

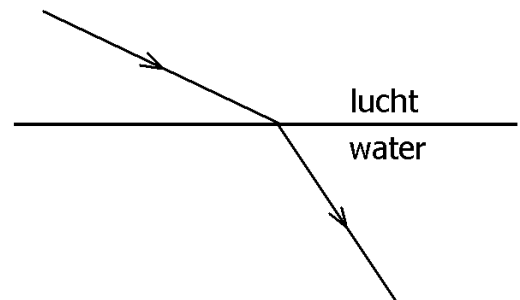
Wet van Snellius

- § 1 Lichtbreking
- § 2 Wet van Snellius
- § 3 Terugkaatsing van licht tegen een grensvlak

§ 1 Lichtbreking

Lichtbreking

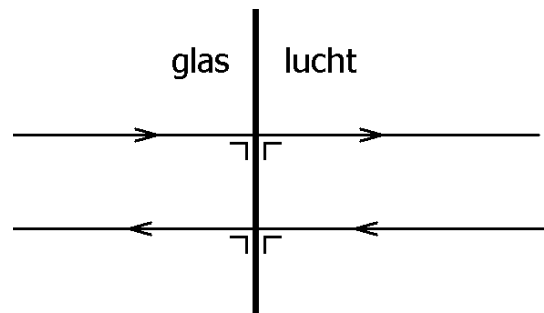
Als een lichtstraal het grensvlak tussen lucht en water passeert, zal de lichtstraal in het algemeen van richting veranderen. Zie de figuur hiernaast. Dit geldt niet alleen als licht van lucht naar water gaat maar ook omgekeerd van water naar lucht. Dit verschijnsel heet lichtbreking.



Op deze manier maakt lichtbreking aan het wateroppervlak het moeilijk om een vis met een speer te vangen. Boven het wateroppervlak lijkt een vis namelijk hoger te zwemmen dan hij in werkelijkheid doet. Ervaren jagers houden daar rekening mee.

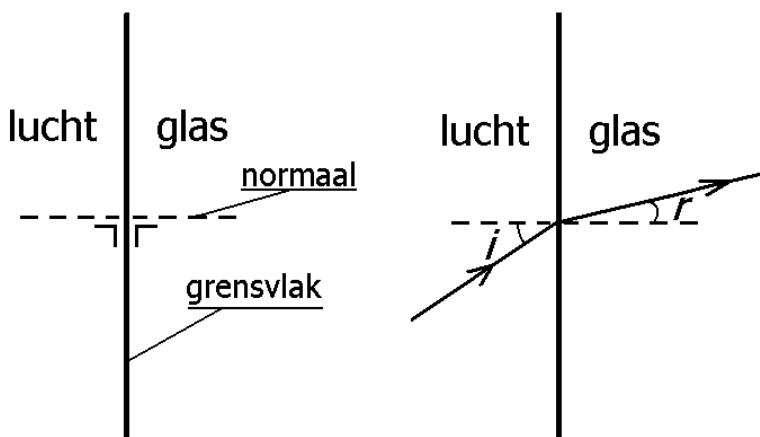
Loodrechte inval

Lichtbreking vindt in het algemeen plaats bij het scheidingsvlak tussen twee willekeurige stoffen A en B. Als een lichtstraal echter loodrecht op een grensvlak invalt, zal de doorgaande lichtstraal nooit van richting veranderen. Dit geldt in beide richtingen (van A naar B maar ook van B naar A). Zie bijvoorbeeld de figuur hiernaast. In alle andere gevallen wordt de doorgelaten straal wel gebroken. **Kortom: alleen bij loodrechte inval vindt er geen lichtbreking plaats.**



Normaal, hoek van inval en hoek van breking

Onder de normaal verstaan we de denkbeeldige lijn die loodrecht op het grensvlak staat. De normaal wordt getekend als een stippellijn zoals in de onderstaande linker figuur. De hoek van inval (symbool i) is de hoek tussen de invallende lichtstraal en de normaal. De hoek van breking (symbool r) is de hoek tussen de doorgaande straal en de normaal. De letter r is afkomstig van het woord refractie wat breking betekent. Zie de onderstaande rechter figuur.

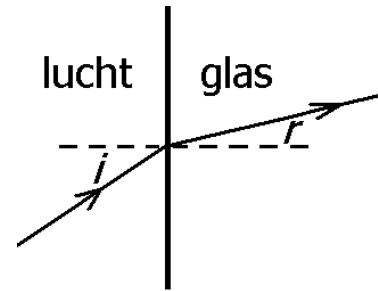


Breking naar de normaal toe en van de normaal af

Als een lichtstraal overgaat van vacuüm of lucht naar een doorzichtige vloeistof of vaste stof, is de hoek van breking kleiner dan de hoek van inval.

Dus geldt dat $r < i$.

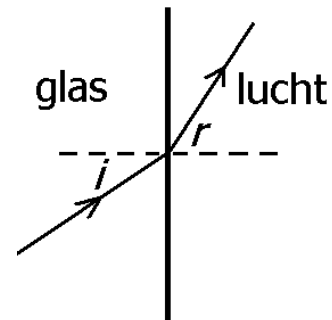
We zeggen dat de lichtstraal naar de normaal toe breekt. Zie de figuur hiernaast.



Als een lichtstraal overgaat van een doorzichtige vloeistof of vaste stof naar vacuüm of lucht, is de hoek van breking groter dan de hoek van inval.

Dus geldt dat $r > i$.

We zeggen dat de lichtstraal van de normaal af breekt. Zie de figuur hiernaast.



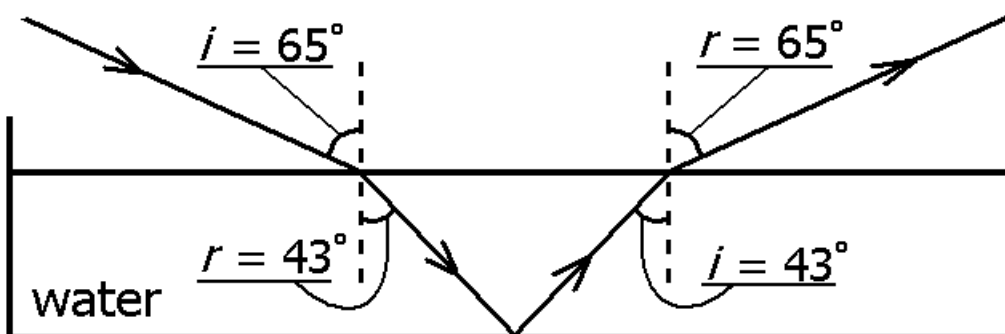
Lichtstralen zijn omkeerbaar

Lichtstralen zijn omkeerbaar. Dat wil zeggen dat de richting van de lichtstralen kan omkeren zonder dat de weg waarlangs het licht loopt verandert. Dit is een eigenschap van licht in het algemeen. In het geval van een lichtstraal die bij een grensvlak gebroken wordt komt het omkeren van de richting op het volgende neer:

- de hoek van breking wordt de hoek van inval;
- de hoek van inval wordt de hoek van breking.

