



# Blok 4

## INHOUD

### BASISSTOF

T0	Spiegels en lenzen	94
W0		99
T1	Lichtbreking	101
W1		103
T2	Optisch bedrog en kleurschifting	104
W2		106

### HERHAALSTOF

H1	Lichtbreking	108
H2	Oefenen met examenopgaven	111

## LEERDOELEN

- 1 Je moet weten welke twee soorten terugkaatsing er zijn en wanneer deze voorkomen. [P0, T0, W0]
- 2 Je moet weten welke regel er geldt bij spiegelende terugkaatsing. [P0, T0, W0]
- 3 Je moet weten wat we bedoelen met: de normaal, de hoek van inval ( $i$ ), en de hoek van terugkaatsing ( $\theta$ ). [P0, T0, W0]
- 4 Je moet met behulp van de terugkaatsingswet het spiegelbeeld van een voorwerp kunnen tekenen. [P0, T0, W0]
- 5 Je moet weten wat we bedoelen met de voorwerpsafstand ( $v$ ) en de beeldafstand ( $b$ ). [P0, T0, W0]
- 6 Je moet weten welke drie soorten lichtbundels er zijn en deze kunnen tekenen. [P0, T0, W0]
- 7 Je moet weten welke twee soorten lenzen er zijn en hoe een evenwijdige lichtbundel door deze lenzen gebroken wordt. [P0, T0, W0]
- 8 Je moet met drie bijzondere lichtstralen het beeld kunnen tekenen dat door een bolle lens wordt gevormd. [P0, T0, W0]
- 9 Je moet weten wat we bedoelen met een reëel en een virtueel beeld en aan kunnen geven wanneer deze beelden ontstaan. [T0, W0]



# Licht gebroken

- 10** Je moet de lenzenformule kennen en deze kunnen gebruiken. [T0, W0]
- 11** Je moet weten wat we bedoelen met de vergroting en deze kunnen berekenen. [T0, W0]
- 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. [T0, W0]
- 13** Je moet weten wat we bedoelen met de sterkte van een lens. [T0, W0]
- 14** Je moet weten wat we bedoelen met: een lichtstraal wordt gebroken bij de overgang van stof 1 naar stof 2. [P1, T1, W1]
- 15** Je moet weten wat we bedoelen met de volgende begrippen: grensvlak, invallende straal, gebroken straal, hoek van breking ( $r$ ). [P1, T1, W1]
- 16** Je moet weten wat er bedoeld wordt met:
  - a** stof 1 is optisch dichters dan stof 2;
  - b** stof 1 is optisch ijler dan stof 2. [T1, W1]
- 17** Je moet in een tekening kunnen aangeven hoe een lichtstraal gebroken wordt bij de overgang van:
  - a** een optisch ijle naar een optisch dichte stof;
  - b** een optisch dichte naar een optisch ijle stof. [T1, W1]
- 18** Je moet weten wat we bedoelen met:
  - a** breking naar de normaal toe;
  - b** breking van de normaal af. [T1, W1]
- 19** Je moet weten hoe een lichtstraal wordt gebroken die loodrecht invalt. [P1, T1, W1]
- 20** Je moet de verschuiving tussen de invallende en de uittrekkende straal bij een dikke ruit kunnen verklaren. [P2, T2, W2]
- 21** Je moet met een tekening kunnen laten zien dat de verschuiving afhangt van de hoek van inval en de dikte van de ruit. [P2, T2, W2]
- 22** Je moet weten uit welke kleuren wit licht bestaat. [T2, W2]
- 23** Je moet weten wat we bedoelen met kleurschifting en het optreden van kleurschifting kunnen verklaren. [P2, T2, W2]



# T0 Spiegels en lenzen

T0 gaat over kenmerken en eigenschappen van spiegels en lenzen. Het is een herhaling van de leerstof uit eerdere blokken: deel 2vm blok 2, deel 2mhv blok 3 en deel 2vmplus blok 2.

## De vlakke spiegel

Licht dat op een voorwerp valt, kan door het voorwerp teruggekaatst worden. 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 ( $i$ ) = hoek van terugkaatsing ( $t$ )

of korter:  $\angle i = \angle t$

Hierbij geldt (figuur 1):

$\angle i$  = de hoek tussen de invallende straal en de normaal;

$\angle t$  = de hoek tussen de normaal en de teruggekaatste straal;

de normaal = de hulplijn loodrecht op het spiegelend oppervlak.

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

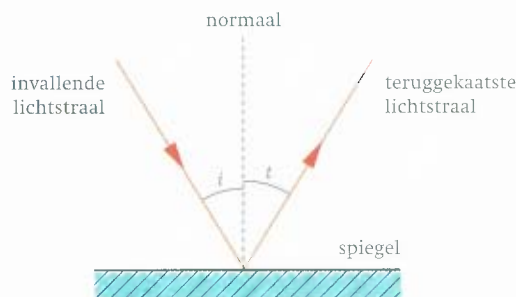


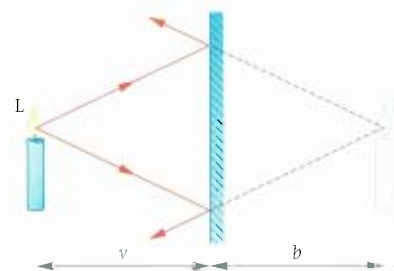
FIG. 2 De lichtstralen van een evenwijdige bundel worden in dezelfde richting teruggekaatst.



Bij een vlakke spiegel worden de lichtstralen van een evenwijdige bundel alle in dezelfde richting teruggekaatst (figuur 2).

Een vlakke spiegel vormt van een voorwerp een beeld. In figuur 3 zie je een kaars voor een spiegel. De lichtstralen die op de spiegel vallen worden door de spiegel teruggekaatst. Je kunt de teruggekaatste stralen tekenen door de terugkaatsingswet toe te passen.

FIG. 3 Het beeld van een kaars bij een vlakke spiegel.



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

Bij de beeldvorming door een vlakke spiegel geldt:

voorwerpsafstand ( $v$ ) = beeldafstand ( $b$ )

Hierbij is:

voorwerpsafstand ( $v$ ) = de afstand van het voorwerp tot de spiegel;

beeldafstand ( $b$ ) = de afstand van de spiegel tot het beeld.

## De lens

Lichtstralen worden door een lens gebroken. Als op een lens een evenwijdige bundel valt, is de bundel die uit de lens komt niet meer evenwijdig. De vorm van de bundel die uit de lens komt, hangt af van de soort lens.

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 dus een convergerende werking (figuur 4).

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

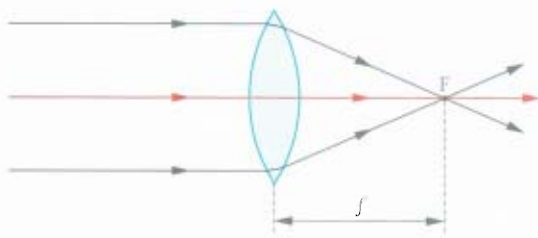
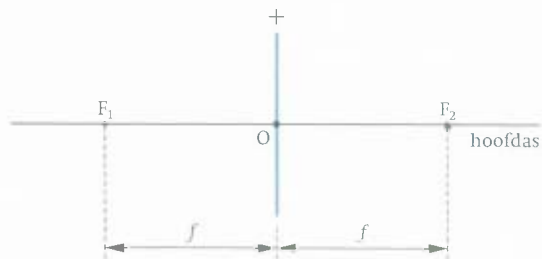


FIG. 5 Schematische tekening van een bolle lens.

