

[P4, T4, W4]

21 Je moet met een tekening kunnen laten zien dat de verschuiving afhangt van hoek van inval en de dikte van de ruit. [P4, T4, W4]

22 Je moet weten uit welke kleuren wit licht bestaat. [T4, W4]

23 Je moet weten wat we bedoelen met kleurschifting en je moet het optreden van kleurschifting kunnen verklaren. [P4, T4, W4]

Blok 19

Licht gebroken

Basisstof

Inleiding 76

T1 spiegels en lenzen 76

W1 78

T2 Beeldvorming door een lens 79

W2 82

T3 Lichtbreking 83

W3 85

T4 Optisch bedrog en kleurschifting 86

W4 88

Herhaalstof

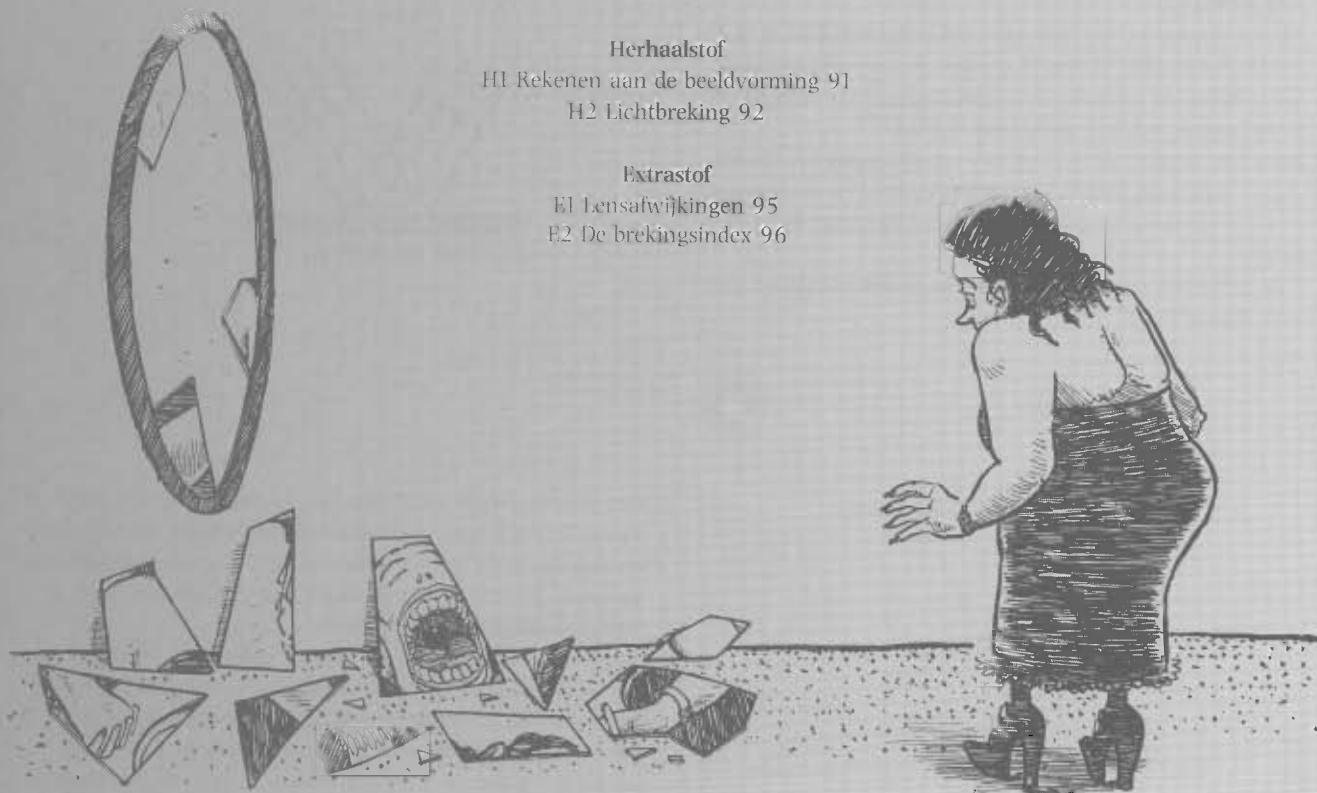
H1 Rekenen aan de beeldvorming 91

H2 Lichtbreking 92

Extrastof

E1 Lensafwijkingen 95

E2 De brekingsindex 96



Inleiding

In dit blok herhalen we een deel van de leerstof die in eerdere blokken over optica aan de orde is geweest. Nieuw is dat we onderzoeken hoe lichtstralen precies door een lens worden gebroken. We gaan na wat er gebeurt als een lichtstraal overgaat van de ene stof naar een andere. Het verschijnsel dat dan optreedt, noemen we lichtbreking.

In T1 bespreken we de kenmerken en eigenschappen van spiegels en lenzen. In T2 kijken we naar de toepassing van spiegels en lenzen in een spiegelreflexcamera. We bespreken ook de lenzenformule en het begrip vergroting. In T3 komt het verschijnsel lichtbreking aan de orde. In T4 bekijken we de bijzondere breking door een perspex blok en een prisma.

Blok 19

T1

Spiegels en lenzen

Hieronder bespreken we de kenmerken en eigenschappen van spiegels en lenzen. Dit is een herhaling van de leerstof uit eerdere blokken over optica: spiegels vind je in blok 2 (Optica) en lenzen in blok 11 (Lichtbeelden).

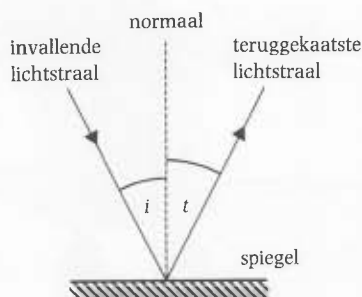
De vlakke spiegel

Licht dat op een voorwerp valt, kan door het voorwerp worden teruggekaatst. In de meeste gevallen wordt het licht in verschillende richtingen teruggekaatst. We noemen dit diffuse terugkaatsing.

Als het oppervlak van het voorwerp volkomen glad is, worden de lichtstralen op een bijzondere manier teruggekaatst. We noemen dit spiegelende terugkaatsing. Voor spiegelende terugkaatsing geldt de terugkaatsingswet:

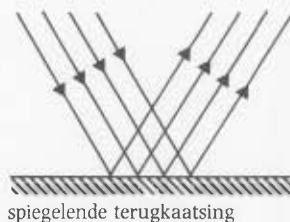
- hoek van inval ($\angle i$) = hoek van terugkaatsing ($\angle t$); met:
 - $\angle i$ = de hoek tussen de invallende straal en de normaal;
 - $\angle t$ = de hoek tussen de normaal en de teruggekaatste straal;
 - de normaal = (elke) lijn loodrecht op het spiegelend oppervlak (figuur 1).

fig. 1
De terugkaatsingswet:
 $\angle i = \angle t$.



Een vlakke spiegel kaatst alle lichtstralen van een evenwijdige bundel weer als een evenwijdige bundel terug (figuur 2).

fig. 2



Een vlakke spiegel vormt van een voorwerp ook een beeld. In figuur 3 is een kaars getekend voor een vlakke spiegel. Lichtstralen die op de spiegel vallen, worden door de spiegel teruggekaatst. Je kunt de teruggekaatste stralen tekenen door de terugkaatsingswet toe te passen.

Als je in de spiegel kijkt, zie je in de spiegel het beeld van de kaars. De lichtstralen die in je oog vallen, lijken uit een punt te komen dat achter de spiegel ligt: de plaats van het beeld. We kunnen de plaats van het beeld vinden door de teruggekaatste stralen te verlengen achter de spiegel. Het snijpunt van de verlengde stralen is de plaats van het beeld.

Bij de beeldvorming door een vlakke spiegel geldt:

voorwerpsafstand (v) = beeldafstand (b); met:

- voorwerpsafstand (v) = de afstand van het voorwerp tot de spiegel;
- beeldafstand (b) = de afstand van de spiegel tot het beeld.

Als je in een opgave over een vlakke spiegel de plaats van het beeld moet bepalen met de terugkaatsingswet, mag je niet te werk gaan volgens het principe dat de beeldafstand gelijk is aan de voorwerpsafstand: je moet dan de terugkaatsingswet gebruiken. Als in de opgave staat dat je het beeld moet tekenen, mag je 'beeldafstand = voorwerpsafstand' wél gebruiken.

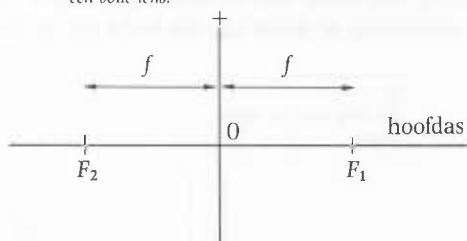
De lens

Een bundel evenwijdige lichtstralen wordt door een lens gebroken. De bundel die uit de lens komt, is niet meer evenwijdig. De aard van de bundel die uit de lens komt, hangt af van de soort lens die wordt gebruikt. Er zijn twee soorten lenzen: bolle en holle lenzen.

Een bolle (of positieve) lens maakt van een evenwijdige bundel een *convergerende* bundel. De lichtstralen lopen na breking naar elkaar toe. De bolle lens heeft een convergerende werking (figuur 4).

Een bolle lens wordt schematisch weergegeven door een rechte lijn met een plusteken (+) erboven. De lijn die loodrecht op de lens staat en door het midden van de lens gaat, noemen we de hoofdas. Het midden van de lens noemen we het optisch middelpunt O (figuur 5).

fig. 5
Een schematische tekening van een bolle lens.



Bij een bolle lens gaan lichtstralen die evenwijdig aan de hoofdas lopen, na breking door één punt: het brandpunt F (van *focus*, wat brandpunt betekent).

De lens heeft twee brandpunten aan weerszijden van de lens. Deze liggen op een even grote afstand van het optisch middelpunt van de lens (figuur 5), óók bij asymmetrische lenzen. De

fig. 3

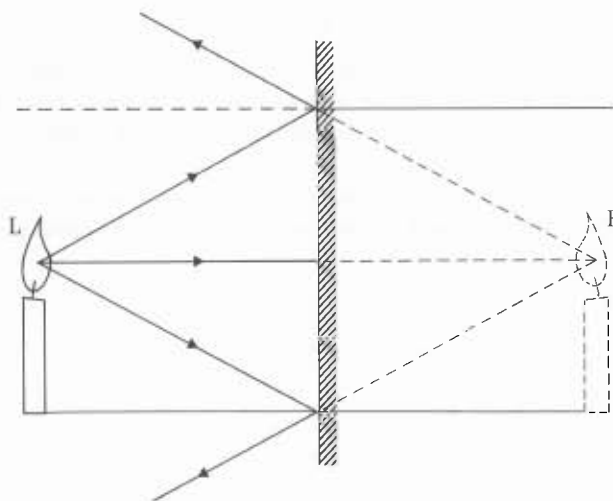
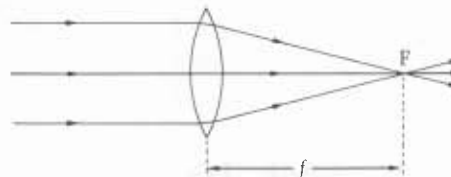


fig. 4
Een bolle lens maakt van een evenwijdige bundel een convergerende bundel.

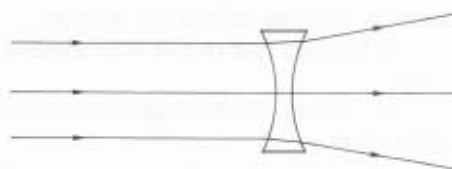


afstand van het optisch middelpunt van de lens tot een brandpunt noemen we de brandpuntsafstand (f).