Deze eigenschap kan in veel gevallen gebruikt worden. Zie het volgende voorbeeld.

In de onderstaande figuur is een aquarium gevuld met water. De bodem van het aquarium is horizontaal en spiegelend. Een lichtstraal valt op het wateroppervlak en wordt gebroken. De hoek van inval is hierbij 65° en de hoek van breking 43° . Als de (tegen de bodem) teruggekaatste straal dan onder een hoek van 43° invalt, zal de hoek van breking 65° zijn.



Opgaven bij § 1

Opgave 1

Omschrijf de volgende begrippen.

- de normaal
- de hoek van inval
- de hoek van breking

Opgave 2

Wat wordt bedoeld met “breking naar de normaal toe”? Gebruik in je antwoord de begrippen hoek van inval en hoek van breking.

Wat wordt bedoeld met “breking van de normaal af”? Gebruik in je antwoord de begrippen hoek van inval en hoek van breking.

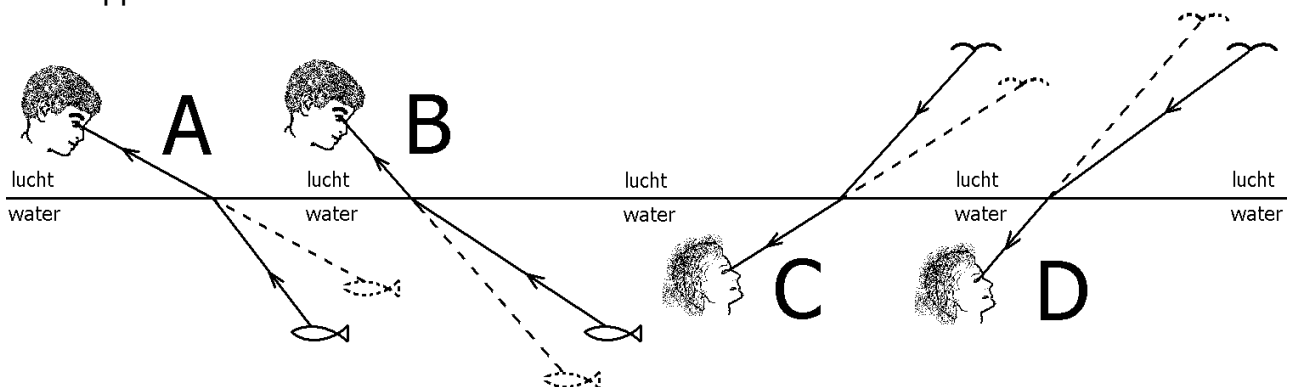
Opgave 3

Zonnestralen vallen op het water van een sloot. De lichtstralen worden gebroken. Is hier sprake van breking naar de normaal toe of breking van de normaal af?

Opgave 4

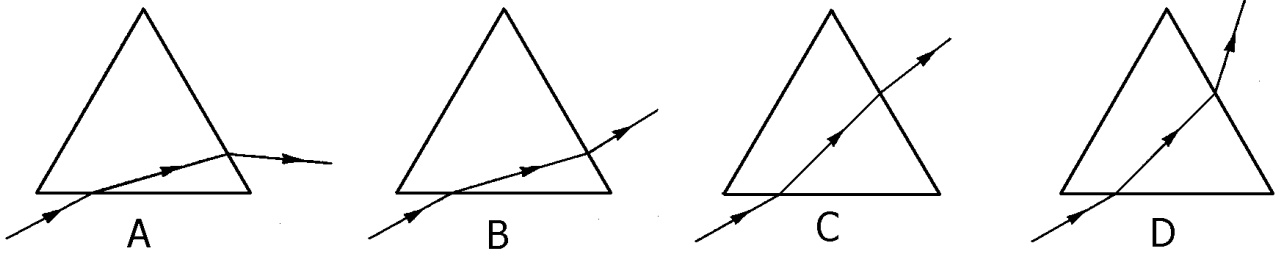
In de onderstaande figuren kijkt Jeroen naar een zwemmende vis en Marieke onder water naar een vliegende vogel. Doordat de lichtstralen bij het wateroppervlak gebroken worden, lijken de vis en de vogel op een andere plek te zitten dan waar ze in werkelijkheid zitten. De lichtstralen zijn in twee figuren juist getekend en in de andere twee figuren onjuist getekend.

In welke figuren kloppen de lichtstralen? Teken zo nodig eerst de normalen op het wateroppervlak.



Opgave 5

In welke van de onderstaande figuren is de loop van een lichtstraal vanuit lucht door een glazen prisma het best getekend? Omcirkel A, B, C of D. Teken zo nodig eerst de normalen op de oppervlakken.

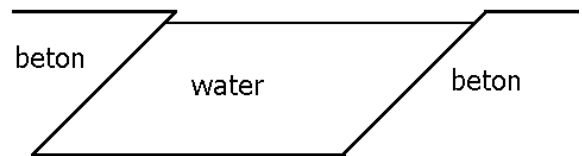


Opgave 6

Een vijver heeft een vreemde vorm. In het water zwemt een klein visje.

Geef in de figuur globaal aan in welk gebied het visje moet zwemmen om niet te worden opgemerkt door het oog.

Tip: maak gebruik van de omkeerbaarheid van lichtstralen. Vervang in je gedachten het oog door een klein lampje. Vanuit het lampje vallen er lichtstralen op het wateroppervlak. Ga vervolgens na waar de lichtstralen onder water niet kunnen komen.



Opgave 7

Een lichtstraal loopt door een dikke plaat van een doorzichtige stof. Zie de figuur hiernaast. In de figuur is de lichtstraal die uit de plaat komt niet getekend. De twee grensvlakken waar breking plaatsvindt zijn evenwijdig.

a.

Bepaal met een gradenboog (geodriehoek) de hoek van inval en de hoek van breking bij het linker grensvlak. Teken zonodig eerst de normaal.

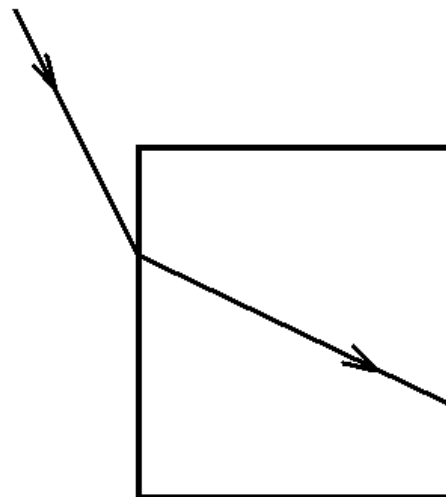
$i =$ _____ en $r =$ _____.

b.

Hoe groot is de hoek van inval en de hoek van breking bij het rechter grensvlak? $i =$ _____ en $r =$ _____.