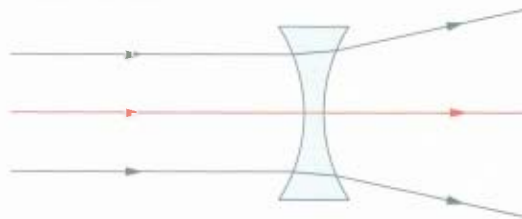


Een bolle lens wordt schematisch weergegeven door een rechte lijn met een plusteken (+) erboven. De lijn loodrecht op de lens en door het midden van de lens, noemen we de hoofdas. Het midden van de lens noemen we het optisch middelpunt O (figuur 5).

Bij een bolle lens gaan lichtstralen evenwijdig aan de hoofdas na breking door één punt: *het brandpunt F*. (F is van *focus*, wat brandpunt betekent.) Iedere lens heeft twee brandpunten aan weerszijden van de lens. Deze punten liggen op een even grote afstand van het optisch middelpunt van de lens (figuur 5). De afstand van het optisch middelpunt van de lens tot een brandpunt noemen we de *brandpuntsafstand (f)*.

Een holle lens wordt schematisch weergegeven door een rechte lijn met een minteken (-) erboven. Een holle (of negatieve) lens maakt van een evenwijdige bundel een *divergerende* bundel. De lichtstralen lopen na breking *uit elkaar*. De holle lens heeft dus een divergerende werking (figuur 6).

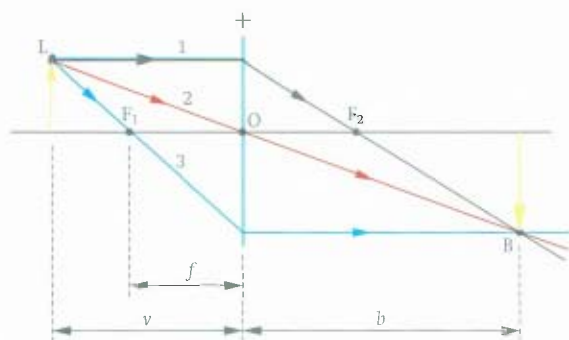
FIG. 6 Een holle lens maakt van een evenwijdige bundel een divergerende bundel.



## 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.

FIG. 7 De loop van drie bijzondere lichtstralen door een bolle lens.



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

- Lichtstraal 1 evenwijdig aan de hoofdas gaat na breking door brandpunt  $F_2$ .
- Lichtstraal 2 door het optisch middelpunt van de lens gaat rechtdoor.
- Lichtstraal 3 door brandpunt  $F_1$  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 ( $b$ ). Deze afstanden zie je aan de onderkant van figuur 7 aangegeven.

## Beeldvorming

Een veel gebruikt fototoestel is de *spiegelreflexcamera*. Bij dit toestel kan de lens verwisseld worden. Het beeld dat in de zoeker te zien is, is gelijk aan het beeld dat op de film ontstaat. Daarvoor is een bijzondere constructie ontworpen. Normaal valt het licht door de lens op een spiegeltje. Via het spiegeltje wordt het licht teruggekaatst zodat het in de zoeker terechtkomt (figuur 8).

Tijdens het maken van de foto klapt het spiegeltje naar boven en komt het licht op de film (figuur 9). Het spiegeltje kan dus razendsnel wegklappen. Vandaar de naam van dit soort camera's: spiegelreflexcamera.

## Scherpstellen

De plaats van het beeld dat de lens vormt, hangt af van de plaats van het voorwerp. Om een duidelijke foto te maken, moeten we een fototoestel scherpstellen. Door de lens in of uit te draaien zorgen we ervoor dat de afstand tussen de lens en de film gelijk is aan de beeldafstand. Er ontstaat dan een scherp beeld op de film.

Het verband tussen de voorwerpsafstand en de beeldafstand wordt gegeven door de lenzenformule:

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

In deze formule is:

$v$  de voorwerpsafstand (in cm);

$b$  de beeldafstand (in cm);

$f$  de brandpuntsafstand (in cm).

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

FIG. 8 De stralengang door een spiegelreflexcamera in normale toestand.

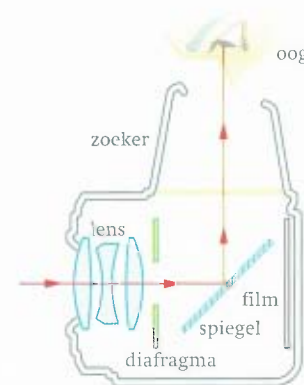
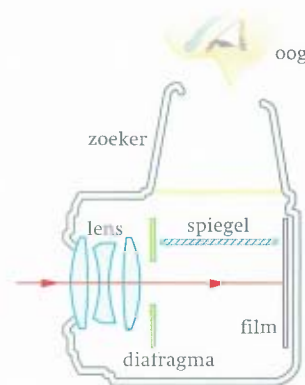


FIG. 9 De stralengang door een spiegelreflexcamera tijdens het maken van een foto.



#### VOORBEELD 1

De standaardlens bij een spiegelreflexcamera heeft een brandpuntsafstand van 5,0 cm. Een voorwerp staat 1,0 m voor de lens. Bereken de beeldafstand.

*Gegeven:*

$$v = 1,0 \text{ m} = 100 \text{ cm}$$

$$f = 5,0 \text{ cm}$$

*Gevraagd:*

$b$

*Formule:*

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

*Oplossing:*

Voor het gebruik van de rekenmachine bij deze berekening verwijzen we naar T3 van blok 3 deel 2mhv of T5 van blok 2 deel 2vm-plus. De oplossing van ons probleem vinden we als volgt:

$$\frac{1}{100} + \frac{1}{b} = \frac{1}{5}$$

$$\frac{1}{b} = \frac{1}{5} - \frac{1}{100}$$

$$\frac{1}{b} = 0,20 - 0,01 = 0,19$$

$$b = \frac{1}{0,19} = 5,3 \text{ cm}$$

#### Vergroting bij een lens

Niet alleen de plaats van het beeld hangt af van de voorwerpsafstand 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:

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

Soms ook wel afgekort tot:

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

In deze formule is:

$N$  de vergrotingsfactor (geen eenheid!);

$B_1 B_2$  de lengte van het beeld (bijvoorbeeld in cm);

$L_1 L_2$  de lengte van het voorwerp (bijvoorbeeld in cm).

Je hebt al eerder geleerd dat er nog een andere manier is om de vergroting te berekenen. De vergroting is namelijk ook gelijk aan de verhouding tussen de beeldafstand  $b$  en de voorwerpsafstand  $v$ :

$$N = \frac{b}{v}$$

In deze formule is:

$N$  de vergrotingsfactor (geen eenheid!);

$b$  de beeldafstand (meestal in cm);

$v$  de voorwerpsafstand (meestal in cm).