Een holle (of negatieve) lens maakt van een evenwijdige bundel een *divergerende* bundel. De lichtstralen lopen na breking uit elkaar. De holle lens heeft een divergerende werking (figuur 6).

Een holle lens wordt schematisch weergegeven door een rechte lijn met een minteken (–) erboven.

fig. 6
Een holle lens maakt van een evenwijdige bundel een divergerende bundel.

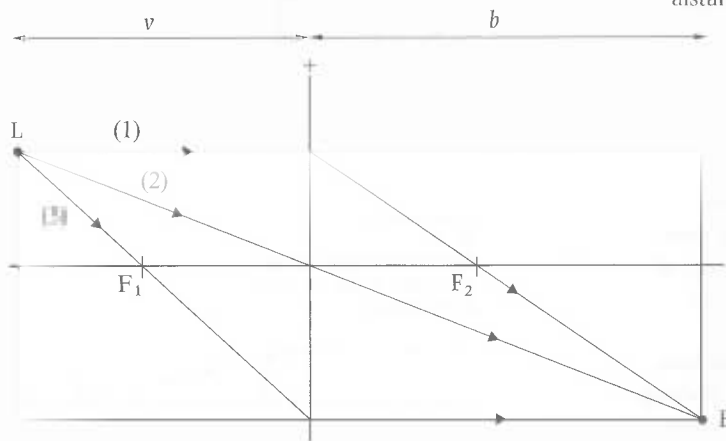


De constructie van het beeld bij een bolle lens

Een lens vormt van elk punt van een voorwerp een beeldpunt. De lichtstralen uit één punt van het voorwerp komen na breking door de lens in één punt samen. Alle beeldpunten samen vormen het beeld van het voorwerp.

We kunnen de plaats van het beeld van een voorwerp bepalen door gebruik te maken van drie bijzondere lichtstralen (zie figuur 7):

fig. 7
De drie bijzondere lichtstralen.



- een lichtstraal (1) evenwijdig aan de hoofdas gaat na breking door een brandpunt;
- een lichtstraal (2) voor het optisch middelpunt van de lens gaat rechtdoor;
- een lichtstraal (3) door een brandpunt loopt na breking evenwijdig aan de hoofdas verder.

Net als bij de spiegel noemen we de afstand van het voorwerp tot de lens de voorwerpsafstand (v) en de afstand van de lens tot het beeld de beeldafstand (b). (Zie ook figuur 7.)

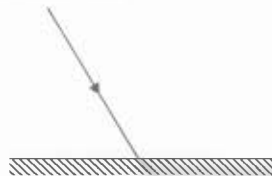
In het algemeen geldt voor de beeldvorming bij de lens de regel: als de voorwerpsafstand groter wordt, wordt de beeldafstand kleiner.

Blok 19

W1

- 1 Een lichtstraal valt op een vlakke spiegel (figuur 8).

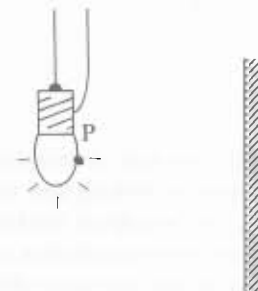
fig. 8
Een lichtstraal valt op een vlakke spiegel.



- Meet in de tekening de hoek van inval op.
- Neem de tekening over en geef in de tekening de hoek van inval aan.
- Teken met behulp van de terugkaatsingswet de teruggekaatste straal.
- Geef in de tekening de hoek van terugkaatsing aan.

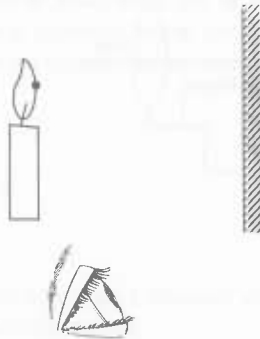
- 2 Een lamp hangt voor een vlakke spiegel (figuur 9). Neem de tekening zorgvuldig over en bepaal met behulp van de terugkaatsingswet de plaats van het beeld van de lamp.

fig. 9
Een lamp voor een vlakke spiegel.



3 Een brandende kaars staat voor een vlakke spiegel (figuur 10).

fig. 10
Een brandende kaars voor een vlakke spiegel.



- Neem de tekening zorgvuldig over en teken het beeld van de brandende kaars.
- Teken de lichtbundel die door de spiegel wordt teruggekaatst.
- Waaruit blijkt dat op de plaats van het getekende oog de kaarsvlam niet zichtbaar is?

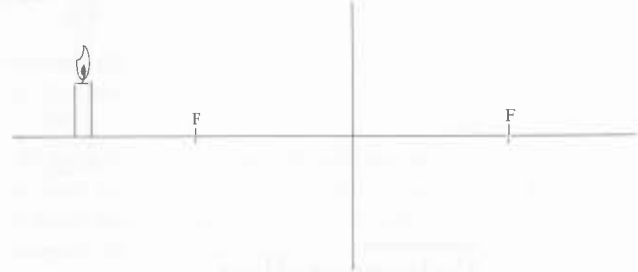
- Maak een schematische tekening van een holle lens met een brandpuntsafstand van 2,5 cm.
- Laat in de tekening zien hoe een bundel evenwijdige lichtstralen door de lens wordt gebroken.

5 Een lampje hangt in het brandpunt van een bolle lens. De brandpuntsafstand van de lens is 3,0 cm. De diameter van de lens is 2,0 cm.

- Teken de randen van de lichtbundel die door de lens gaat. Achter de lens staat een scherm op 5,0 cm van de lens.
- Geef in de tekening aan welk deel van het scherm niet wordt verlicht.

6 Een bolle lens vormt een beeld van een brandende kaars (figuur 11). De diameter van de lens is 4,0 cm.

fig. 11
Een brandende kaars voor een bolle lens.



- Neem de tekening zorgvuldig over en bepaal met behulp van de drie bijzondere lichtstralen het beeld van de kaars.
- Meet in de tekening de voorwerpsafstand en de beeldafstand.
- Teken de randen van de lichtbundel die door de lens wordt doorgelaten.
- Hoe groot wordt de beeldafstand als de kaars héél ver van de lens af staat?

7 Een lens met een brandpuntsafstand van 2,0 cm vormt een beeld van een kaars. De kaars is 3,0 cm lang en staat 6,0 cm voor de lens op de hoofdas.

Bepaal met behulp van een tekening de plaats van het beeld van de kaars en de grootte van het beeld.

Blok 19

T2 Beeldvorming door een lens

Een type fotocamera dat tegenwoordig veel gebruikt wordt, is de spiegelreflexcamera. Deze camera is zo gebouwd dat er lenzen met verschillende brandpuntsafstanden op passen. Het bijzondere van de camera is dat het beeld dat in de zoeker is te zien, altijd gelijk is aan het beeld dat op de film ontstaat. Daarvoor is een bijzondere constructie ontworpen. Het licht valt door de lens op een spiegel. Via het spiegel wordt het licht teruggekaatst zodat het in de zoeker terecht komt (figuur 12). Tijdens het maken van de foto klapt het spiegel naar boven en komt het licht op de film (figuur 13).

fig. 12
De stralengang door een spiegelreflexcamera tijdens het instellen.

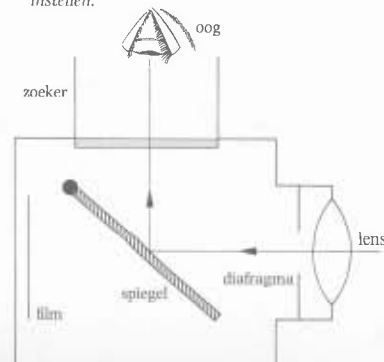
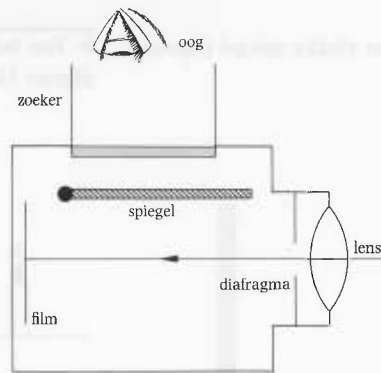


fig. 13

De stralengang door een spiegelreflexcamera tijdens het maken van een foto.



Scherpstellen

Als we een scherpe foto willen maken, moet het beeld dat de lens van een voorwerp maakt precies op de film vallen. Met andere woorden: de beeldafstand moet gelijk zijn aan de afstand tussen de lens en de film. Als de voorwerpsafstand verandert (bijvoorbeeld omdat je de camera richt op een voorwerp dat dichterbij of verder weg staat), verandert ook de beeldafstand. Om het beeld weer precies op de film te laten vallen, moet je de lens dus verplaatsen; de beeldafstand is dan weer gelijk aan de afstand tussen de lens en de film. Je verandert die afstand door de scherpstelring op de lens te verdraaien.

Het verband tussen de voorwerpsafstand en de beeldafstand vind je terug in de lenzenformule:

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

Met behulp van deze formule kun je de beeldafstand berekenen als de voorwerpsafstand en de brandpuntsafstand bekend zijn.

Voorbeeld

De standaardlens bij een spiegelreflexcamera heeft een brandpuntsafstand van 5,0 cm. Voor een voorwerp op 50 cm van de camera lens geldt:

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

$$\frac{1}{50} + \frac{1}{b} = \frac{1}{5}$$

$$\frac{1}{b} = 0,2 - 0,02 = 0,18$$

$$b = 5,6 \text{ cm}$$

Voor een voorwerp op 400 cm van de lens geldt:

$$\frac{1}{400} + \frac{1}{b} = \frac{1}{5}$$

$$\frac{1}{b} = 0,2 - 0,0025 = 0,1975$$

$$b = 5,1 \text{ cm.}$$

$$\text{Algemeen: } \frac{1}{b} = \frac{1}{f} - \frac{1}{v}$$

Als v toeneemt, wordt $\frac{1}{v}$ kleiner en $\left(\frac{1}{f} - \frac{1}{v}\right)$ groter. Dus als v toeneemt wordt $\frac{1}{b}$ groter en daarmee b kleiner!

Als v héél groot is wordt $\frac{1}{v}$ verwaarloosbaar klein, dus geldt:

$\frac{1}{b} = \frac{1}{f} \Rightarrow b = f$. Dit is de kleinste afstand tussen de lens en de film.

Vergroting

Als we een voorwerp afbeelden met een lens, bepaalt de voorwerpsafstand niet alleen de *plaats* maar ook de *grootte* van het beeld. De verhouding tussen de lengte van het beeld en de lengte van het voorwerp noemen we de vergroting (N):

$$N = \frac{\text{lengte beeld}}{\text{lengte voorwerp}}$$

Voor de vergroting geldt ook:

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

De *modulusstrepen* betekenen: voor b en v absolute waarden invullen (dus zonder plus- of mintekens).

Er ontstaat een vergroot beeld als b groter is dan v ; N is dan groter dan 1.

Er ontstaat een verkleind beeld als b kleiner is dan v ; N is dan kleiner dan 1.

Voorwerp en beeld zijn even groot als $b = v$; dus N is dan gelijk aan 1.

Een camera maakt van het voorwerp een verkleind beeld op de film (N is kleiner dan 1). Een diaprojector maakt van een dia een vergroot beeld op een scherm (N is groter dan 1).