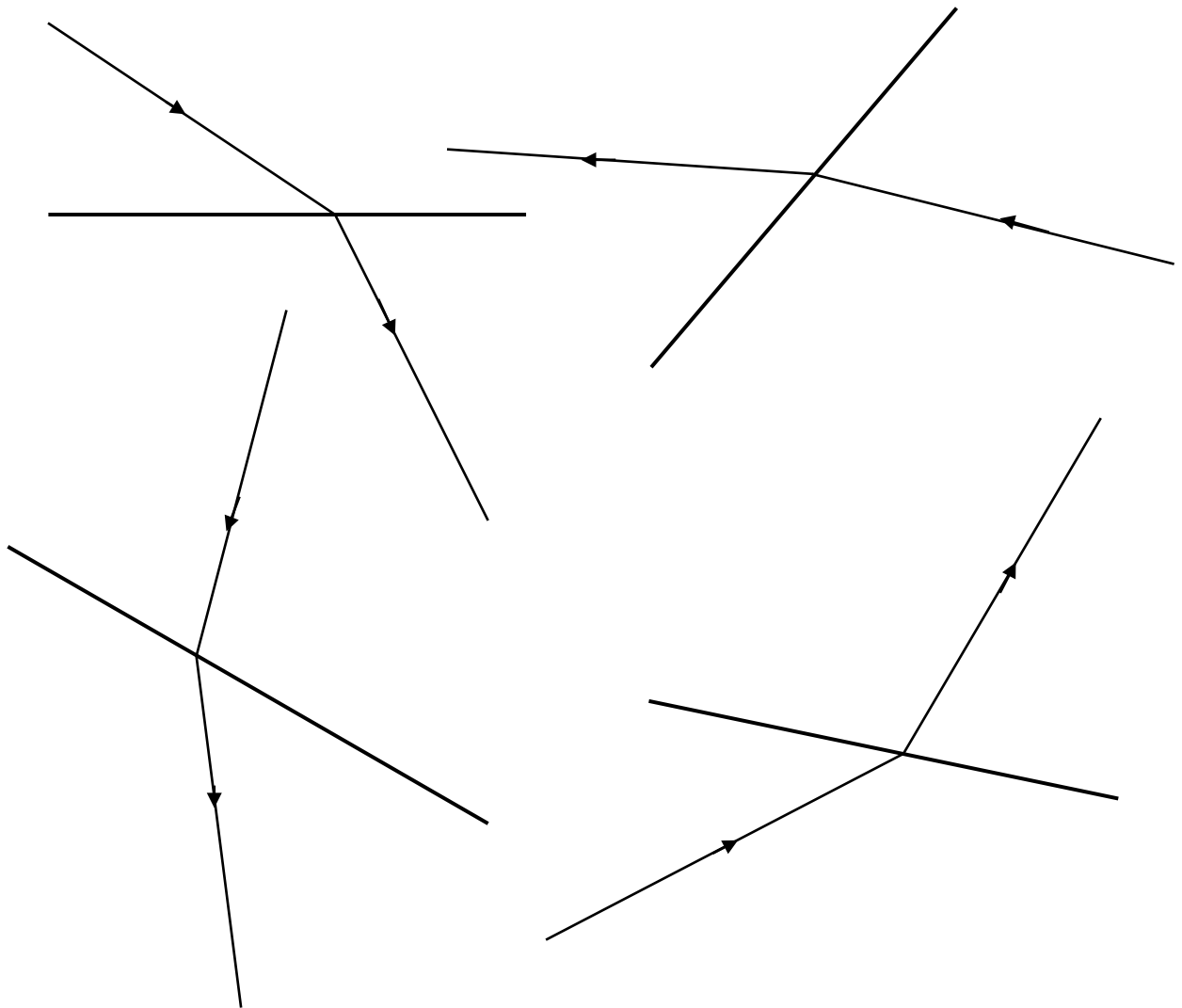
c.

Teken de lichtstraal die uit de plaat komt.



Opgave 8

In de volgende figuren breekt een lichtstraal bij het grensvlak tussen lucht en een doorzichtige stof (zoals glas of ijs). Teken in elke figuur de normaal. Bepaal daarna met een gradenboog (of geodriehoek) de hoek van inval en de hoek van breking (in elke figuur).



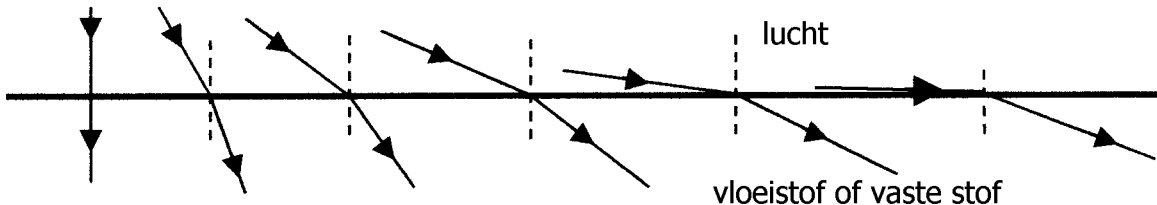
Opgave 9

Ga in de vorige opgave na aan welke kant van het grensvlak lucht zit.

§ 2Wet van Snellius

Geval 1: overgang van lucht (of vacuüm) naar een vloeistof of vaste stof

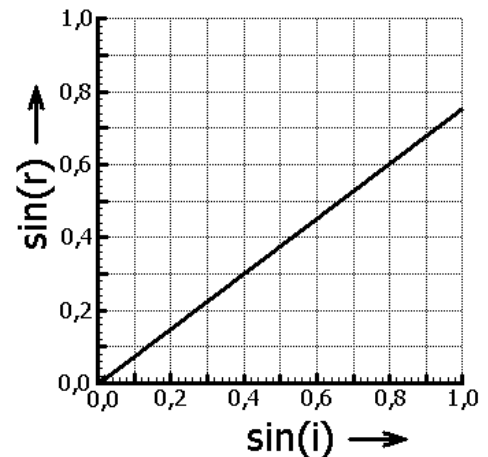
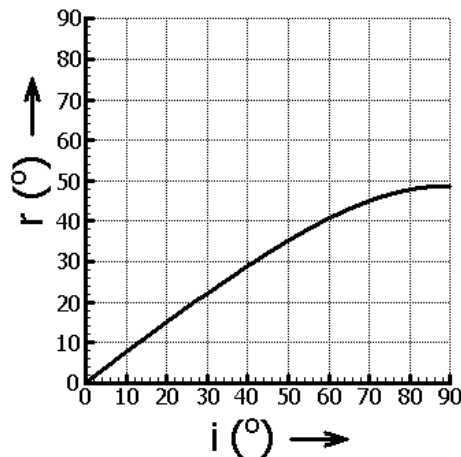
In de onderstaande figuur zijn lichtstralen getekend die van lucht naar een doorzichtige vloeistof of vaste stof gaan. Dat wordt in deze paragraaf geval 1 genoemd. In de figuur wordt de hoek van inval steeds groter.



Er vallen twee dingen op, namelijk:

- De lichtstralen breken naar de normaal toe (dit is al in de vorige paragraaf behandeld).
- Als de hoek van inval groter wordt, wordt de hoek van breking ook groter.

Als je de hoek van breking r uitzet tegen de hoek van inval i , krijg je een diagram zoals hiernaast (links). Hierbij gaan de lichtstralen van lucht naar water. Zoals te zien is loopt de grafiek gebogen.