Er ontstaat een:

- vergroot beeld als  $b$  groter is dan  $v \rightarrow N$  is groter dan 1;

- verkleind beeld als  $b$  kleiner is dan  $v \rightarrow N$  is kleiner dan 1;

- even groot beeld als  $b = v$ , dus  $N$  is gelijk aan 1.

Bij een camera ontstaat van het voorwerp een verkleind beeld op de film:  $N$  is kleiner dan 1. Een dia-projector maakt van een dia een vergroot beeld op een scherm:  $N$  is groter dan 1.

#### VOORBEELD 2

We maken een foto van iemand die op 4,0 m van de lens staat. De afstand tussen de lens en de film is dan 5,0 cm.

1 Bereken de vergroting.

*Gegeven:*

$$v = 4,0 \text{ m} = 400 \text{ cm}$$

$$b = 5,0 \text{ cm}$$

Gevraagd:

$N$

Formule:

$$N = \frac{b}{v}$$

Oplossing:

$$N = \frac{5}{400} = 0,0125$$

$N$  is veel kleiner dan 1, dus is hier sprake van 'verkleining'.

2 De persoon die we fotograferen is 1,60 m lang. Hoe groot wordt zijn beeld op de film?

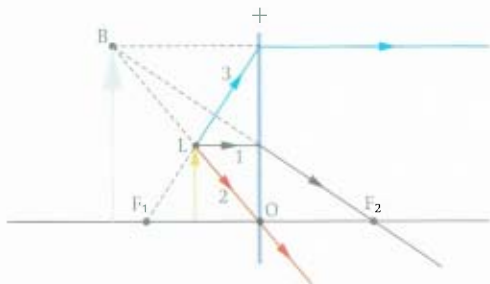
Het beeld wordt 0,0125 maal 'verkleind'. Dus het beeld op de film wordt  $0,0125 \times 1,60 \text{ m} = 0,02 \text{ m}$ . Op het negatief zie je de persoon dus 2 cm groot.

### Vergroting bij een loep

Als we een lens gebruiken als loep, ontstaat het beeld aan dezelfde kant van de lens als het voorwerp (figuur 10). 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:  $v$  is kleiner dan  $f$ . Met behulp van de lenzenformule vinden we dan een *negatieve* beeldafstand. Kijk maar in voorbeeld 3.

FIG. 10 Een lens gebruikt als loep.



### VOORBEELD 3

We gebruiken een lens met een brandpuntsafstand van 3,0 cm als loep. De voorwerpsafstand is 2,0 cm.

1 Hoe groot is de beeldafstand?

Gegeven:

$$v = 2,0 \text{ cm}$$

$$f = 3,0 \text{ cm}$$

Gevraagd:

$b$

Formule:

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

Oplossing:

$$\frac{1}{2} + \frac{1}{b} = \frac{1}{3}$$

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

$$\frac{1}{b} = 0,333 - 0,500 = -0,167$$

$$b = \frac{1}{-0,167} = -6,0 \text{ cm}$$

De beeldafstand is *min* 6 cm. Dit is ook logisch als je in figuur 10 kijkt: het beeld ligt 'aan de verkeerde kant' van de lens.

2 Bereken in deze situatie de vergroting.

Gegeven:

$$v = 2,0 \text{ cm}$$

$$b = -6,0 \text{ cm}$$

Gevraagd:

$N$

Formule:

$$N = \frac{b}{v}$$

Oplossing:

$$N = \frac{6}{2} = 3$$

$N$  is groter dan 1, dus bij een loep (vergrootglas) hebben we uiteraard te maken met vergroting. LET OP: als we de vergroting berekenen, laten we het minteken weg. Het beeld is 3 maal zo groot. (-3 maal zo groot is onzin!)

### De sterkte van een lens

Bij een spiegelreflexcamera kan de lens verwisseld worden. De standaardlens heeft een brandpuntsafstand van 5,0 cm. Ook lenzen met een brandpuntsafstand van 3,5 cm of 20,0 cm kunnen gebruikt worden (figuur 11).

De brandpuntsafstand bepaalt de convergerende werking van de lens: hoe *kleiner* de brandpuntsafstand, des te *sterker* is de convergerende werking.

FIG. 11 Verschillende soorten lenzen.

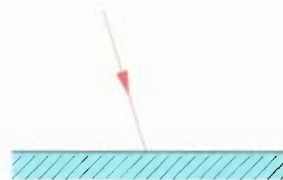


## BLOK 4 BASISSTOF

### WO

- 1 Een lichtstraal valt op een vlakke spiegel (figuur 12).
  - a Meet in de tekening de hoek van inval op.
  - b Neem de tekening over en geef in de tekening de hoek van inval aan.
  - c Teken met behulp van de terugkaatsingswet de teruggekaatste straal.
  - d Geef in de tekening de hoek van terugkaatsing aan.

FIG. 12 Een lichtstraal valt op een vlakke spiegel.



- 2 Een lamp hangt voor een vlakke spiegel (figuur 13).
  - a Neem de tekening zorgvuldig over.
  - b Teken twee willekeurige lichtstralen die op de spiegel vallen.
  - c Teken met behulp van de terugkaatsingswet hoe deze twee stralen terugkaatsen.
  - d Bepaal met behulp van de teruggekaatste stralen de plaats van het beeld van de lamp.

FIG. 13 Een lamp hangt voor een vlakke spiegel.







FIG. 14 Een brandende kaars staat voor een vlakke spiegel.

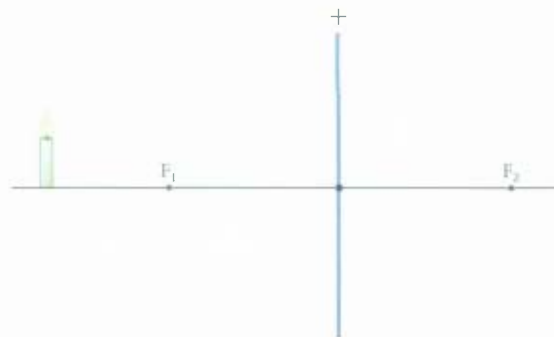


FIG. 15 Een bolle lens vormt een beeld van een brandende kaars

- 3 Een brandende kaars staat voor een vlakke spiegel (figuur 14).
  - a Neem de tekening zorgvuldig over en teken het beeld van de brandende kaars met behulp van de regel voorwerpsafstand = beeldafstand.
  - b Teken vanuit de vlam lichtstralen naar de randen van de spiegel.
  - c Teken hoe deze stralen worden teruggekaatst met behulp van het beeld.
  - d Waaruit blijkt dat op de plaats van het getekende oog de kaarsvlam niet zichtbaar is?
  
- 4 a Maak een schematische tekening van een holle lens met een brandpuntsafstand van 2,5 cm.
  - b 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.
  - a Teken de randen van de lichtbundel die door de lens gaat.  
Achter de lens staat een scherm op 5,0 cm van de lens.
  - b Geef in de tekening aan welk deel van het scherm niet verlicht wordt.
  