Voorbeeld

Als we een cameralens met een brandpuntsafstand van 5,0 cm gebruiken en de voorwerpsafstand is 50 cm, vinden we voor de vergroting:

$$N = \frac{b}{v} = \frac{5,6}{50} = 0,11.$$

Een potlood van 15 cm wordt op de film dus:

$$0,11 \cdot 15 = 1,7 \text{ cm.}$$

Bij een voorwerpsafstand van 400 cm vinden we voor de vergroting:

$$N = \frac{5,1}{400} = 0,013.$$

Iemand van 180 cm lengte wordt op de film dus:

$$0,013 \cdot 180 = 2,3 \text{ cm.}$$

Als we een lens gebruiken als loep ontstaat het beeld B aan de kant van de lens waar ook het voorwerp staat (figuur 14). Je moet door de lens kijken om het beeld te kunnen zien. We noemen dit een *virtueel* beeld.

Een virtueel beeld ontstaat als de voorwerpsafstand kleiner is dan de brandpuntsafstand: $v < f$. Met behulp van de lenzenformule vinden we dan een *negatieve* beeldafstand.

Voorbeeld

We gebruiken een lens met een brandpuntsafstand van 3,0 cm als loep. De voorwerpsafstand is 2,0 cm. Met de lenzenformule vinden we voor de beeldafstand:

$$\frac{1}{b} = \frac{1}{3,0} - \frac{1}{2,0}$$

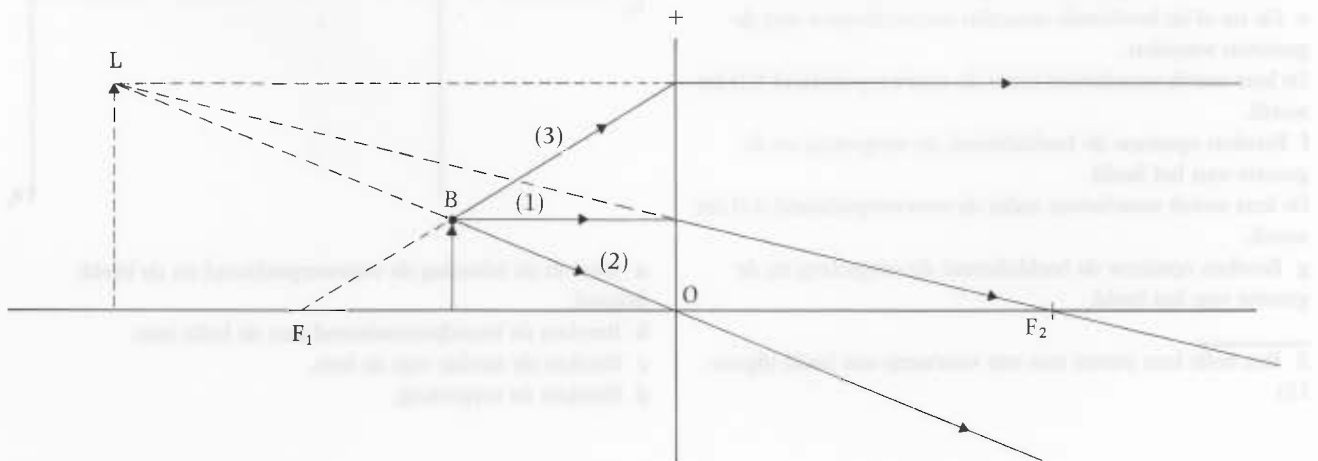
$$\frac{1}{b} = 0,33 - 0,50 = -0,17$$

$$b = \frac{1}{-0,17} = -6,0 \text{ cm.}$$

De vergroting is dan gelijk aan:

$$N = \left| \frac{b}{v} \right| = \frac{6,0}{2,0} = 3.$$

fig. 14
Een lens gebruikt als loep.



De sterkte van een lens

Bij een spiegelreflexcamera kan de lens in een handomdraai worden verwisseld. De standaardlens heeft een brandpuntsafstand van 5,0 cm. Maar er kunnen ook lenzen worden gebruikt met een brandpuntsafstand van bijvoorbeeld 3,5 cm of 20,0 cm. De brandpuntsafstand bepaalt de convergerende werking van de lens: hoe kleiner de brandpuntsafstand, des te groter is de convergerende werking.

In de fotografie wordt de brandpuntsafstand meestal uitgedrukt in mm. Een lens met een brandpuntsafstand van 35 mm is een groothoeklens. Een groothoeklens convergeert sterker dan een standaardlens van 50 mm, zodat er meer op de film komt (maar wel kleiner).

Een lens met een brandpuntsafstand van 200 mm is een telelens. Een telelens convergeert minder sterk dan een standaardlens. Er komt minder op de film (maar wel groter).

Bij brilleglazen wordt meestal niet de brandpuntsafstand van de lens genoemd maar de sterkte S .

De sterkte $S = \frac{1}{f}$ met f in m. De eenheid van sterkte is de dioptrie; symbool D.

Hoe groter de sterkte van een lens, des te groter is de convergerende werking.

Voorbeelden

De sterkte van de standaardlens (met $f = 5,0 \text{ cm} = 0,050 \text{ m}$) is gelijk aan:

$$S = \frac{1}{f} = \frac{1}{0,050} = 20 \text{ D.}$$

Een lens met een brandpuntsafstand van 20,0 cm heeft een sterkte van:

$$S = \frac{1}{0,20} = 5 \text{ D.}$$

Een brilleglas met een sterkte van +1,5 D is een bolle lens met een brandpuntsafstand van:

$$f = \frac{1}{1,5} = 0,67 \text{ m} = 67 \text{ cm.}$$

Blok 19

W2

1 Een bolle lens met een brandpuntsafstand van 3,0 cm vormt een beeld van een lucifer. De lucifer is 2,0 cm lang en staat 6,0 cm voor de lens loodrecht op de hoofdas.

- Teken met behulp van de drie bijzondere lichtstralen het beeld van de lucifer.
- Meet in de tekening de beeldafstand en de grootte van het beeld.
- Bereken met behulp van de lenzenformule de beeldafstand.
- Bereken de vergroting en de grootte van het beeld.
- Ga na of de berekende waarden overeenkomen met de gemeten waarden.

De lens wordt verschoven zodat de voorwerpsafstand 9,0 cm wordt.

f Bereken opnieuw de beeldafstand, de vergroting en de grootte van het beeld.

De lens wordt verschoven zodat de voorwerpsafstand 4,0 cm wordt.

g Bereken opnieuw de beeldafstand, de vergroting en de grootte van het beeld.

2 Een bolle lens vormt van een voorwerp een beeld (figuur 15).

fig. 15
Een voorwerp en een beeld bij een positieve lens.



- Meet in de tekening de voorwerpsafstand en de beeldafstand.
- Bereken de brandpuntsafstand van de bolle lens.
- Bereken de sterkte van de lens.
- Bereken de vergroting.

- 3 Je wilt een foto maken van een boom die 5,0 m hoog is. De lens van de camera die je gebruikt heeft een brandpuntsafstand van 5,0 cm. Je gaat op 10 m van de boom staan.
- Bereken de beeldafstand.
 - Bereken de vergroting.
 - Bereken de grootte van het beeld van de boom op de film.
 - Wat moet je doen om een groter scherp beeld van de boom op de film te krijgen?
- Je gaat op 5,0 m van de boom staan.
- Bereken opnieuw de beeldafstand, de vergroting en de grootte van het beeld.
 - Je vervangt de lens door een lens met een brandpuntsafstand van 3,5 cm.
 - Bereken opnieuw de beeldafstand, de vergroting en de grootte van het beeld.

- 4 De lens van een diaprojector heeft een brandpuntsafstand van 12 cm. Met de projector beelden we een dia van 2,4 bij 3,6 cm af op een scherm. Het scherm staat op 6,0 m van de lens.
- Bereken de sterkte van de lens van de projector.
 - Bereken de afstand tussen de dia en de lens.
 - Bereken de vergroting.
 - Bereken de grootte van het beeld van de dia op het scherm met behulp van het antwoord op vraag c.

- Wat moet je doen om een kleiner scherp beeld van de dia op het scherm te krijgen?
- Controleer je antwoord op vraag d door een berekening met behulp van de lenzenformule.
- Waarom moet de dia omgekeerd in de projector om een rechtopstaand beeld te krijgen?

- 5 We gebruiken een lens met een brandpuntsafstand van 7,0 cm als loep om de krant te lezen. We houden de lens 5,0 cm boven de krant. De letters in de krant zijn 2,0 mm hoog.
- Bereken de sterkte van de lens.
 - Bereken de beeldafstand van de letters.
 - Bereken de vergroting.
 - Bereken de grootte van de letters die je ziet door de loep.

- 6 De sterkte van een brilleglas is 1,25 D. Bereken de brandpuntsafstand van het brilleglas.

- 7 Een 10 cm lange kaars staat 1,2 m van een scherm. Je wilt met een lens een beeld van 20 cm grootte maken op het scherm.
- Bepaal door berekening de plaats van de lens tussen de kaars en het scherm.
 - Bereken de brandpuntsafstand van de lens die je moet gebruiken.

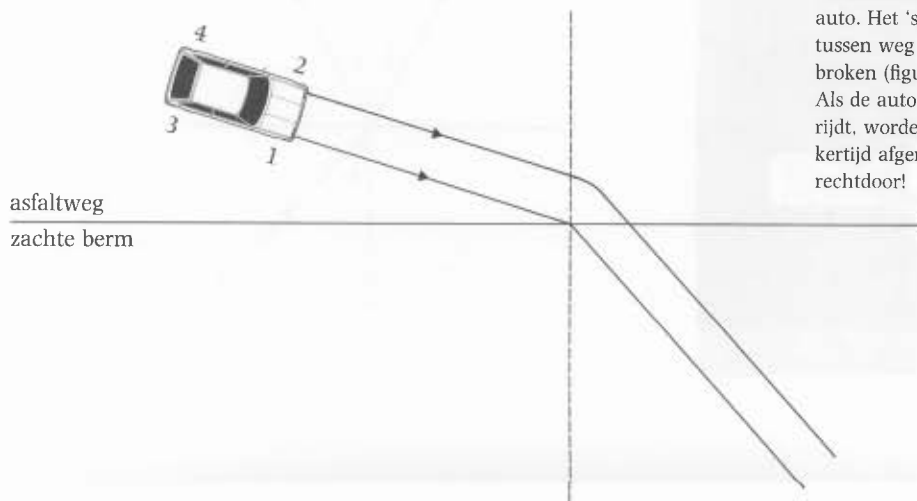
Blok 19

T3

Lichtbreking

Een bundel licht die op een lens valt, wordt door de lens gebroken. De breking vindt plaats aan de grensvlakken tussen de lucht en de lens. Als een lichtstraal de lens in gaat (overgang tussen lucht en perspex), verandert de lichtstraal van richting. Ook als de lichtstraal de lens uitkomt (overgang tussen perspex en lucht), verandert de richting. De richting verandert doordat de lichtsnelheid in beide stoffen (lucht en perspex) niet even groot is.

fig. 16



Stel dat een auto om de een of andere reden van de weg raakt en in een zachte berm terechtkomt. Op het moment dat het rechtersvoorwiel (wiel nr. 1) in de zachte berm terechtkomt, wordt dit afgeremd. Het linkervoorwiel (wiel nr. 2) gaat nog even met de oorspronkelijke snelheid verder totdat ook dit wiel in de zachte berm komt. Dit verschil in snelheid tussen wiel 1 en wiel 2 verandert de bewegingsrichting van de auto. Het 'spoor' wordt bij de grens tussen weg en berm als het ware gebroken (figuur 16).