De Nederlandse wiskundige

Willebrord Snel van Royen (1581–1626) ontdekte dat als je de sinus van beide hoeken tegen elkaar uitzet (dus $\sin(r)$ uitzetten tegen $\sin(i)$), de grafiek recht wordt. Bovendien gaat deze grafiek door de oorsprong. Zie het rechter diagram. Blijkbaar zijn $\sin(i)$ en $\sin(r)$ evenredig met elkaar.

Uit het bovenstaande volgt dat als je de sinus van de hoek van inval deelt door de sinus van de hoek van breking, je steeds dezelfde uitkomst krijgt. Deze uitkomst wordt de 'brekingsindex' genoemd en aangegeven met de letter n . Zie onderstaande formule die bekend staat als de wet van Snellius.

$$\frac{\sin(i)}{\sin(r)} = n$$

(geval 1: van lucht of vacuüm => vloeistof of vaste stof)

Iedere doorzichtige stof heeft zijn eigen brekingsindex. Zie de tabellen hiernaast. Zo heeft bijvoorbeeld water een brekingsindex van 1,3. Hoe groter de brekingsindex is, des te sterker het licht wordt gebroken. De brekingsindex van een stof is altijd groter dan 1 (één) en meestal kleiner dan 2 (twee). Opvallend is de sterke lichtbreking bij diamant.

vloeistoffen	
stof	brekingsindex
aceton	1,4
alcohol	1,4
slaolie	1,5
water	1,3

vaste stoffen	
stof	brekingsindex
diamant	2,4
glas	1,5
perspex	1,5
ijs	1,3

Licht gedraagt zich (bijna) gelijk in lucht en vacuüm. Het maakt daarom praktisch geen verschil of de lichtstralen vanuit lucht of vanuit vacuüm op het grensvlak vallen. In beide gevallen is de bovenstaande wet van Snellius geldig.

Getallenvoorbeeld van geval 1

Stel dat een lichtstraal vanuit lucht op glas valt en dat de hoek van inval 31° is. Je kunt dan met de wet van Snellius de hoek van breking berekenen. Daarvoor moet je allereerst de brekingsindex van glas weten. In de tabel vind je: $n = 1,5$.

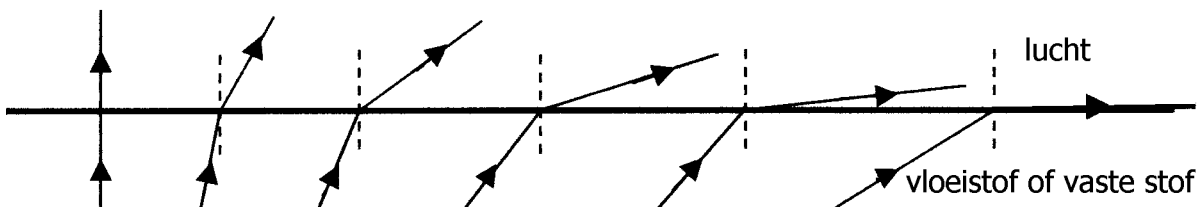
Met de wet van Snellius krijg je dan:

$$\sin(r) = \frac{\sin(i)}{n} = \frac{\sin(31^\circ)}{1,5} = \frac{0,515}{1,5} = 0,343$$

Uit $\sin(r)=0,343$ volgt dat de hoek van breking 20° is. Ga dat na!

Geval 2: overgang van een vloeistof of vaste stof naar lucht (of vacuüm)

In de onderstaande figuur zijn lichtstralen getekend die van een doorzichtige vloeistof of vaste stof naar lucht gaan. Dat wordt in deze paragraaf geval 2 genoemd. In de figuur wordt de hoek van inval steeds groter.



Er vallen twee dingen op namelijk:

- De lichtstralen breken van de normaal af (dit is al in de vorige paragraaf behandeld).
- Als de hoek van inval groter wordt, wordt de hoek van breking ook groter.

Het verband tussen de hoek van inval (i) en de hoek van breking (r) wordt gegeven door de volgende formule:

$$\frac{\sin(r)}{\sin(i)} = n$$

(geval 2: van vloeistof of vaste stof => lucht of vacuüm)

Ook deze formule wordt de wet van Snellius genoemd. Het enige verschil tussen geval 1 en geval 2 is dat i en r verwisseld zijn. Dat is logisch als je bedenkt dat lichtstralen omkeerbaar zijn.

Ook nu maakt het in de praktijk geen verschil of de lichtstraal bij het passeren van het grensvlak naar lucht of naar vacuüm gaat. De hoek van breking is in beide gevallen gelijk.

Getallenvoorbeeld van geval 2

Stel dat een lichtstraal overgaat van diamant naar lucht waarbij de hoek van inval 20° is. Je kunt dan met de wet van Snellius de hoek van breking berekenen. Allereerst moet je weer de brekingsindex weten. Voor diamant geldt (zie tabel): $n = 2,4$.

Met de wet van Snellius krijg je dan:

$$\sin(r) = n \cdot \sin(i) = 2,4 \cdot \sin(20^\circ) = 2,4 \cdot 0,342 = 0,82$$

Uit $\sin(r)=0,82$ volgt dat de hoek van breking 55° is. Ga dat na!

Voorbeeld van een opgave

In de figuur hiernaast valt een lichtstraal op een dikke glasplaat. De hoek van inval bedraagt 60° . De hoek tussen het linker en rechter glasoppervlak bedraagt 10° . Bepaal en teken het verdere verloop van de lichtstraal.

Oplossing

Bij het linker glasoppervlak is er sprake van geval 1.

De wet van Snellius wordt dan:

$$\sin(r) = \frac{\sin(i)}{n} = \frac{\sin(60^\circ)}{1,5}$$

Hieruit volgt: $r = 35^\circ$

Bij het rechter glasoppervlak is er sprake van geval 2.

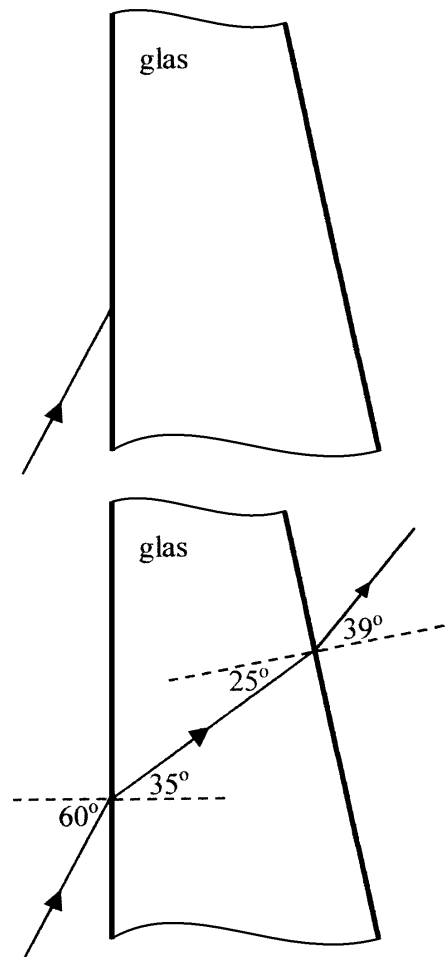
De hoek van inval is $35^\circ - 10^\circ = 25^\circ$.