- 6 Een bolle lens vormt een beeld van een brandende kaars (figuur 15). De diameter van de lens is 4,0 cm.
  - a Neem de tekening zorgvuldig over en bepaal met behulp van de drie bijzondere lichtstralen het beeld van de kaars.
  - b Meet in de tekening de voorwerpsafstand en de beeldafstand.
  - c Teken de randen van de lichtbundel die door de lens wordt doorgelaten.
  - d 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 van een kaars een beeld. 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.
  
- 8 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.
  - a Teken met behulp van de drie bijzondere lichtstralen het beeld van de lucifer.
  - b Meet in de tekening de beeldafstand en de grootte van het beeld.

# T1 Lichtbreking

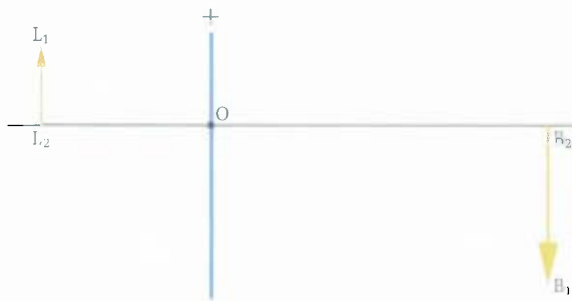


FIG. 16 Een bolle lens vormt van een voorwerp een beeld.

- c Bereken met behulp van de lenzenformule de beeldafstand.
  - d Bereken de vergroting en de grootte van het beeld.
  - e Ga na of de berekende waarden overeenkomen met de gemeten waarden.
- 9 Een bolle lens vormt van een voorwerp een beeld (figuur 16).
- a Meet in de tekening de voorwerpsafstand en de beeldafstand.
  - b Bereken de brandpuntsafstand van de bolle lens.
  - c Bereken de vergroting.
- 10 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.
- a Bereken de beeldafstand van de letters.
  - b Bereken de vergroting.
  - c Bereken de grootte van de letters die je ziet door de loep.

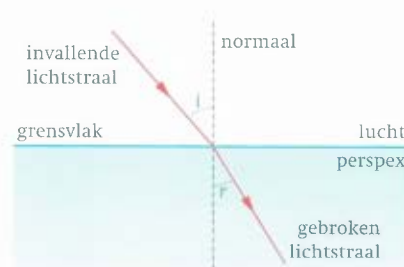
Een bundel licht die op een lens valt, wordt door de lens gebroken (gaat niet rechtdoor). De breking vindt plaats aan de grensvlakken tussen de lucht en de lens. Als een lichtstraal de lens in gaat (overgang tussen lucht en perspex) verandert de lichtstraal van richting. Ook als de lichtstraal de lens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

## Lichtbreking aan een grensvlak

Om het verschijnsel lichtbreking te kunnen beschrijven, maken we de volgende afspraken:

- De normaal is een (gestippelde) lijn loodrecht op het grensvlak tussen twee stoffen (figuur 17).
- De hoek van inval ( $i$ ) is de hoek tussen de invallende straal en de normaal.
- De hoek van breking ( $r$ ) is de hoek tussen de normaal en de gebroken straal ( $r$  komt van refractie = breking).
- Als het licht zich in stof 1 sneller voortbeweegt dan in stof 2, noemen we stof 1 *optisch ijler* dan stof 2.
- Als het licht zich juist langzamer voortbeweegt in stof 1 dan in stof 2, noemen we stof 1 *optisch dichter* dan stof 2.

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





## LICHTSNELHEID IN VERSCHILLENDE STOFFEN

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

$$c_{\text{lucht}} = 300\,000 \text{ km/s}$$

$$c_{\text{glas}} = 200\,000 \text{ km/s}$$

$$c_{\text{perspex}} = 200\,000 \text{ km/s}$$

$$c_{\text{water}} = 230\,000 \text{ km/s}$$

Voor lichtbreking gelden de volgende drie regels:

1 Bij de overgang van een optisch ijle stof naar een optisch dichtere stof is er breking *naar de normaal toe* (figuur 18).

Anders gezegd:  $\angle r$  is *kleiner* dan  $\angle i$ .

Deze overgang zie je bijvoorbeeld als licht van lucht naar glas gaat.

2 Bij de overgang van een optisch dichte stof naar een optisch ijlere stof is er breking *van de normaal af* (figuur 19).

Anders gezegd:  $\angle r$  is *groter* dan  $\angle i$ .

Deze overgang zie je bijvoorbeeld als licht van perspex naar lucht gaat.

3 Bij een loodrechte overgang is er *nooit* breking (figuur 20).

Anders gezegd:  $\angle i = 0^\circ$  en  $\angle r = 0^\circ$  (Pas op: zeg niet  $\angle i = 90^\circ$ .)

De stoffen doen er hier niet toe: er is nooit breking.

FIG. 21 Als  $\angle i$  gelijk is aan de grenshoek  $g$ , scheert de gebroken straal langs het grensvlak.

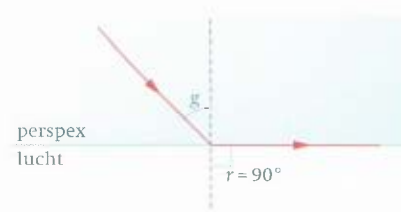
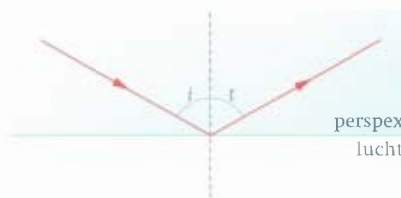


FIG. 22 Totale terugkaatsing als  $\angle i$  groter is dan de grenshoek.



## De grenshoek

Bij de overgang naar een optisch ijlere stof (bijvoorbeeld van perspex naar lucht) is er een grensgeval. Bij een bepaalde hoek van inval, de *grenshoek*  $g$ , is de hoek van breking  $90^\circ$ . De gebroken lichtstraal scheert dan langs het grensvlak (figuur 21).

Als de hoek van inval *groter* is dan de grenshoek, wordt al het licht teruggekaatst (figuur 22).

FIG. 18 Bij de overgang naar een optisch dichtere stof wordt de lichtstraal naar de normaal toe gebroken.

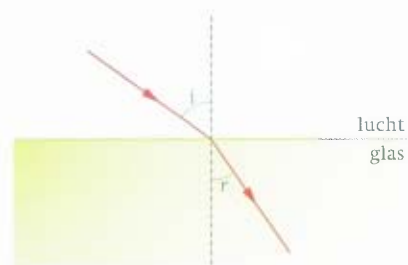


FIG. 19 Bij de overgang naar een optisch ijlere stof wordt de lichtstraal van de normaal af gebroken.

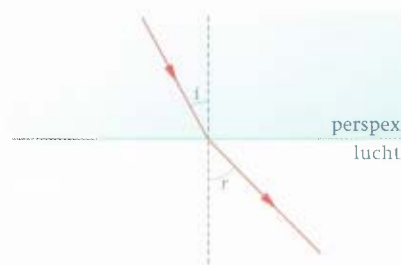
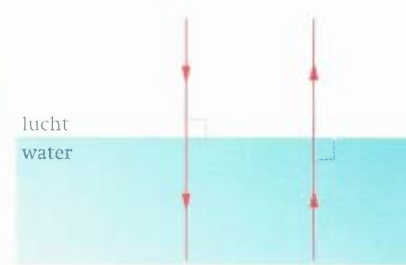


FIG. 20 Bij loodrechte overgang vindt nooit breking plaats.