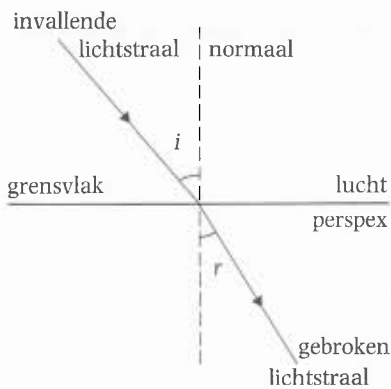
Als de auto recht op de zachte berm af rijdt, worden beide voorwielen tegelijkertijd afgeremd. De auto gaat dan rechtdoor!

Lichtbreking aan een grensvlak

Om het verschijnsel lichtbreking te kunnen beschrijven en tekenen, maken we de volgende afspraken (zie figuur 17):

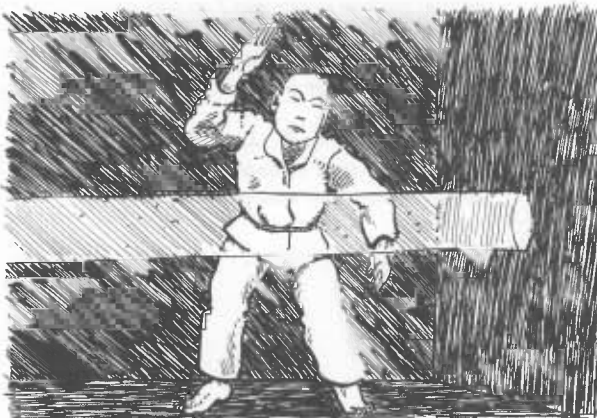
- de normaal is een (gestippelde) lijn loodrecht op het grensvlak tussen twee stoffen;
- de hoek van inval ($\angle i$) is de hoek tussen de invallende straal en de normaal;
- de hoek van breking ($\angle r$) is de hoek tussen de normaal en de gebroken straal (r komt van refractie = breking);
- licht beweegt zich in lucht gemakkelijker voort dan in water (de lichtsnelheid in lucht is groter dan in water). Daarom noemen we lucht *optisch ijler* dan water; omgekeerd is water *optisch dichter* dan lucht.

fig. 17
Breking van een lichtstraal aan het grensvlak tussen twee stoffen.



Glas, perspex en water zijn optisch dichter dan lucht. Voor de lichtsnelheden geldt:

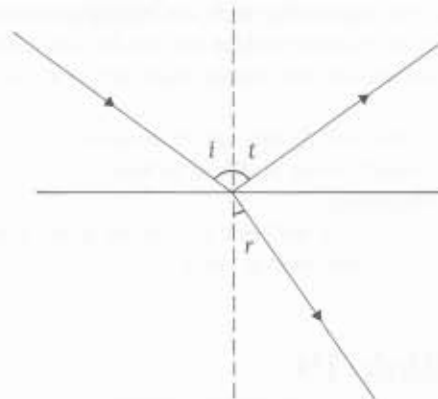
$$\begin{aligned} c_{\text{lucht}} &= 3,0 \cdot 10^8 \text{ m/s;} \\ c_{\text{glas}} &= 2,0 \cdot 10^8 \text{ m/s;} \\ c_{\text{perspex}} &= 2,0 \cdot 10^8 \text{ m/s;} \\ c_{\text{water}} &= 2,3 \cdot 10^8 \text{ m/s.} \end{aligned}$$



Voor lichtbreking gelden de volgende drie regels:

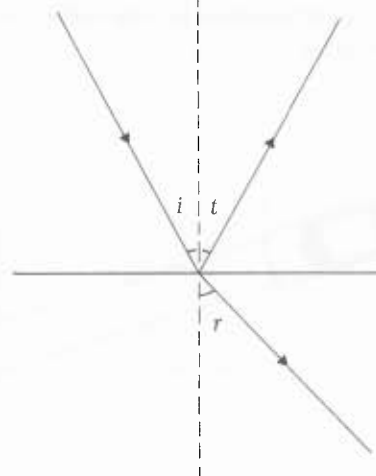
- als een lichtstraal de overgang tussen twee stoffen loodrecht treft, gaat het licht rechtdoor. $\angle i = 0^\circ \Rightarrow \angle r = 0^\circ$;
- bij de overgang naar een optisch dichtere stof (bijvoorbeeld van lucht naar glas, perspex of water) vindt er breking plaats naar de normaal toe; $\angle r$ is in dat geval kleiner dan $\angle i$ (figuur 18);

fig. 18
Bij de overgang naar een optisch dichtere stof wordt de lichtstraal naar de normaal toe gebroken en gedeeltelijk teruggekaatst.



- bij de overgang naar een optisch ijlere stof (bijvoorbeeld van glas, perspex of water naar lucht) vindt er breking plaats van de normaal af; $\angle r$ is in dat geval groter dan $\angle i$ (figuur 19).

fig. 19
Bij de overgang naar een optisch ijlere stof wordt de lichtstraal van de normaal af gebroken en gedeeltelijk teruggekaatst.



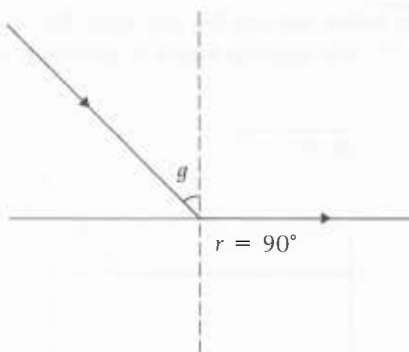
Terugkaatsing

Bij de overgang van een optisch ijlere naar een optisch dichtere stof treedt aan elk grensvlak behalve breking ook terugkaatsing op: een gedeelte van het licht wordt aan het grensvlak teruggekaatst. Als de invalshoek 0° is, wordt er weinig licht teruggekaatst. Als de invalshoek toeneemt van 0° naar 80° wordt de intensiteit van de teruggekaatste straal geleidelijk groter (figuur 18). Hoe sterker de intensiteit van de teruggekaatste straal is, hoe zwakker die van de gebroken straal wordt.

Bij de overgang naar een optisch ijlere stof (van glas, perspex of water naar lucht) treedt ook terugkaatsing op, maar is er een grensgeval. Bij een bepaalde hoek van inval, de grenshoek (g) is de hoek van breking 90° . De gebroken lichtstraal scheert dan langs het grensvlak (figuur 20).

fig. 20

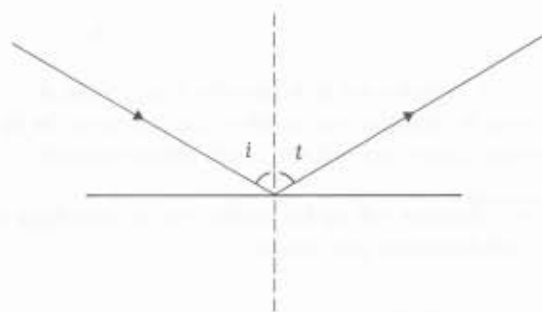
Als $\angle i$ gelijk is aan de grenshoek, scheert de gebroken straal langs het grensvlak.



Als de hoek van inval groter is dan de grenshoek, wordt al het licht teruggekaatst (figuur 21). Als de hoek van inval kleiner is dan de grenshoek vindt weer gedeeltelijke terugkaatsing plaats (figuur 19).

fig. 21

Als $\angle i$ groter is dan de grenshoek, wordt de lichtstraal helemaal teruggekaatst.

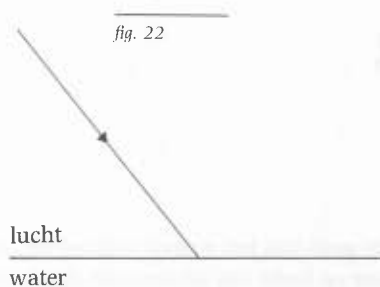


Blok 19

W3

1 Een lichtstraal wordt gebroken bij de overgang tussen lucht en water (figuur 22).

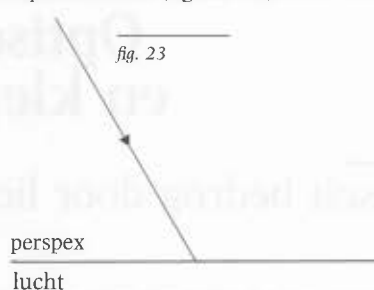
a Meet de hoek van inval.



b Is er sprake van breking naar de normaal toe of van de normaal af? Licht je antwoord toe.

c Neem de tekening over en schets de gebroken lichtstraal.

2 Een lichtstraal wordt gebroken bij de overgang tussen perspex en lucht (figuur 23).

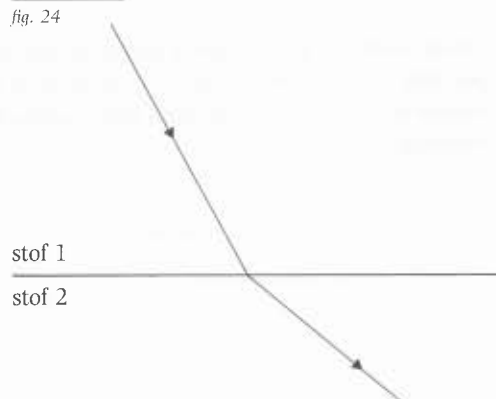


a Meet de hoek van inval.

b Is er sprake van breking naar de normaal toe of van de normaal af? Licht je antwoord toe.

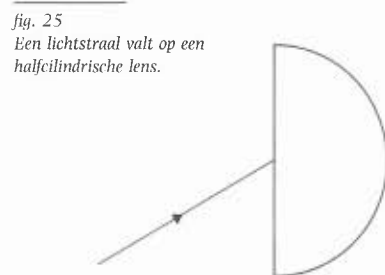
c Neem de tekening over en schets de gebroken lichtstraal.

3 Een lichtstraal wordt gebroken bij de overgang tussen stof 1 en stof 2 (figuur 24).



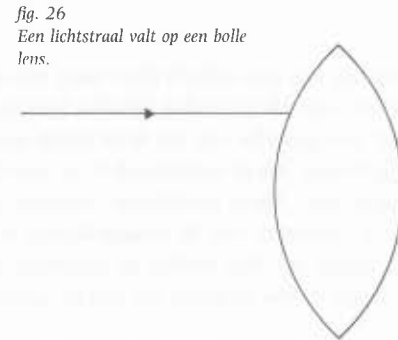
- a Leg uit in welke stof de lichtsnelheid het grootst is.
b Neem de tekening over en teken een lichtstraal die bij de overgang tussen stof 1 en stof 2 niet gebroken wordt.

4 Een lichtstraal valt op het midden van de linkerkant van een halfcilindrische lens (figuur 25).



- a Meet de hoek van inval.
b Neem de tekening over en schets het verloop van de lichtstraal.

5 Een lichtstraal valt op een bolle lens (figuur 26).

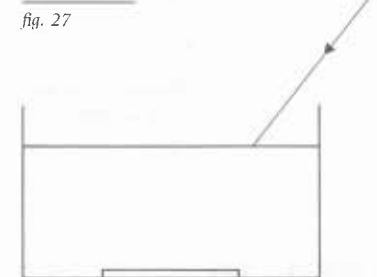


Neem de tekening over en schets het verloop van de lichtstraal door de lens.

6 Een lichtstraal wordt gebroken bij de overgang tussen lucht en glas. De hoek van inval is 50° ; de hoek van breking is 30° .

- a Teken het verloop van de lichtstraal bij de overgang van lucht naar glas.
b Geef een verklaring voor het verloop van de lichtstraal.

7 Op de bodem van een bak met water ligt een spiegeltje (figuur 27). Het spiegeltje kaatst de getekende lichtstraal terug.



Neem de tekening over en teken het verloop van de lichtstraal door de bak met water.