De wet van Snellius wordt dan:

$$\sin(r) = n \cdot \sin(i) = 1,5 \cdot \sin(25^\circ)$$

Hieruit volgt: $r = 39^\circ$

Met de berekende waarden kan het verdere verloop van de lichtstraal getekend worden. Zie de figuur hiernaast.



Opgaven bij § 2

Opgave 1

Schrijf de wet van Snellius op voor de breking van licht naar een doorzichtige vloeistof of vaste stof.

Opgave 2

Schrijf de wet van Snellius op voor de breking van een doorzichtige vloeistof of vaste stof naar lucht.

Opgave 3

Omschrijf het begrip 'brekingsindex'.

Opgave 4

Tussen welke twee waarden ligt de brekingsindex van de meeste stoffen?

Opgave 5

Zoals bekend is zullen lichtstralen bij de overgang van vacuüm (of lucht) naar een doorzichtige vloeistof of vaste stof van richting veranderen. Natuurkundigen hebben ontdekt dat dit wordt veroorzaakt door een verandering van de lichtsnelheid. Daarover gaat deze opgave.

Licht plant zich in vacuüm en in lucht voort met een snelheid van 300 duizend kilometer per seconde. In een doorzichtige stof plant licht zich altijd met een kleinere snelheid voort. De brekingsindex van een stof geeft aan hoeveel keer de lichtsnelheid in die stof kleiner is dan in vacuüm. Bereken nu de lichtsnelheid in glas.

Opgave 6

Een lichtstraal valt vanuit lucht op een dikke glazen plaat. De hoek van inval is 61° . De brekingsindex van glas is 1,52. Vul nu de volgende waarden in.

$$i = \text{_____} \quad \sin(i) = \text{_____} \quad \sin(r) = \text{_____} \quad r = \text{_____}$$

Opgave 7

Een lamp in een zwembad bevindt zich onder water. Een uitgezonden lichtstraal bereikt het wateroppervlak. De hoek van inval is 30° . De brekingsindex van water is 1,33. Vul weer in.

$$i = \text{_____} \quad \sin(i) = \text{_____} \quad \sin(r) = \text{_____} \quad r = \text{_____}$$

Opgave 8

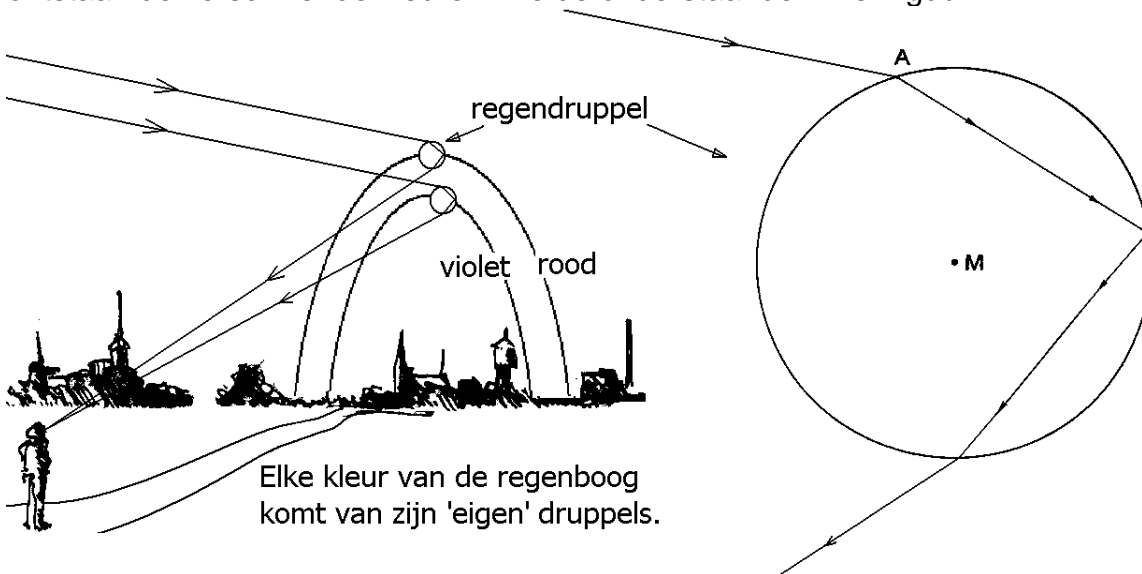
Een zonnestraal valt op een plasje aceton. De hoek van inval bedraagt 40° . Aceton heeft een brekingsindex van 1,36. Bereken de hoek van breking.

Opgave 9

Een lichtstraal verlaat een kwartskristal. De hoek van inval bedraagt 40° . Kwarts heeft een brekingsindex van 1,54. Bereken de hoek van breking.

Opgave 10

Een regenboog ontstaat door breking en terugkaatsing van zonlicht in regendruppels. Omdat de brekingsindex van water (een klein beetje) afhangt van de kleur van het licht, ontstaan de verschillende kleuren. Zie de onderstaande linker figuur.



In de rechter figuur is een bolvormige regendruppel getekend. In punt A treft een smalle bundel wit zonlicht (zonnestraal) de druppel. In punt A breekt de zonnestraal onder andere in een rode en in een violette lichtstraal. In de figuur is alleen de rode lichtstraal getekend.

Teken in punt A de normaal. Gebruik hierbij het middelpunt M van de cirkel. Bepaal de brekingsindex van water (bij rood licht) uit de getekende stralengang bij punt A.

Opgave 11

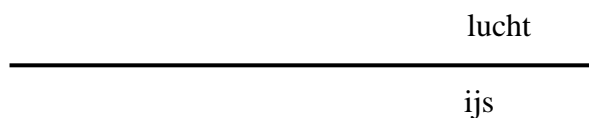
Een lichtstraal valt vanuit lucht op een ijskristal. De hoek van inval is 50° .

a.

Bereken de hoek van breking.

b.

Teken in de figuur hieronder de invallende en de gebroken lichtstraal.



Opgave 12

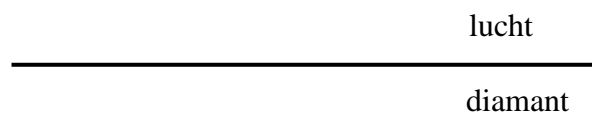
Een lichtstraal in een diamant bereikt het grensvlak met lucht. De hoek van inval is 16° .

a.

Bereken de hoek van breking.

b.

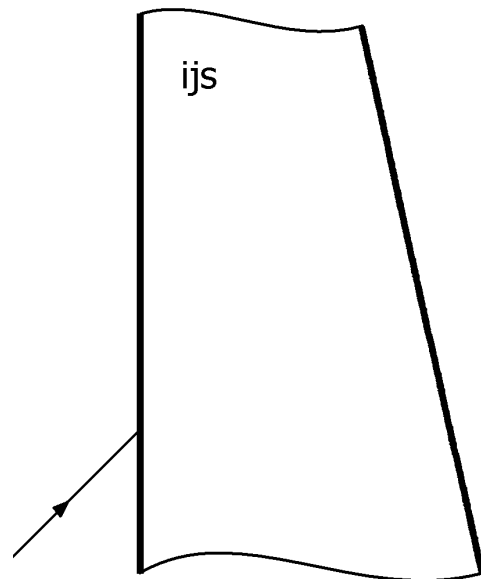
Teken in de figuur hieronder de invallende en de gebroken lichtstraal.