## BLOK 4 BASISSTOF

### W1

- 1 Een lichtstraal wordt gebroken bij de overgang van lucht naar water (figuur 23).
  - a Meet de hoek van inval.
  - b Is er sprake van breking van de normaal af of naar de normaal toe? Licht je antwoord toe.
  - c Neem de tekening over en schets de gebroken lichtstraal. (Let op: het precieze aantal graden van  $\angle r$  doet er niet toe.)
- 2 Een lichtstraal wordt gebroken bij de overgang van perspex naar lucht (figuur 24).
  - a Meet de hoek van inval.
  - b Is er sprake van breking van de normaal af of naar de normaal toe? Licht je antwoord toe.
  - c Neem de tekening over en schets de gebroken lichtstraal. (Let op: het precieze aantal graden van  $\angle r$  doet er weer niet toe.)
- 3 Een lichtstraal wordt gebroken bij de overgang van stof 1 naar stof 2 (figuur 25).
  - 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.

FIG. 25 Breking bij de overgang van stof 1 naar stof 2.

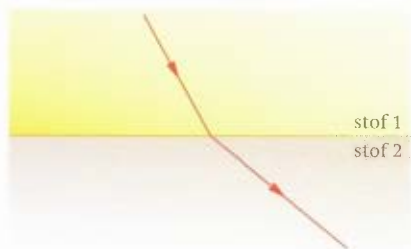


FIG. 23 Een lichtstraal wordt gebroken bij de overgang van lucht naar water.

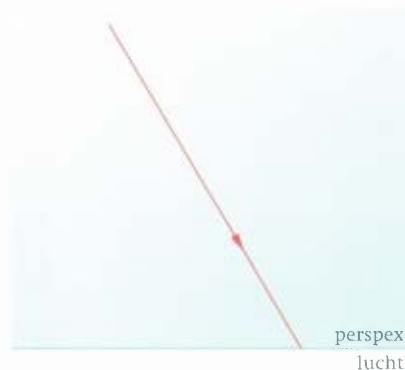


FIG. 24 Een lichtstraal wordt gebroken bij de overgang van perspex naar lucht.

- 4 Een lichtstraal valt op het midden van de rechte zijde van een half-cilindrische lens (figuur 26).
  - a Meet de hoek van inval.
  - b Neem de tekening over en schets het verdere verloop van de lichtstraal.

FIG. 26 Een lichtstraal valt op een half-cilindrische lens.





## T2 Optisch bedrog en kleurschifting

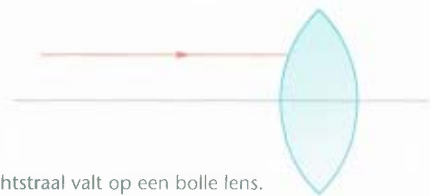


FIG. 27 Een lichtstraal valt op een bolle lens.

- 5 Een lichtstraal valt op een bolle lens (figuur 27).
  - a Neem de tekening over en schets het verloop van de lichtstraal door de lens.
  - b In welk punt snijdt de gebroken lichtstraal de hoofdas?
  
- 6 Een lichtstraal wordt gebroken bij de overgang van lucht naar glas. De hoek van inval is  $50^\circ$ . De hoek van breking is  $30^\circ$ .
  - 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 spiegel-tje (figuur 28). De getekende lichtstraal wordt eerst gebroken bij de overgang van lucht naar water.
  - a Neem de tekening over en schets hoe de lichtstraal gebroken wordt. Vervolgens wordt deze straal teruggekaatst door het spiegel-tje.
  - b Teken hoe deze lichtstraal teruggekaatst wordt. Tenslotte breekt deze lichtstraal aan het wateroppervlak bij de overgang van water naar lucht.
  - c Schets hoe deze lichtstraal gebroken wordt.

FIG. 28 Op de bodem van een bak met water ligt een spiegel-tje. De lichtstraal wordt teruggekaatst door het spiegel-tje.



FIG. 29 Een 'gebroken' potlood in een glas met water.

### Optisch bedrog door lichtbreking

Een potlood dat schuin in een beerglass met water staat, lijkt bij het wateroppervlak gebroken (figuur 29). Dit *optisch bedrog* (*gezichtsbedrog*) ontstaat doordat het licht dat komt van het deel van het potlood dat onder water zit, bij het wateroppervlak wordt gebroken. Wat je ziet is een beeld van het potlood. De lichtstralen vanaf het potlood worden bij het grensvlak tussen water en lucht van de normaal af gebroken. Voor het oog lijken de lichtstralen uit een ander punt te komen. Hetzelfde gezichtsbedrog zie je ook in een zwembad: de bodem van het bad lijkt 'opgetild'. Het zwembad is dieper dan het lijkt.

### Lichtbreking bij een ruit

Een lichtstraal die schuin op een ruit valt, wordt aan de voor- en achterkant van de ruit 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 achterkant evenwijdig zijn, lopen de invallende en uitgaande lichtstraal evenwijdig (figuur 30).

FIG. 30 Evenwijdige verschuiving bij een ruit. De uittreedende straal loopt evenwijdig aan de invallende straal.

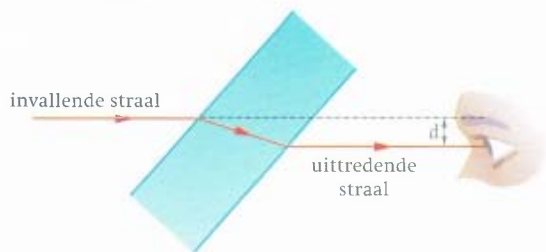


FIG. 31 Bij een dikkere ruit is de evenwijdige verschuiving  $d$  groter.

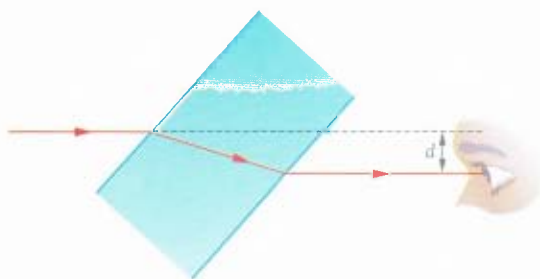
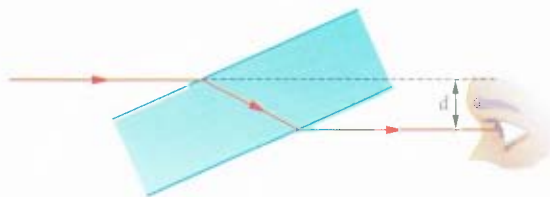


FIG. 32 Als de hoek van inval groter is, is de evenwijdige verschuiving  $d$  ook groter.

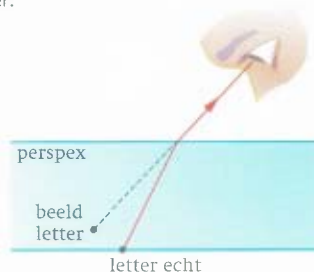


De *evenwijdige verschuiving*  $d$  hangt af van:

- 1 De dikte van de ruit: hoe dikker de ruit des te groter is de verschuiving  $d$  (figuur 30 en 31).
- 2 De hoek van inval: hoe groter de hoek van inval des te groter is de verschuiving  $d$  (figuur 30 en 32).