Blok 19

T4

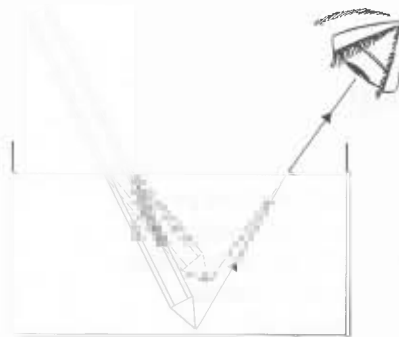
Optisch bedrog en kleurschifting

Optisch bedrog door lichtbreking

Een potlood dat schuin in een beerglass met water staat, lijkt bij het wateroppervlak gebroken. Dit optisch bedrog ontstaat doordat het licht, afkomstig van het deel van het potlood dat onder water zit, bij het wateroppervlak wordt gebroken. Wat je onder water ziet is niet het potlood, maar een *beeld* ervan.

De lichtstralen van de punt van het potlood worden bij het grensvlak tussen water en lucht van de normaal af gebroken (figuur 28). Voor het oog lijken de lichtstralen uit een ander punt te komen. De verlengden van de lichtstralen die in het oog vallen (gestippeld), komen uit het beeld van de potloodpunt.

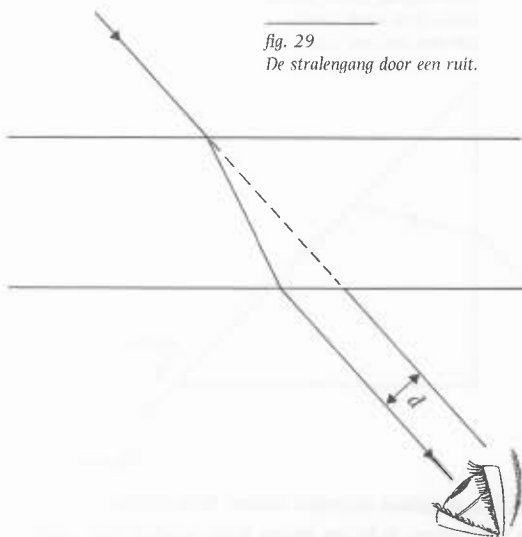
fig. 28
Een 'gebroken' potlood in een
glas met water.



Lichtbreking door een ruit

Een lichtstraal die schuin op een ruit valt, wordt aan de voor- en achterkant gebroken. Als de straal het glas in gaat, wordt deze naar de normaal toe gebroken. Bij het verlaten van het glas wordt de straal van de normaal af gebroken. Bij een ruit waarvan de voor- en de achterkant evenwijdig zijn, lopen de invallende en uitgaande lichtstraal evenwijdig (figuur 29).

fig. 29
De stralengang door een ruit.



De evenwijdige verschuiving (d) hangt af van:

- de dikte van de ruit; hoe dikker de ruit, des te groter is de verschuiving (figuur 30);
- de hoek van inval; hoe groter de hoek van inval, des te groter is de verschuiving (figuur 31).

Als de lichtstraal loodrecht invalt, gaat de straal rechtdoor. Er is dan geen verschuiving.

Door de evenwijdige verschuiving zien we een voorwerp achter de ruit iets verschoven ten opzichte van de plaats waar het zich in werkelijkheid bevindt. Als we door een blok perspex naar de regels op deze bladzijde kijken, lijken de letters onder het blok hoger te liggen (figuur 32). De verlengden van de lichtstralen die in het oog vallen (gestippeld), komen uit het *beeld* van de letters.

fig. 30
Hoe dikker de ruit, hoe groter de
evenwijdige verschuiving.

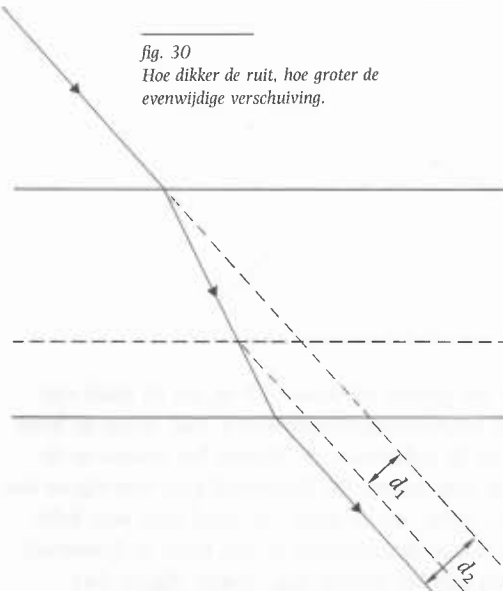


fig. 31
Hoe groter de hoek van inval,
hoe groter de evenwijdige
verschuiving.

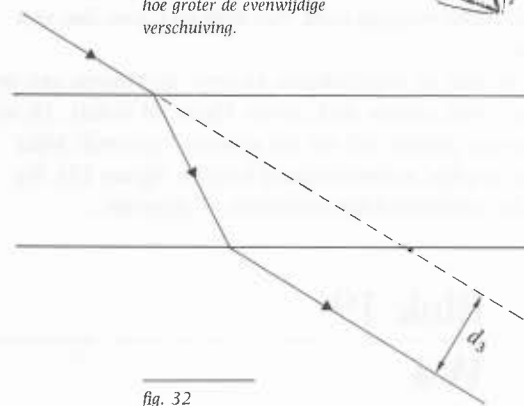
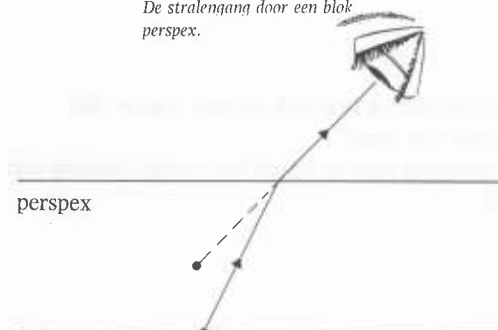


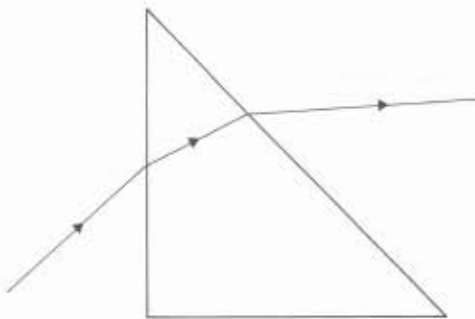
fig. 32
De stralengang door een blok
perspex.



Kleurschifting

Een lichtstraal die op een prisma valt, wordt twee keer gebroken. Bij het grensvlak tussen lucht en perspex wordt de lichtstraal naar de normaal toe gebroken. Bij het verlaten van het prisma (overgang tussen perspex en lucht) wordt de lichtstraal van de normaal af gebroken (figuur 33).

fig. 33
De stralengang door een prisma.
De lichtstraal wordt twee keer gebroken.



We draaien het prisma uit figuur 33 zó, dat de hoek van inval op het linkervlak kleiner wordt. Dan wordt de hoek van inval van de lichtstraal, die binnen het prisma op de schuine zijde valt, groter. Die lichtstraal gaat vervolgens van perspex naar lucht. Als de hoek van inval voor deze lichtstraal gelijk is aan de grenshoek g , dan komt de lichtstraal langs de zijde van het prisma naar buiten (figuur 34). Als de hoek van inval (van de lichtstraal in het prisma) groter is dan de grenshoek, wordt het licht bij de overgang tussen perspex en lucht teruggekaatst. Het licht kan daar dan niet naar buiten.

Wit licht bestaat uit verschillende kleuren: de kleuren van de regenboog (rood, oranje, geel, groen, blauw en violet). Als wit licht zó op een prisma valt dat het scherend uittreedt, blijkt het te zijn gesplitst in verschillende kleuren (figuur 35). We noemen dit verschijnsel kleurschifting of 'dispersie'.

fig. 34
Als $\angle i$ gelijk is aan de grenshoek, scheert de lichtstraal langs de zijde van het prisma.

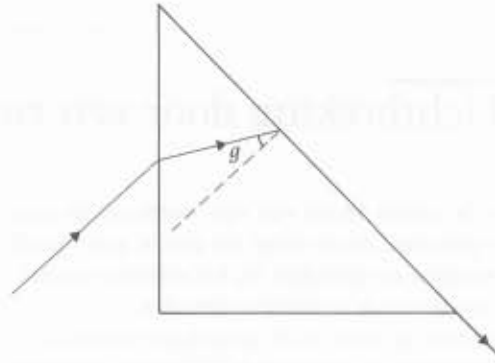
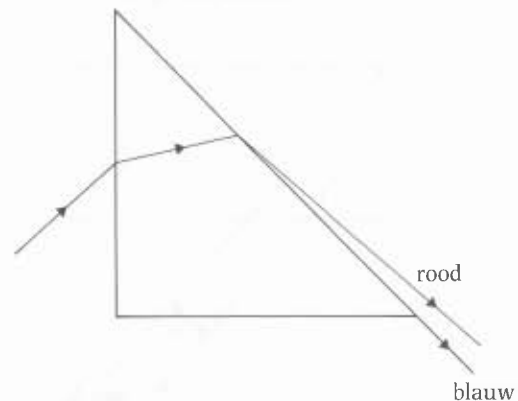


fig. 35
Kleurschifting bij een prisma.
Blauw licht wordt sterker gebroken dan rood licht.



Kleurschifting ontstaat doordat blauw licht sterker wordt gebroken dan groen licht en groen licht sterker dan rood licht. Dit verschijnsel is het beste te zien als de lichtstraal het prisma scherend verlaat.

Blok 19

W4

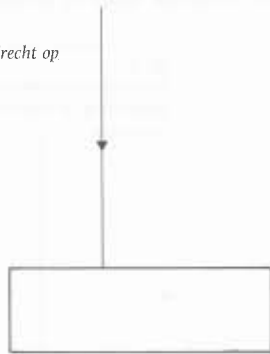
- 1 Een lichtstraal valt op een blok perspex (figuur 36).
 - a Meet de hoek van inval.
 - b Neem de tekening over en schets het verdere verloop van de lichtstraal.

fig. 36
Een lichtstraal valt schuin op een blok perspex.



2 Een lichtstraal valt op een blok perspex. De lichtstraal treft de overgang tussen lucht en perspex loodrecht (figuur 37).

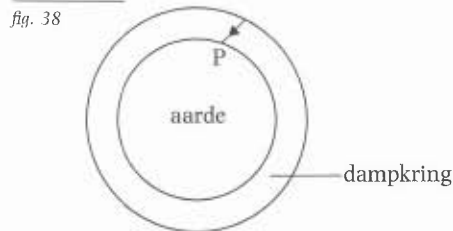
fig. 37
Een lichtstraal valt loodrecht op een blok perspex.



- Neem de tekening over en teken het verdere verloop van de lichtstraal.
- Waarom vindt er geen evenwijdige verschuiving plaats?

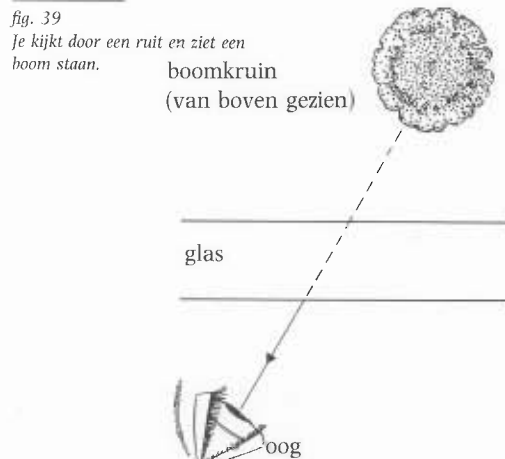
3 Rondom de aarde bevindt zich de dampkring. Het licht van een ster wordt bij de overgang tussen de ruimte en de dampkring naar de normaal toe gebroken.