Opgave 13

In de figuur hiernaast valt een lichtstraal op een dikke plaat van ijs. De hoek van inval bedraagt 45° . De hoek tussen het linker en rechter ijsoppervlak bedraagt 10° .

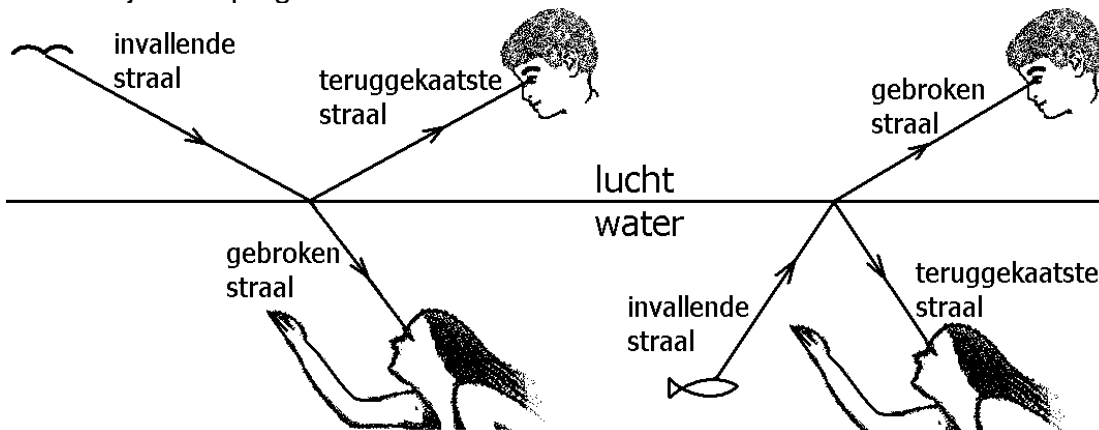
Bepaal en teken het verdere verloop van de lichtstraal. Schrijf de berekening duidelijk op.



§ 3 Terugkaatsing van licht tegen een grensvlak

Terugkaatsing van lichtstralen tegen een grensvlak

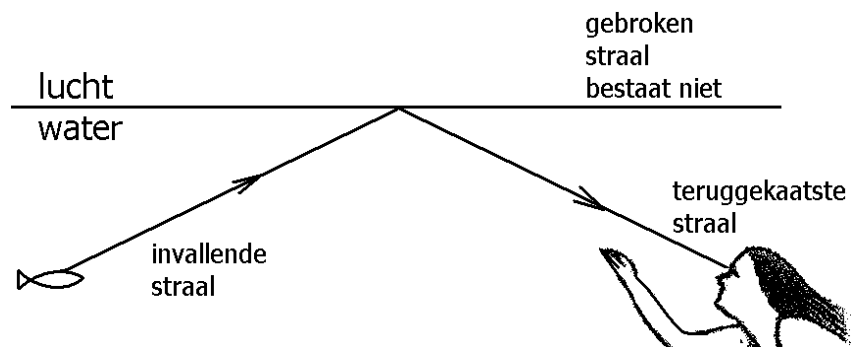
Als een lichtstraal op het grensvlak tussen lucht en een doorzichtige vloeistof of vaste stof valt, zal een deel van het licht in het algemeen worden teruggekaatst (de teruggekaatste straal) en een deel worden doorgelaten (de gebroken straal). Zie de onderstaande figuren. In de linker figuur ziet de jongen het spiegelbeeld van de vogel en in de rechter figuur ziet het meisje het spiegelbeeld van de vis.



Voor de gebroke lichtstraal geldt de wet van Snellius.

Voor de teruggekaatste lichtstraal geldt de spiegelwet (hoek van inval = hoek van terugkaatsing).

Ruwweg kun je zeggen dat invallend licht sterker wordt teruggekaatst bij grote hoeken van inval. En als het invallende licht bovendien van de kant van de doorzichtige vloeistof of vaste stof komt, wordt het licht nog sterker weerkaatst. Zie bijvoorbeeld de figuur hiernaast. Als in deze figuur de hoek van inval groter dan 49° is, zal de lichtstraal zelfs geheel teruggekaatst worden. Dus zonder gebroke lichtstraal. Met andere woorden: het wateroppervlak werkt dan als een perfecte spiegel (afgezien van de rimpels in het wateroppervlak). Zoals verderop blijkt wordt de hoek van 49° de **grenshoek** van water genoemd.

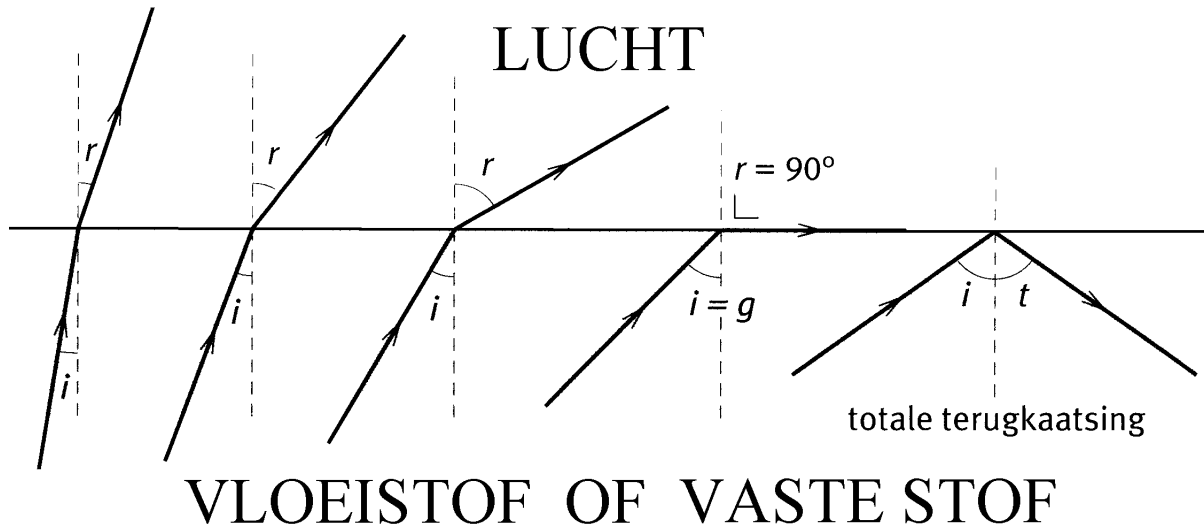


Grenshoek

In bepaalde situaties wordt de invallende lichtstraal geheel tegen het grensvlak teruggekaatst. Met andere woorden: er is dan geen doorgelaten lichtstraal. Dit is het geval als tegelijkertijd aan de volgende twee voorwaarden wordt voldaan, namelijk 1) de lichtstraal komt van de kant van de vloeistof of de vaste stof en 2) de hoek van inval is groter dan een bepaalde grenswaarde: de grenshoek genoemd.