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

FIG. 33 De stralengang door een perspex blok. De lichtstralen die in het oog vallen, lijken ergens anders vandaan te komen: uit het beeld van een letter.



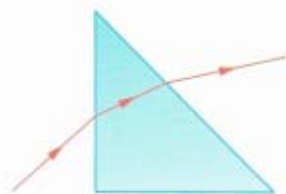
Door de evenwijdige verschuiving zien we een voorwerp achter de ruit iets verschoven. Als we door een perspex blok naar de regels op deze bladzijde kijken, lijken de letters onder het blok hoger te liggen (figuur 33). De verlengden van de lichtstralen die in het oog vallen (gestippeld), komen uit het beeld van een letter.

Als je door een gewone ruit kijkt, merk je (vrijwel) niets van dit verschijnsel. De belangrijkste reden is dat vensterglas daarvoor veel te dun is, bijvoorbeeld 4 mm. De evenwijdige verschuiving hangt immers af van de dikte van de ruit.

## 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 van perspex naar lucht) wordt de lichtstraal van de normaal af gebroken (figuur 34).

FIG. 34 De stralengang door een prisma. De lichtstraal wordt twee keer gebroken.



We draaien het prisma uit figuur 34 zó, dat de hoek van inval op het linker-zijvlak kleiner wordt. Dan wordt de hoek van inval van de lichtstraal, die binnen het prisma op de schuine zijde valt, groter. Die lichtstraal gaat van perspex naar lucht. Als de hoek van inval voor deze lichtstraal gelijk is aan de grenshoek, dan komt de lichtstraal *scherend* langs de zijde van het prisma naar buiten (figuur 35).

Als wit licht zó op een prisma valt dat het scherend uittreedt, blijkt het te zijn gesplitst in verschillende kleuren (figuur 36). We noemen dit verschijnsel *kleurschifting of dispersie*. Zoals je al eerder geleerd hebt, bestaat wit licht uit verschillende kleuren: de kleuren van de regenboog (rood, oranje, geel, groen, blauw en violet).

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

FIG. 35 Een lichtstraal scheert langs de zijde van het prisma, als de hoek van inval gelijk is aan de grenshoek.

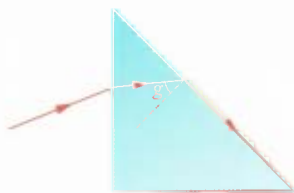
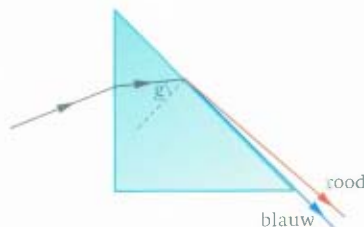
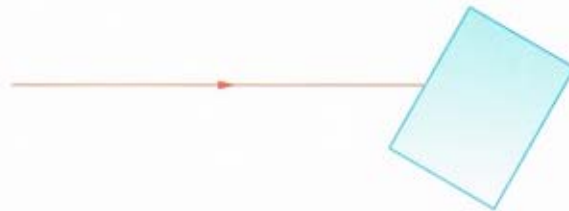


FIG. 36 Kleurschifting bij een prisma. Blauw licht wordt sterker gebroken dan rood licht.



- 1 Een lichtstraal valt op een perspex blok (figuur 37).
  - a Meet de hoek van inval.
  - b Neem de tekening over en schets het verdere verloop van de lichtstraal.

FIG. 37 Een lichtstraal valt op een perspex blok.



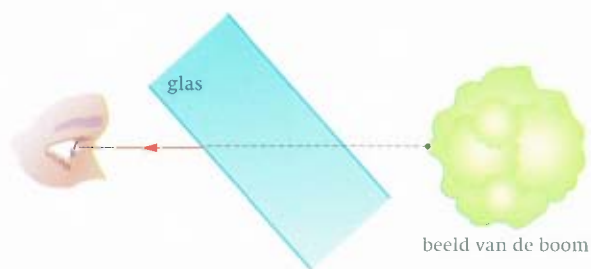
- 2 Een lichtstraal valt op een blok perspex. De lichtstraal treft het grensvlak tussen lucht en perspex loodrecht (figuur 38).
  - a Neem de tekening over en teken het verdere verloop van de lichtstraal.
  - b Waarom vindt er geen evenwijdige verschuiving plaats?

FIG. 38 Een lichtstraal valt loodrecht op een blok perspex.



- 3 Bij een ruit van 30 mm dikte is de evenwijdige verschuiving groter dan bij een ruit van 20 mm dikte.
  - a Maak dit duidelijk met een tekening. We bekijken vervolgens alleen de ruit van 30 mm dikte. De evenwijdige verschuiving bij een hoek van inval van  $60^\circ$  is groter dan bij een hoek van inval van  $20^\circ$ .
  - b Maak dit duidelijk met een tekening.

FIG. 39 Een beeld van een boom gezien door een dikke ruit.



- 4 Je kijkt door een dikke ruit en ziet het beeld van een boom (figuur 39). Staat de boom in werkelijkheid verder naar links of naar rechts? Licht je antwoord toe met een tekening.

FIG. 40 Lichtbreking bij de overgang tussen de ruimte en de dampkring.



FIG. 41 Een visser ziet een vis onder water.

- 5 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.

a Geef hiervoor een verklaring.

In punt P op aarde zie je het licht van de ster uit de aangegeven richting komen (figuur 40).

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

De dampkring is niet altijd even 'optisch dicht'.

c Verklaar hiermee het feit dat sterren aan de hemel soms lijken te 'bibberen'.

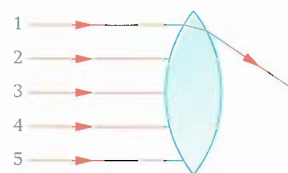
- 6 Een vis zwemt onder water. Een visser ziet de vis in de aangegeven richting (figuur 41).

Hij wil de vis treffen met een pijl. Moet hij voor of achter de vis richten om de vis te treffen? Licht je antwoord toe met een tekening.

- 7 Een bundel lichtstralen valt evenwijdig aan de hoofdas op een lens (figuur 42).

a Neem de tekening over en teken het verloop van de lichtstraal die *ongebroken* door de lens gaat.

FIG. 42 Een bundel evenwijdige lichtstralen wordt gebroken door een lens.





**b** Hoe heet het snijpunt van deze straal met de gebroken straal 1?

**c** Schets het verloop van de andere lichtstralen door de lens.

**d** Waarom wordt straal 1 sterker gebroken dan straal 2?

**8** Een lichtstraal valt op de rechte zijde van een rechthoekig prisma (figuur 43).

**a** Meet de hoek van inval.

**b** Neem de tekening over en schets het verloop van de lichtstraal door het prisma.

FIG. 43 Een lichtstraal valt op een prisma.



In dit herhaalblad hebben we de belangrijkste begrippen bij elkaar gezet die bij lichtbreking een rol spelen. Met deze begrippen kun je dan een aantal oefenopgaven maken.