- Geef hiervoor een verklaring.
- In punt P op aarde zie je het licht van de ster uit de aangegeven richting komen (figuur 38).



- Maak met een tekening duidelijk dat het licht van de ster in werkelijkheid uit een andere richting komt.

4 Je kijkt door een ruit en ziet een boom staan (figuur 39).

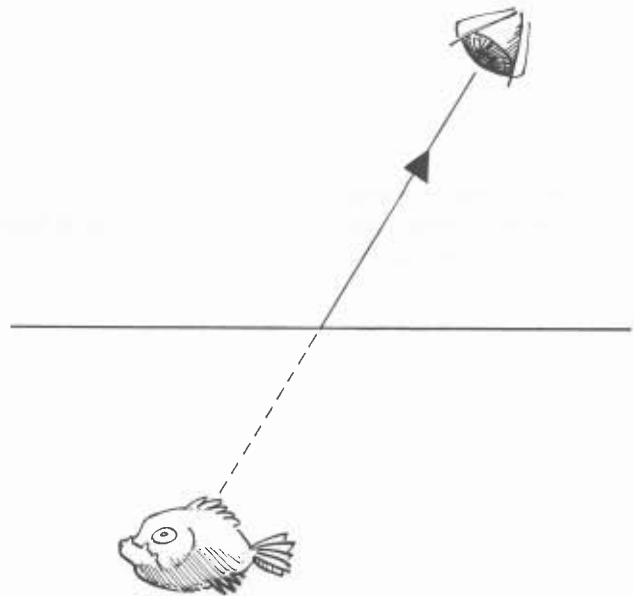


Staat de boom in werkelijkheid verder naar links of naar rechts? Licht je antwoord toe met een tekening.

5 Bij een ruit van 20 mm dikte is de evenwijdige verschuiving groter dan bij een ruit van 12 mm dikte. Maak dit duidelijk met een tekening.

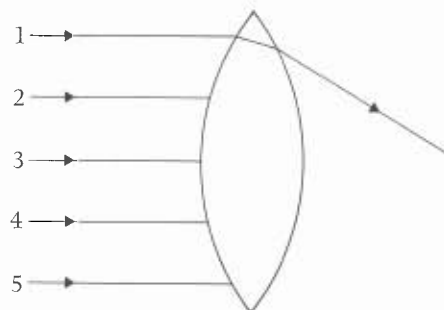
6 Een vis zwemt onder water. Een visser ziet de vis in de aangegeven richting (figuur 40). Hij wil de vis treffen met een pijl. Moet hij vóór of áchter de vis richten om de vis te treffen? Licht je antwoord toe met een tekening.

fig. 40
Een visser ziet een vis onder water.



7 Een bundel evenwijdige lichtstralen valt in de richting van de hoofdas op een lens (figuur 41).

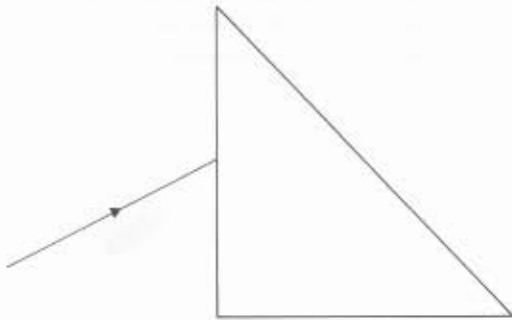
fig. 41
Een bundel evenwijdige lichtstralen valt op een lens.



- Neem de tekening over en teken het verloop van de lichtstraal die ongebroken door de lens gaat.
- Hoe heet het snijpunt van deze straal met de gebroken straal 1?
- Schets het verloop van de andere lichtstralen door de lens.
- Waarom wordt straal 1 sterker gebroken dan straal 2?

8 Een lichtstraal valt op de rechte zijde van een rechthoekig prisma (figuur 42).

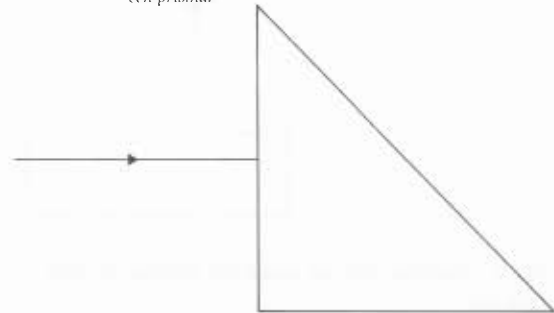
fig. 42
Een lichtstraal valt op een prisma.



- a Meet de hoek van inval.
- b Neem de tekening over en schets het verloop van de lichtstraal door het prisma.

9 Een straal wit licht valt loodrecht op de rechte zijde van een rechthoekig prisma (figuur 43). Een blauwe lichtstraal komt scherend langs de schuine zijde naar buiten.

fig. 43
Een witte lichtstraal valt loodrecht op de rechte zijde van een prisma.



- a Neem de tekening over en teken het verloop van de lichtstraal door het prisma. Geef met blauw en rood de plaats van de blauwe en de rode straal aan.
- b Hoe heet het verschijnsel dat hier optreedt?

H1 Rekenen aan de beeldvorming

Er zijn twee formules waarmee je berekeningen kunt uitvoeren aan de beeldvorming door een lens.

In deze herhaalstof oefen je met beide formules.

Vergroting

Als de voorwerpsafstand (v) en de beeldafstand (b) bekend zijn, kun je de grootte van het beeld berekenen met behulp van de vergroting (N). De vergroting geeft aan hoeveel keer het beeld groter is dan het voorwerp. De vergroting is ook gelijk aan de verhouding tussen de beeldafstand en de voorwerpsafstand.

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

Als b groter is dan v , is N groter dan 1.

Als b kleiner is dan v , is N kleiner dan 1.

Als b gelijk is aan v , is N gelijk aan 1.

Voorbeeld

Een voorwerp van 3 cm lengte staat op 2 cm afstand van een lens. Het beeld ontstaat op 10 cm afstand van de lens. De vergroting is:

$$N = \frac{10}{2} = 5.$$

Het beeld is dan 5 keer zo groot als het voorwerp, dus $5 \times 3 = 15$ cm groot.

De lenzenformule

Als de voorwerpsafstand en de beeldafstand bekend zijn, kun je met de lenzenformule de brandpuntsafstand (f) van de gebruikte lens berekenen.

De lenzenformule luidt:

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

Uit de lenzenformule blijkt:

$b = f$ als v erg groot is (fotocamera);

$v = f$ als b erg groot is (diaprojector).

Controle van de formules

1a Meet in figuur 44 de voorwerpsafstand (v), de beeldafstand (b), de grootte van het voorwerp L_1L_2 en de grootte van het beeld B_1B_2 .

b Bereken met de formule voor de vergroting de grootte van het beeld en ga na of de berekende waarde overeenkomt met de gemeten waarde.

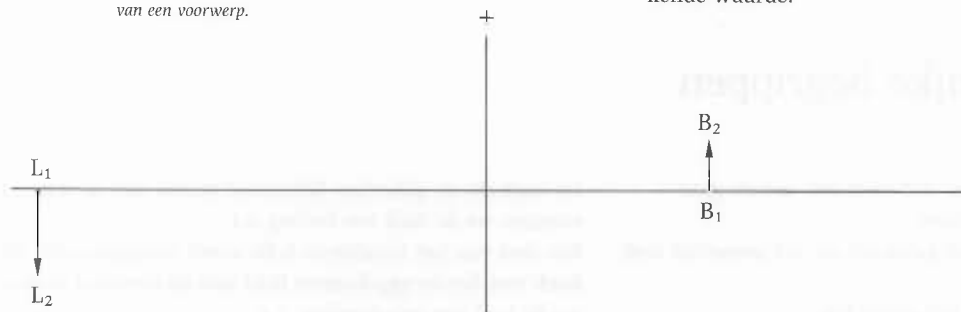
c Bereken met de lenzenformule de brandpuntsafstand van de lens.

d Neem figuur 44 over en bepaal met de bijzondere lichtstralen de plaats van beide brandpunten.

e Meet de brandpuntsafstand en vergelijk deze met de berekende waarde.

fig. 44

Een bolle lens vormt een beeld van een voorwerp.



Oefenen met de formules

In de volgende negen opgaven kun je oefenen met de formules. Opgave 2 is als voorbeeld voor je uitgewerkt.

2 Bereken de brandpuntsafstand van een lens als $b = 20$ cm en $v = 15$ cm.

Gegeven: $b = 20$ cm, $v = 15$ cm.

Gevraagd: f .

Oplossing:

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

$$\frac{1}{15} + \frac{1}{20} = \frac{1}{f}, \text{ of:}$$

$$\frac{1}{f} = 0,067 + 0,05 = 0,117$$

$$f = \frac{1}{0,117} \text{ zodat } f = 8,6 \text{ cm.}$$

3a Bereken de brandpuntsafstand als $b = -25$ cm en $v = 5,0$ cm.

b Wanneer is de beeldafstand negatief?

c Hoe blijkt uit de brandpuntsafstand en de voorwerpsafstand dat de beeldafstand negatief is?

4 Bereken de brandpuntsafstand als $b = 10$ cm en $v = 10$ cm.

5a Bereken de beeldafstand als $f = 10$ cm en $v = 20$ cm.

b Bereken de vergroting (N).

6 Bereken de beeldafstand als $f = 15$ cm en $v = 10$ cm.

7 Je wilt met een diap projector een dia van 2,4 bij 3,6 cm op een scherm projecteren. Het scherm staat op 2,0 m van de lens. De brandpuntsafstand van de lens is 5,0 cm.

a Bereken hoe groot de afstand tussen de dia en de lens moet zijn om een scherp beeld te krijgen.

b Bereken de grootte van het beeld op het scherm.

8 Een fotograaf wil een bloem fotograferen, die op 40 cm voor de cameralens staat. De bloem heeft een diameter van 5,0 cm. De brandpuntsafstand van de lens is 10 cm.

a Bereken hoe groot de afstand tussen de film en de lens moet zijn, wil de bloem scherp op de film komen.

b Bereken de grootte van het beeld van de bloem op de film.

9 Een lens met een brandpuntsafstand van 12 cm wordt gebruikt als loep. De lens maakt van een voorwerp van 0,5 cm een virtueel beeld op 6,0 cm vóór de lens.

a Bereken de voorwerpsafstand.

b Bereken de grootte van het beeld.

10 Je wilt een dia 25 keer vergroten. Dat lukt als je het scherm 5,0 m van de diap projector zet.

a Bereken de voorwerpsafstand.

b Bereken de brandpuntsafstand van de lens in de projector.

Blok 19

H2

Lichtbreking

Hieronder hebben we de belangrijkste begrippen bij elkaar gezet die bij lichtbreking een rol spelen. Deze begrippen heb je nodig bij de oefenopgaven.

Belangrijke begrippen

Een lichtstraal die van de ene stof naar een andere gaat wordt bij het *grensvlak* gebroken.

In figuur 45 is een lichtstraal getekend die het grensvlak treft tussen lucht en water.

De *normaal* is de loodlijn op het grensvlak.