De grenshoek (symbool g) kan als volgt gedefinieerd worden.

De grenshoek is gelijk aan de hoek van inval waarbij de hoek van breking 90° is.
Zie ook de figuur hieronder.



Bij breking vanuit een doorzichtige stof naar lucht is er sprake van breking van de normaal af. Hoe groter de hoek van inval is, des te groter ook de hoek van breking is. Bij een bepaalde waarde van de hoek van inval zal de hoek van breking 90° zijn. In de bovenstaande figuur is dat de vierde lichtstraal (van links gerekend). De gebroken lichtstraal loopt dan langs het grensvlak. Bij een nog grotere waarde van de hoek van inval zal er geen gebroken lichtstraal meer zijn. Er is dan sprake van totale terugkaatsing. Zie de vijfde lichtstraal in de figuur.

Voor de grenshoek g geldt:

$$\sin(g) = \frac{1}{n}$$

Deze formule kan als volgt worden afgeleid.

De wet van Snellius: $\frac{\sin(r)}{\sin(i)} = n$

Vul $i = g$ en $r = 90^\circ$ in: $\frac{\sin(90^\circ)}{\sin(g)} = n$

Vul $\sin(90^\circ) = 1$ in: $\frac{1}{\sin(g)} = n$

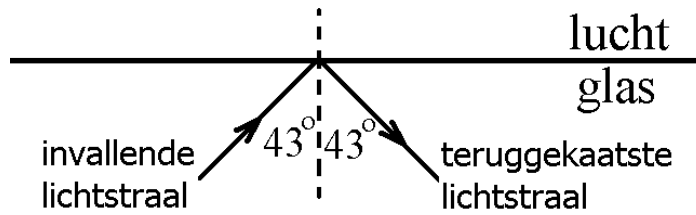
Keer het linker en rechter lid om: $\sin(g) = \frac{1}{n}$

Voor diamant geldt bijvoorbeeld: $n = 2,4$. Uit $\sin(g) = \frac{1}{2,4}$ volgt dan dat de grenshoek voor diamant 24° is. In de volgende tabel is de grenshoek van een aantal stoffen gegeven.

stof	diamant	glas	ijs	perspex	water
grenshoek	24°	42°	50°	42°	49°

Voorbeeld

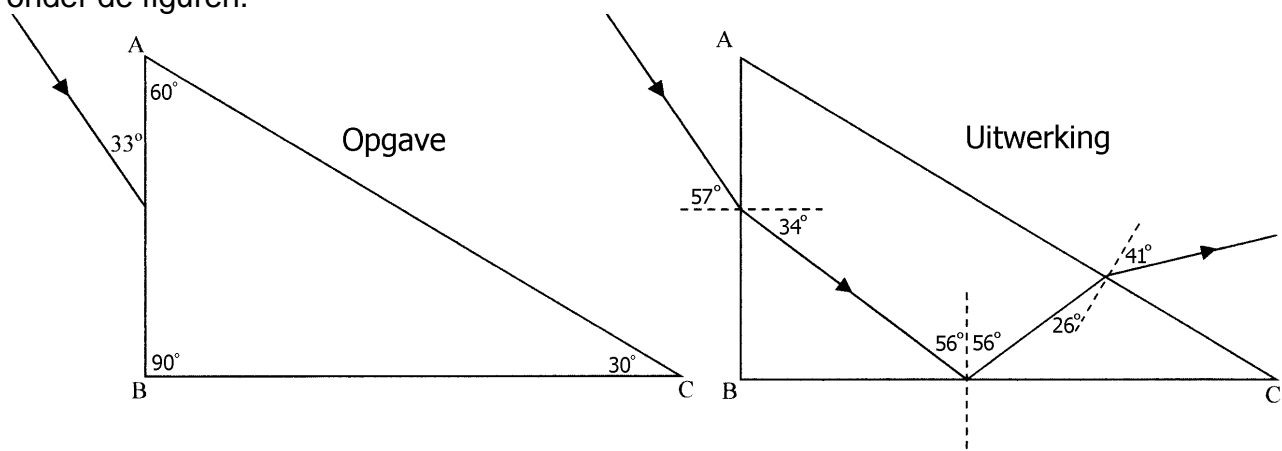
Een lichtstraal in glas valt op een grensvlak met lucht. De hoek van inval is 43° . Aangezien deze hoek groter is dan de grenshoek van glas (42°), zal de lichtstraal totaal teruggekaatst worden. Zie de figuur hiernaast.



Voorbeeld van een opgave

In de onderstaande linker figuur valt een lichtstraal op zijde AB van een glazen prisma ABC. Van het prisma is hoek A 60° , hoek B 90° en hoek C 30° . De hoek tussen de invallende lichtstraal en zijde AB is 33° . Teken de stralengang door het prisma.

In de onderstaande rechter figuur is deze opgave uitgewerkt. De berekeningen staan onder de figuren.



Berekeningen

De brekingsindex van glas is 1,5 en de grenshoek g van glas is 42° .

Bij zijde AB geldt:

$$i = 90^\circ - 33^\circ = 57^\circ.$$

$$\sin(r) = \frac{\sin(i)}{n} = \frac{\sin(57^\circ)}{1,5} \Rightarrow r = 34^\circ$$

Bij zijde BC geldt:

$$i = 90^\circ - 34^\circ = 56^\circ.$$

Er vindt totale terugkaatsing plaats want de hoek van inval (56°) is groter dan de grenshoek (42°).

Stel dat we de hoek van breking toch hadden willen berekenen met de wet van Snellius.

Dan hadden we die niet kunnen vinden want de sinus van een hoek kan nooit groter dan 1 zijn. Zie de volgende regel.

$$\sin(r) = n \cdot \sin(i) = 1,5 \cdot \sin(56^\circ) = 1,24 \Rightarrow r \text{ bestaat niet!}$$

Zijde BC werkt voor de lichtstraal blijkbaar als een spiegel. De hoek van terugkaatsing is ook 56° .

Bij zijde AC geldt:

$$i = 56^\circ - 30^\circ = 26^\circ \text{ (want de hoek tussen de normalen op AC en BC bedraagt } 30^\circ)$$

$$\sin(r) = n \cdot \sin(i) = 1,5 \cdot \sin(26^\circ) \Rightarrow r = 41^\circ$$

Opgaven bij § 3

Opgave 1

Omschrijf het begrip grenshoek van een doorzichtige stof.

Opgave 2

Met welke formule kun je de grenshoek van een doorzichtige stof uitrekenen als je de brekingsindex weet?

Opgave 3

De brekingsindex van een doorzichtige stof bedraagt 1,7. Bereken de grenshoek.

Opgave 4

De grenshoek van een doorzichtige stof bedraagt 39° . Bereken de brekingsindex.

Opgave 5

De grenshoek van water is 49° . Als de zon laag boven de horizon staat, zullen de zonnestralen die op het wateroppervlak van een meer vallen een grotere hoek van inval hebben dan 49° . Zullen deze zonnestralen dan totaal teruggekaatst worden? Licht je antwoord toe.