### Belangrijke begrippen

Een lichtstraal die overgaat van de ene stof naar een andere wordt in het grensvlak gebroken. In figuur 44 is een lichtstraal getekend die het grensvlak treft tussen lucht en water. De normaal is de loodlijn op het grensvlak.

In figuur 44 zie je dat de hoek van inval ( $i$ ) 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 ( $r$ ).

Een deel van het invallende licht wordt teruggekaatst.

De hoek die de teruggekaatste straal maakt met de normaal noemen we de hoek van terugkaatsing ( $t$ ).

### Hoe wordt licht gebroken?

1 Een lichtstraal die overgaat van lucht naar een andere doorzichtige stof breekt *naar de normaal toe*:  $\angle r$  is *kleiner* dan  $\angle i$  (figuur 45). We noemen dit een overgang naar een optisch dichtere stof.

2 Een lichtstraal die overgaat van een doorzichtige stof naar lucht, breekt *van de normaal af*:  $\angle r$  is *groter* dan  $\angle i$  (figuur 46). We noemen dit een overgang naar een optisch ijlere stof.

3 Een lichtstraal die *loodrecht* invalt, wordt *niet* gebroken: als  $\angle i = 0^\circ$  dan is ook  $\angle r = 0^\circ$  (figuur 47).

FIG. 44 Een lichtstraal wordt gebroken als deze overgaat van de ene stof naar een andere.

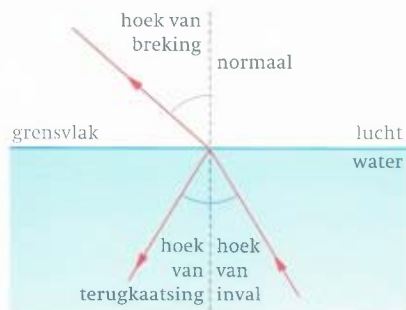


FIG. 45 Breking naar de normaal toe.

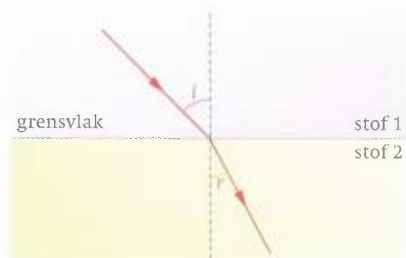


FIG. 46 Breking van de normaal af.

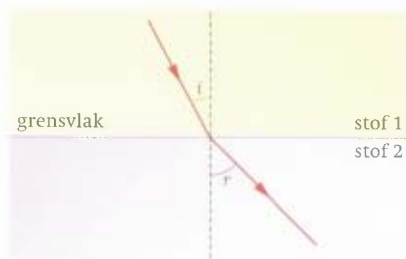
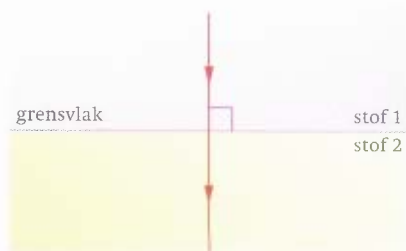


FIG. 47 Een lichtstraal die loodrecht op het grensvlak valt, gaat rechtdoor.



## Samenvatting

- 1 Bij een overgang naar een optisch dichtere stof (van lucht naar glas, perspex of water) wordt licht naar de normaal toe gebroken.
- 2 Bij een overgang naar een optisch ijlere stof (van glas, perspex of water naar lucht) wordt licht van de normaal af gebroken.
- 3 Bij loodrechte inval is er geen breking.

## Opgaven

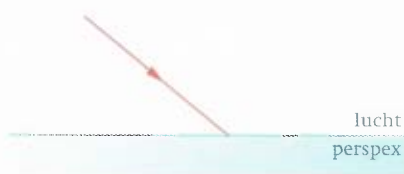
Bij opgaven over lichtbreking moet je vaak het verdere verloop van een lichtstraal tekenen. Doe dat op de volgende manier:

- Teken de normaal.
- Ga na of er sprake is van een overgang naar een optisch ijlere of een optisch dichtere stof.
- Beslis of er breking van de normaal af of naar de normaal toe is.
- Teken nu de gebroken straal.

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

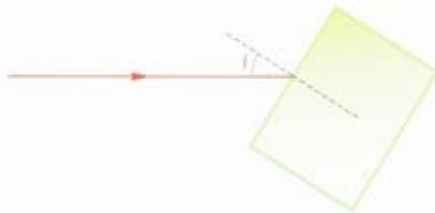
- 1 Neem figuur 48 over en geef in de tekening de normaal, het grensvlak, de hoek van inval, de hoek van breking en de hoek van terugkaatsing aan.

FIG. 48 Een lichtstraal wordt gebroken bij de overgang van lucht naar perspex.



- 2 Een lichtstraal valt scheef op een dik stuk glas (figuur 49).
- a** Hoe heet de stippellijn in figuur 49?
- b** Neem de tekening over en schets het verdere verloop van de lichtstraal.
- c** Hoe komt de lichtstraal uit het glas vergeleken met de invallende lichtstraal?

FIG. 49 Een lichtstraal valt scheef op een dik stuk glas.



- 3 Een lichtstraal gaat door lucht naar het midden van de rechte zijde van een half-cilindrische lens (figuur 50).
- a** Neem de tekening over en teken het verdere verloop van de lichtstraal als de hoek van breking  $r = 20^\circ$ .
- b** Teken met een andere kleur het verloop van een lichtstraal die op het midden van de rechte zijde invalt onder een hoek van  $20^\circ$ .

FIG. 50 Een lichtstraal valt op het midden van de rechte zijde van een half-cilindrische lens.



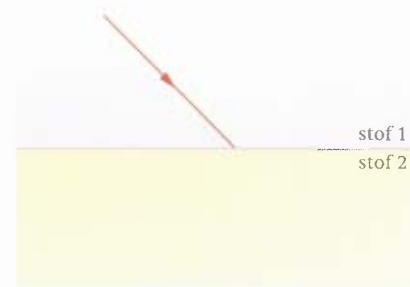
- 4 Een lichtstraal valt vanuit perspex op het midden van de rechte zijde van een half-cilindrische lens (figuur 51).
- Neem de tekening over en teken het verdere verloop van de lichtstraal als de hoek van breking  $r = 60^\circ$ .

FIG. 51 Een lichtstraal verlaat een half-cilindrische lens.



- 5 Een lichtstraal treft het grensvlak tussen stof 1 en stof 2 (figuur 52). Stof 2 is optisch ijler dan stof 1. Schets het verloop van de gebroken straal.

FIG. 52 Een lichtstraal wordt gebroken bij de overgang tussen stof 1 en stof 2.

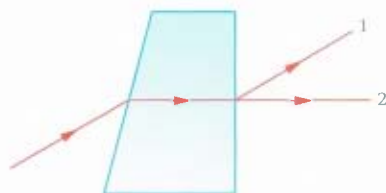


## BLOK 4 HERHAALSTOF

### H2 Oefenen met examenopgaven

- 6 Een lichtstraal gaat door een stuk perspex (figuur 53).  
Op welke manier is het verder verloop van de straal juist getekend: straal 1 of straal 2? Licht je antwoord toe.