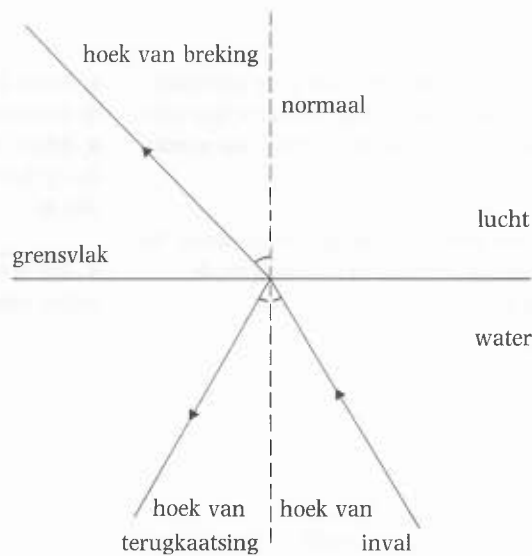
In figuur 45 zie je dat de *hoek van inval* ($\angle i$) de hoek is tussen de invallende lichtstraal en de normaal.

De hoek die de gebroken lichtstraal maakt met de normaal noemen we de *hoek van breking* $\angle r$.

Een deel van het invallende licht wordt teruggekaatst. De hoek van het teruggekaatste licht met de normaal noemen we de *hoek van terugkaatsing* $\angle t$.

fig. 45

Een lichtstraal wordt gebroken als hij overgaat van de ene stof naar de andere.

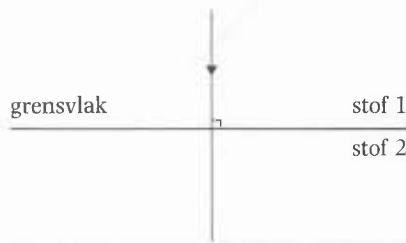


Hoe wordt licht gebroken?

Een lichtstraal die loodrecht invalt, wordt niet gebroken.
 $\angle i = 0^\circ \Rightarrow \angle r = 0^\circ$ (figuur 46).

fig. 46

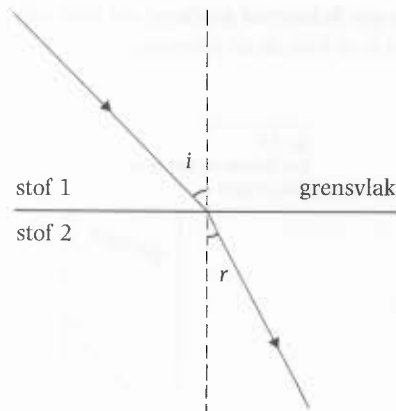
Een lichtstraal die loodrecht op het grensvlak valt, gaat rechtdoor.



Een lichtstraal die van lucht naar een of andere doorzichtige stof gaat, breekt naar de normaal toe. $\angle r < \angle i$ (figuur 47).
 We noemen dit een overgang naar een optisch dichtere stof.

fig. 47

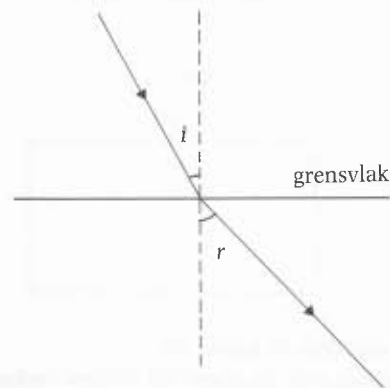
Breking naar de normaal toe.



Een lichtstraal die van een of andere doorzichtige stof naar lucht gaat, breekt van de normaal af. $\angle r > \angle i$ (figuur 48).
 We noemen dit een overgang naar een optisch ijlere stof.

fig. 48

Breking van de normaal af.

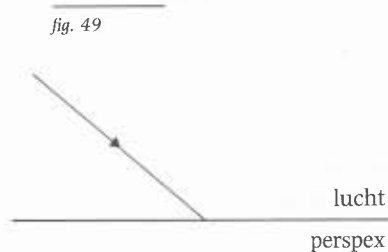


Samenvatting

- Als licht loodrecht op een grensvlak valt, wordt het niet gebroken.
 - Bij een overgang naar een optisch dichtere stof (van lucht naar glas, perspex of water) wordt licht naar de normaal toe gebroken.
 - Bij een overgang naar een optisch ijlere stof (van glas, perspex of water naar lucht) wordt licht van de normaal af gebroken.
- Bij opgaven over lichtbreking moet je vaak het verdere verloop van een lichtstraal tekenen. Doe dat zo:
- teken de normaal;
 - ga na of er sprake is van een overgang naar een optisch ijlere of een optisch dichtere stof;
 - ga na of er breking van de normaal af is, of naar de normaal toe;
 - teken nu de gebroken straal.

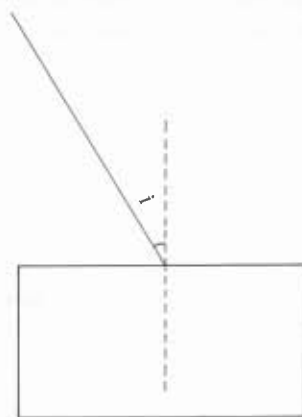
Als de hoek van breking niet is gegeven, kun je de gebroken lichtstraal *schetsen*. Het gaat er dan vooral om dat je laat zien of de straal van de normaal af of naar de normaal toe wordt gebroken.

1 Neem figuur 49 over en geef in je tekening de normaal, het grensvlak, de hoek van inval, de hoek van breking en de hoek van terugkaatsing aan.



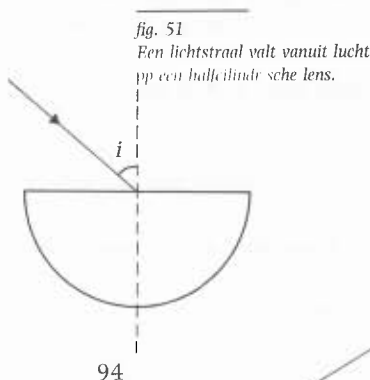
2 Een lichtstraal valt scheef op een dik stuk glas (figuur 50).

fig. 50
Een lichtstraal valt schuin op een dik stuk glas.



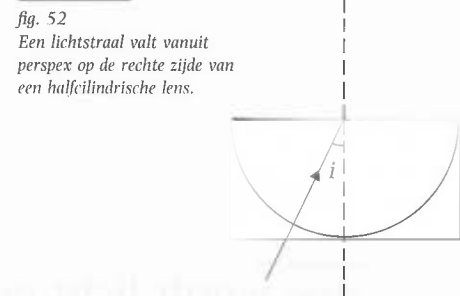
- Hoe heet de stippellijn in figuur 50?
- Neem de tekening over en schets het verdere verloop van de lichtstraal.
- Hoe komt de lichtstraal uit het glas vergeleken met de invallende lichtstraal?

3 Een lichtstraal valt vanuit lucht op het midden van de rechte zijde van een halfcilindrische lens (figuur 51).



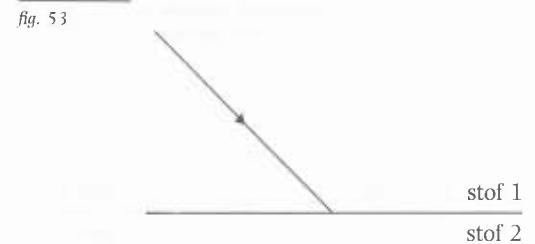
- Neem de tekening over en teken het verdere verloop van de lichtstraal als de hoek van breking (r) 20° is.
- Teken met een andere kleur het verloop van een lichtstraal die op het midden van de rechte zijde invalt onder een hoek van 20° .

4 Een lichtstraal valt vanuit perspex op het midden van de rechte zijde van een halfcilindrische lens (figuur 52).



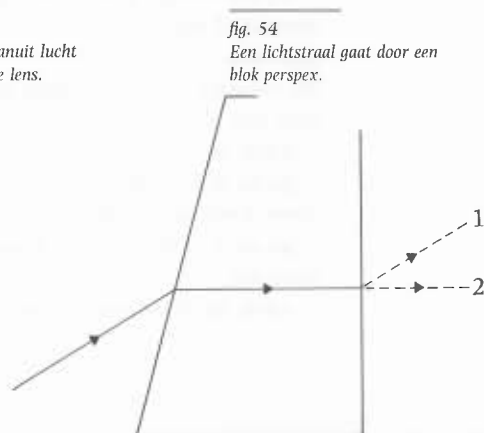
Neem de tekening over en teken het verdere verloop van de lichtstraal als de hoek van breking (r) 30° is.

5 Een lichtstraal treft het grensvlak tussen stof 1 en stof 2 (figuur 53). Stof 2 is optisch ijeler dan stof 1.

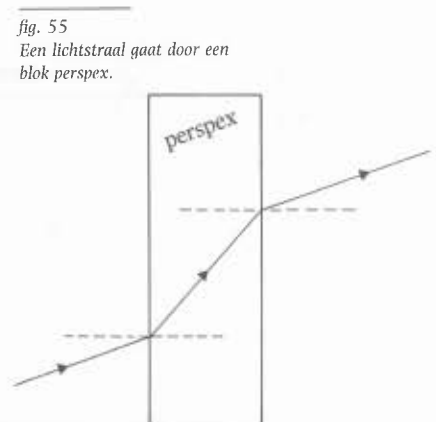


Neem de tekening over en schets het verloop van de gebroken straal.

6 Een lichtstraal gaat door een blok perspex (figuur 54). Op welke manier is het verdere verloop van de straal juist getekend: straal 1 of straal 2? Licht je antwoord toe.



7 In figuur 55 is een lichtstraal getekend die door een blok perspex gaat. Wat is er fout in de tekening?



De lens van een fotocamera vormt van een voorwerp een beeld op de film. Als we goede foto's willen maken, moet het gevormde beeld aan bepaalde eisen voldoen.

Het beeld moet:

- scherp zijn;
- helder genoeg zijn;
- dezelfde vorm hebben als het voorwerp.

Goedkope lenzen, zoals de lenzen die we bij het practicum gebruiken, vormen een beeld dat niet aan al deze eisen voldoet. Als we een goed beeld willen hebben, moeten we lenzen gebruiken die weinig licht absorberen en geen afbeeldingsfouten vertonen. Deze lenzen zijn duur omdat ze op een speciale manier zijn geslepen en vaak zijn opgebouwd uit verschillende lenzen. Zo kan de lens van een spiegelreflex-

camera uit de duurdere prijsklasse zijn samengesteld uit wel zeven verschillende lenzen. We spreken dan niet meer over een lens maar over een *objectief*.

In deze extrastof onderzoeken we een aantal lensafwijkingen.

Benodigd materiaal:

- lamphouder
- spanningsbron
- lens ($f = 10$ cm)
- twee perspex lenzen
- diahouder met traliedia
- diahouder met rood en blauw filter
- twee afdekplaatjes
- optische rail
- scherm

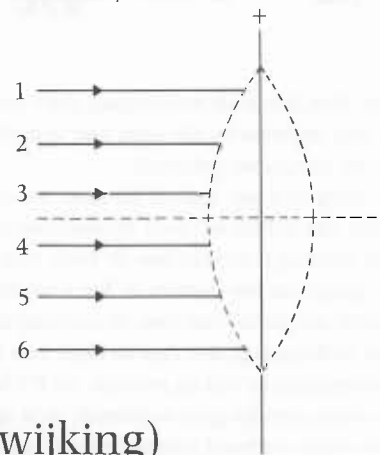
Brandpuntsafwijking

1 Maak een bundel evenwijdige lichtstralen. Leg een perspex lens met een kleine brandpuntsafstand ($f = 4$ cm) op een tekenvel; laat de bundel evenwijdig aan de hoofdas lopen. Neem figuur 56 over en teken het verloop van de lichtstralen door de lens.