Opgave 6

Een lichtstraal in water bereikt het wateroppervlak.

De hoek van inval is 54° . De brekingsindex van water is 1,33.

a.

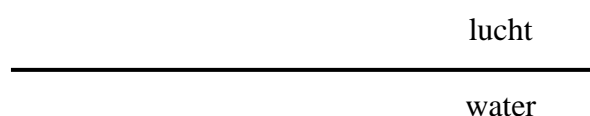
Probeer de hoek van breking te berekenen met behulp van de wet van Snellius.

b.

Hoe had je op een andere manier kunnen nagaan dat er geen hoek van breking bestaat?

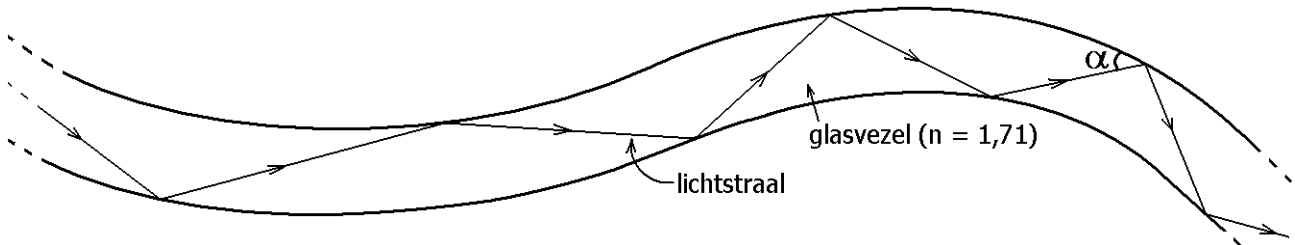
c.

Teken in de figuur hieronder de invallende straal en het verdere verloop van de straal.



Opgave 7

Glasvezels zijn dunne glasdraadjes die gebruikt worden om licht naar een gewenste plaats te geleiden. Bij de glasvezelwand kan het licht niet “ontsnappen” omdat daar steeds totale terugkaatsing plaatsvindt. Zie de onderstaande figuur. De hoek α tussen de invallende straal en de glasvezelwand mag dan natuurlijk niet te groot zijn. Bereken de maximale waarde voor α als de brekingsindex voor de gebruikte glassoort 1,71 bedraagt.

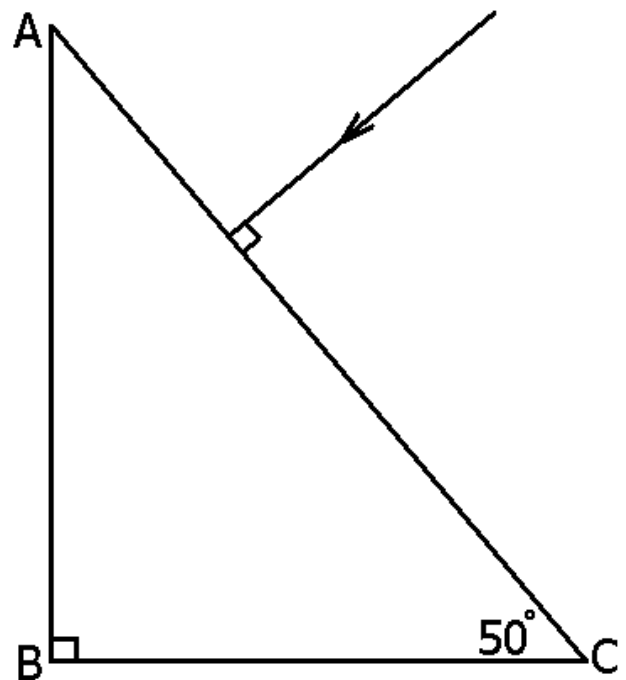


Opgave 8

In de figuur hiernaast is een glazen prisma ABC afgebeeld. Hoek B is recht en hoek C is 50° . Een lichtstraal valt loodrecht op het zijvlak AC. Deze lichtstraal blijkt scherend langs het zijvlak AB het prisma uit te gaan. De hoek van breking is dus (bijna) 90° .

a. Teken in de figuur het verdere verloop van de lichtstraal.

b. Bepaal uit de figuur de grenshoek van de glassoort (maak geen gebruik van de brekingsindex in de tabel).



c. Bereken de brekingsindex van de glassoort.

Opgave 9

Voor mensen die plat in bed moeten liggen, is de bedleesbril een mooie uitvinding. Zie de figuur hiernaast. Met deze bril op kan de patiënt lezen terwijl het boek op zijn buik of borst rust. De bril bevat twee prisma's waarvan er één vergroot getekend is. De brekingsindex van het glas is 1,6.

a.

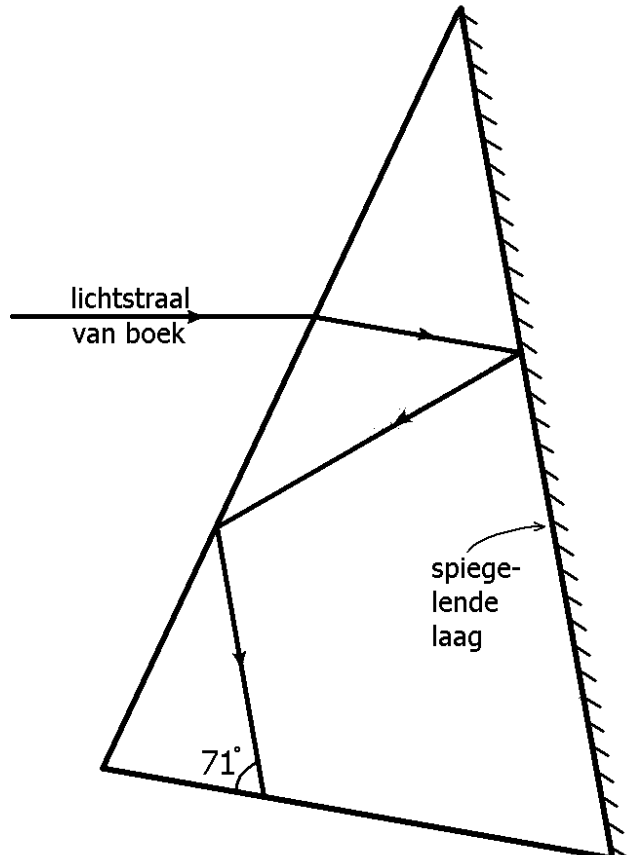
Toon met de stralengang in het prisma aan dat de brekingsindex 1,6 is. Maak de lichtstralen eventueel langer om hoeken makkelijker te kunnen meten.



In de figuur kaatst de lichtstraal zowel terug tegen het rechtervlak als het linkervlak van het prisma. Op het rechtervlak is een spiegelende laag aangebracht, op het linkervlak echter niet.

b.

Toon aan dat de getekende lichtstraal tegen het linkervlak totaal teruggekaatst wordt (zelfs zonder spiegelende laag).



c.

Construeer de lichtstraal die aan de onderkant uit het prisma komt. Schrijf je berekeningen hieronder op.