FIG. 53 Een lichtstraal gaat door een stuk perspex.



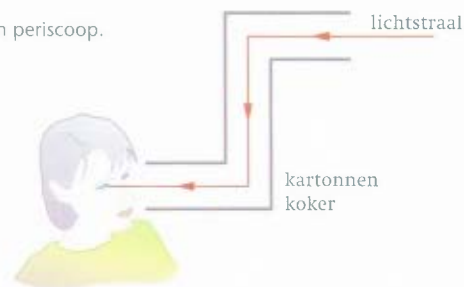
- 7 Je ziet een lichtstraal getekend die door een blok perspex gaat (figuur 54). Wat is er fout in de tekening?

FIG. 54 Een tekening van een lichtstraal die door een perspex blok gaat.



- 1 Bij optochten gebruiken toeschouwers wel eens een periscoop. Met zo'n periscoop kunnen ze over andere toeschouwers heen kijken. Zo'n periscoop is een koker met twee spiegels erin. In figuur 55 is een lichtstraal door de periscoop getekend, maar de spiegels zijn weggelaten.

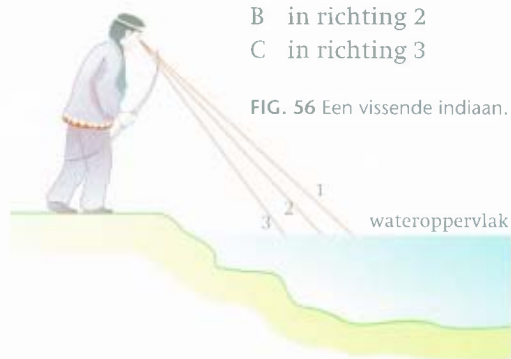
FIG. 55 Een periscoop.



Neem de figuur nauwkeurig over en teken de spiegels zo in de periscoop dat de lichtstraal de getekende weg kan volgen.

- 2 Indianen jagen wel op vissen met pijl en boog. Een indiaan kijkt in het water en ziet een vis in richting 2 (figuur 56).  
In welke richting moet de indiaan schieten om een kans te hebben om de vis te raken?  
A in richting 1  
B in richting 2  
C in richting 3

FIG. 56 Een vissende indiaan.





- 3** Een lamp L uit een lantaarn werpt de schaduwen van twee paaltjes op de grond. In figuur 57 zie je de twee paaltjes met hun schaduw getekend. Neem de figuur nauwkeurig over en construeer vervolgens de plaats van lamp L. Geef deze plaats duidelijk aan met de letter L.

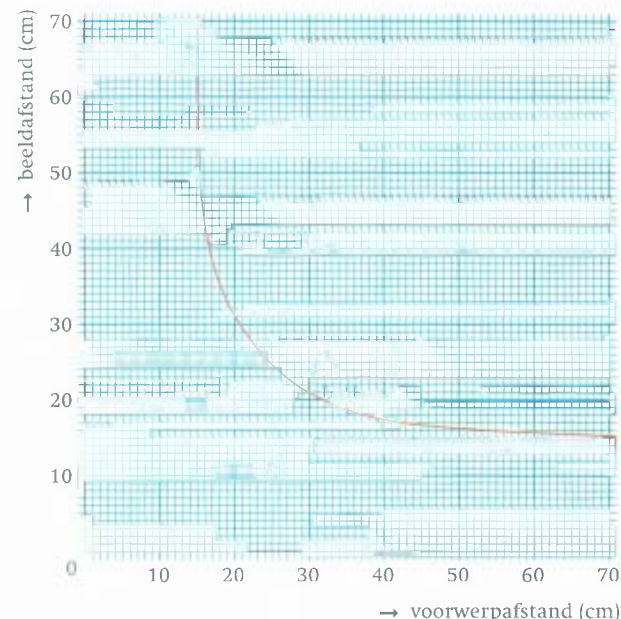
- 4** Iemand heeft tijdens een proef met een lens een aantal metingen gedaan van de voorwerpsafstand en de bijbehorende beeldafstand. In het diagram zie je de resultaten uitgezet (figuur 58). Bereken met behulp van de gegevens uit de grafiek de brandpuntsafstand van de gebruikte lens.

- 5** In de tekening zie je een proefopstelling op ware grootte (figuur 59). Opgesteld zijn: een pijlvormig voorwerp LL', een bolle lens en een scherm S. Op het scherm wordt van het voorwerp een scherp beeld geprojecteerd.
- a** Neem de figuur nauwkeurig over en construeer het beeld dat van het voorwerp op het scherm wordt gevormd.
- b** Bepaal de vergroting met behulp van de figuur.
- c** Bepaal de plaats van één van de brandpunten van de lens door constructie in de figuur of door berekening. Geef dit punt in de figuur aan met de letter F.

FIG. 57 De schaduw van twee paaltjes.



FIG. 58 Een beeldafstand-voorwerpsafstand-diagram.



- 6** Een prisma is een driehoekig stuk glas. Op het prisma valt in P een lichtstraal die in Q het prisma verlaat. Je ziet vier tekeningen (figuur 60). In welke tekening is het verloop van de lichtstraal juist aangegeven?
- A in tekening a
- B in tekening b
- C in tekening c
- D in tekening d

FIG. 59 Een proefopstelling voor een projectie.

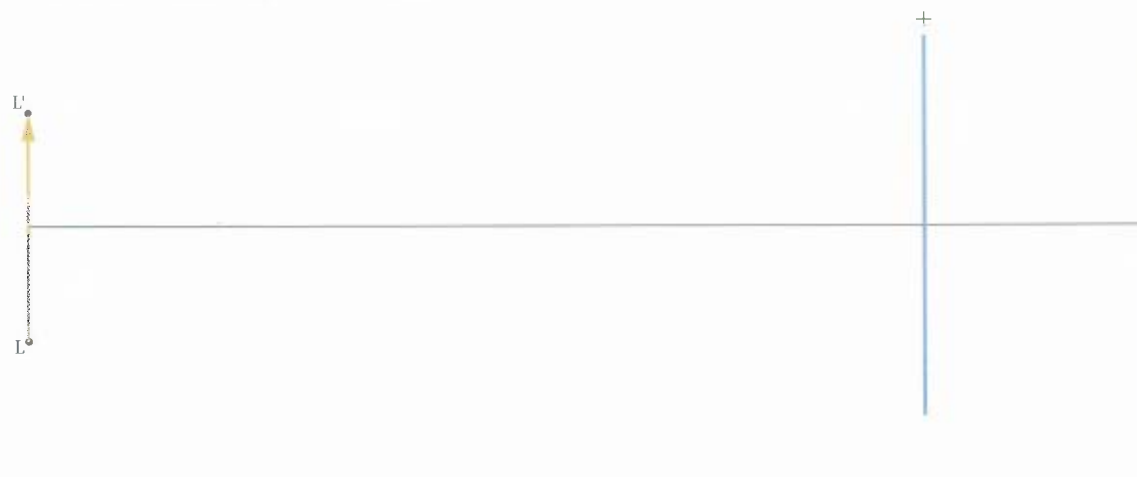


FIG. 60 Vier prisma's.