- a Kun je bij deze lens spreken over één brandpunt?
- b Voor welke stralen is de brandpuntsafstand het grootst en voor welke stralen is de brandpuntsafstand het kleinst?
- c Wat zie je als je met zo'n lens een groepsfoto zou maken?

fig. 56

Een bundel evenwijdige lichtstralen valt op een bolle lens.



Chromatische aberratie (kleurafwijking)

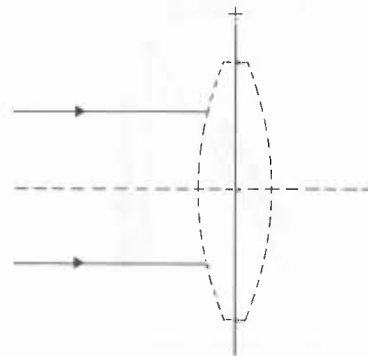
2 Plaats in de lichtbundel achter de traliedia de diahouder met het rode filter. Dek alle lichtstralen af op twee na (deze stralen moeten op de rand van de lens vallen; zie figuur 57).

- a Bepaal het brandpunt van een perspex lens voor rood licht.
- b Bepaal met behulp van het blauwe filter ook het brandpunt voor blauw licht.

- c Kun je bij een lens spreken over één brandpunt voor alle kleuren licht?
- d Welke kleur licht wordt het sterkst gebroken?
- e Welk effect heeft deze lensafwijking bij het maken van een kleurenfoto?

fig. 57

Twee (rode) lichtstralen vallen op een lens.



Randvervorming

Voor deze proef heb je extra nodig:

- lens ($f = 5 \text{ cm}$)
- twee lenzen ($f = 10 \text{ cm}$)
- blokdia (loodrecht snijdende tralies).

Gebruik de lens met $f = 5 \text{ cm}$ als loop en kijk naar de letters van deze bladzijde.

3a Hoe zie je de letters aan de rand als je ze vergelijkt met de letters in het midden van de lens?

Vervang de traliedia door een blokdia en ontwerp met de lens ($f = 5 \text{ cm}$) een vergroot scherp beeld op het scherm.

- b Meet de voorwerpsafstand en de beeldafstand.
- c Maak een nauwkeurige tekening van het 'blokjesbeeld'.

Zet op de plaats van de lens ($f = 5 \text{ cm}$) twee lenzen ($f = 10 \text{ cm}$) zo dicht mogelijk tegen elkaar. Stel scherp door het scherm te verschuiven.

d Meet de voorwerpsafstand en de beeldafstand.

e Maak opnieuw een nauwkeurige tekening van het 'blokjesbeeld'.

f Wat valt je op als je de tekeningen uit de vragen c en e met elkaar vergelijkt?

g Wat valt je op als je beide beeldafstanden met elkaar vergelijkt?

h Wat weet je nu van de brandpuntsafstand van twee lenzen ($f = 10 \text{ cm}$) dicht tegen elkaar, vergeleken met de brandpuntsafstand van één lens ($f = 5 \text{ cm}$)?

i Waarom wordt bij een fotocamera vaak een objectief gebruikt dat is samengesteld uit diverse lenzen?

Blok 19

E2

De brekingsindex

In P3 van dit blok heb je de stralengang door een half-cilindrische lens onderzocht. Op basis van je metingen zijn we tot de volgende conclusies gekomen:

- bij de overgang van een optisch ijle naar een optisch dichtere stof wordt een lichtstraal naar de normaal toe gebroken (de hoek van breking is kleiner dan de hoek van inval);
- bij de overgang van een optisch dichte naar een optisch ijlere stof wordt een lichtstraal van de normaal af gebroken; (de hoek van breking is groter dan de hoek van inval).

Als je de meetresultaten van de proeven uit P3 bekijkt, is daar op het eerste gezicht geen regelmaat in te ontdekken. Toch bestaat er een verband tussen de hoek van inval en de hoek van breking. We noemen dit de wet van Snellius. Om dit verband te ontdekken, moet je gebruik maken van het begrip *sinus van een hoek*.

De sinus van een hoek is een verhoudingsgetal. Het is de verhouding tussen de lengte van de overstaande zijde en lengte van de schuine zijde van een rechthoekige driehoek (figuur 58).

$$\sin \alpha = \frac{\text{overstaande zijde}}{\text{schuine zijde}}$$

Je kunt de sinus van een hoek berekenen met je rekenapparaat (toets SIN).

fig. 58

$$\sin \alpha = \frac{\text{overstaande zijde}}{\text{schuine zijde}}$$

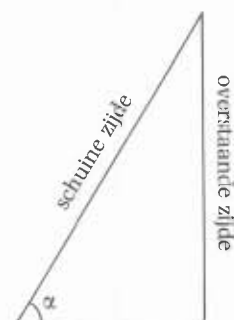


fig. 59

$\angle i$	$\angle r$	$\frac{\angle i}{\angle r}$	$\sin i$	$\sin r$	$\frac{\sin i}{\sin r}$
0°					
10°					
20°					
30°					
40°					
50°					
60°					
70°					
80°					

- a Bereken voor de verschillende invalshoeken de verhouding tussen $\angle i$ en $\angle r$ $\left(\frac{\angle i}{\angle r}\right)$. Noteer de berekende waarden in de tabel.
- b Zijn de $\angle i$ en $\angle r$ evenredig? Licht je antwoord toe.
- c Bereken voor de verschillende invalshoeken $\sin i$, $\sin r$ en de verhouding tussen $\sin i$ en $\sin r$ $\left(\frac{\sin i}{\sin r}\right)$. Noteer de berekende waarden in de tabel.
- d Waaruit blijkt dat $\sin i$ en $\sin r$ evenredig zijn?
- De evenredigheidsconstante tussen $\sin i$ en $\sin r$ noemen we de brekingsindex n . De brekingsindex wordt bepaald door de soort stoffen aan weerszijden van het grensvlak.
- e Bereken de gemiddelde waarde van $n_{\text{lucht} \rightarrow \text{perspex}}$ met behulp van alle waarden uit de laatste kolom van de tabel; dat is de betrouwbaarste waarde van n .

Ook voor de overgang van perspex naar lucht kunnen we de brekingsindex bepalen.

2 Neem de tabel in figuur 60 over. Noteer de waarden van hoek i en hoek r die je in P3 hebt gevonden bij de overgang van perspex naar lucht:

fig. 60				
$\angle i$	$\angle r$	$\sin i$	$\sin r$	$\frac{\sin i}{\sin r}$
0°				
10°				
20°				
30°				
40°				
50°				

- a Bereken $\sin i$, $\sin r$ en $\frac{\sin i}{\sin r}$. Noteer de berekende waarden in de tabel.
- b Bereken de gemiddelde waarde van $n_{\text{perspex} \rightarrow \text{lucht}}$ zo nauwkeurig mogelijk.

Je hebt al gelezen dat de brekingsindex wordt bepaald door de stoffen aan weerszijden van het grensvlak. Uit onderzoek is gebleken dat voor de brekingsindex van stof 1 naar stof 2 geldt:

$$n_{1 \rightarrow 2} = \frac{\text{lichtsnelheid in stof 1}}{\text{lichtsnelheid in stof 2}}$$

Als licht overgaat naar een optisch dichtere stof, neemt de lichtsnelheid af. Omgekeerd geldt: als licht overgaat naar een optisch ijlere stof, neemt de lichtsnelheid toe.

3a Is de brekingsindex groter of kleiner dan 1 als licht overgaat van een optisch ijle naar een optisch dichtere stof?

Uit de formule volgt dat $n_{2 \rightarrow 1} = \frac{1}{n_{1 \rightarrow 2}}$

b Ga dit na voor de overgang tussen lucht en perspex met de uitkomsten van 1e en 2b.

In figuur 61 staan de lichtsnelheden voor verschillende stoffen.

fig. 61
Lichtsnelheden.

$$\begin{aligned} c_{\text{lucht}} &= 3,0 \cdot 10^8 \text{ m/s} \\ c_{\text{glas}} &= 2,0 \cdot 10^8 \text{ m/s} \\ c_{\text{perspex}} &= 2,0 \cdot 10^8 \text{ m/s} \\ c_{\text{water}} &= 2,3 \cdot 10^8 \text{ m/s} \end{aligned}$$

- c Bereken met behulp van de lichtsnelheden de brekingsindex voor de overgang van lucht naar perspex ($n_{\text{lucht} \rightarrow \text{perspex}}$).
- d Bereken de brekingsindex voor de overgang van perspex naar lucht ($n_{\text{perspex} \rightarrow \text{lucht}}$).
- e Vergelijk de waarden van n die je hebt berekend uit de lichtsnelheden met de waarden die je hebt berekend uit de meetresultaten. Wat is je conclusie?

Als de brekingsindex en de hoek van inval bekend zijn, kun je de hoek van breking berekenen.

Voorbeeld

Een lichtstraal valt op het grensvlak tussen lucht en perspex. De hoek van inval is 40°.

$$\begin{aligned} n_{\text{lucht} \rightarrow \text{perspex}} &= \frac{\sin i}{\sin r} \\ 1,5 &= \frac{\sin 40^\circ}{\sin r} \\ 1,5 \cdot \sin r &= \sin 40^\circ \\ \sin r &= \frac{\sin 40^\circ}{1,5} = \frac{0,643}{1,5} = 0,429 \\ r &= 25^\circ \end{aligned}$$

Als de sinus van een hoek bekend is, kun je met je rekenapparaat de hoek berekenen. Gebruik dan de toetsen INV en SIN.

4 Bereken met behulp van de lichtsnelheden (figuur 61) de brekingsindex voor de overgang van lucht naar water.

5a Bereken met behulp van de lichtsnelheden de brekingsindex voor de overgang van water naar glas.

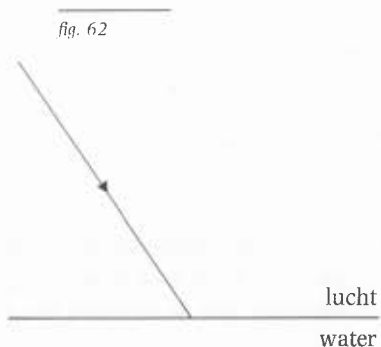
b Is er bij de overgang van water naar glas sprake van breking naar de normaal toe of breking van de normaal af? Licht je antwoord toe.

6 Een lichtstraal wordt gebroken bij de overgang tussen stof 1 en stof 2. De hoek van inval is 48° en de hoek van breking is 33°.

a Bereken $n_{1 \rightarrow 2}$ en $n_{2 \rightarrow 1}$.

b Bereken de hoek van breking als de hoek van inval gelijk is aan 72°.

7 Een lichtstraal treft een wateroppervlak (figuur 62).



- Bepaal in de tekening de hoek van inval.
- Bereken de hoek van breking.
- Neem de tekening over en teken het verloop van de lichtstraal.

8 Bij de overgang tussen perspex en lucht wordt het licht teruggekaatst als de hoek van inval groter is dan de grenshoek.

Als de hoek van inval gelijk is aan de grenshoek, is de hoek van breking 90° .

Bereken de grenshoek voor de overgang van perspex naar lucht.

9 De grenshoek tussen diamant en lucht is 24° . Licht kan dus wel gemakkelijk een stuk diamant in, maar er niet zo gemakkelijk uit. Doordat een stuk diamant op een bijzondere manier geslepen wordt, zit het licht als het ware in de diamant gevangen. Alleen als je onder bepaalde hoeken kijkt, zie je een prachtige schittering. Deze bijzondere eigenschap dankt diamant aan zijn grote brekingsindex.

- Bereken de brekingsindex voor de overgang van lucht naar diamant.
- Bereken de lichtsnelheid in diamant.

