





OPTIEK

Definitie en Basisprincipes	2
Belang van Optische Instrumenten	2
Toepassingen in de Geneeskunde	2
Geschiedenis van de Optiek	2
Educatie en Carrière in de Optiek	3
Conclusie	3
Ingekorte versie :	
 Wat is optiek?	4
 Waarom is optiek belangrijk?	4
 Optiek in de geneeskunde	4
 Hoe is optiek ontstaan?	4
 Studeren en werken in optiek	4
 Samenvatting	4
Inleiding	5
Licht	5
Het golfkarakter	5
Het deeltjeskarakter	5
Voortplanting en wisselwerking	6
Wat we zien	6
Wat gebeurt er met de rest van dat licht dat op een object valt?	6
Energiebehoud in actie	7
Wat nu met dat licht?	7
Wat doen de lenzen eigenlijk?	8
Wat zijn dat voor fouten?	8
Wat is een lenscoating?	9
Welke invloed heeft het glas op de kwaliteit?	9
Breking en de indices	11
De dispersie in de wereld van gebroken licht.	11
Nog even een drietal belangrijke mannen	12
Donkere fotonen theorie	12
Waarom zijn donkere fotonen interessant?	13
Belangrijk om te weten:	13

Optiek, of optica, is de wetenschap die zich bezighoudt met het gedrag, de eigenschappen en de interactie van licht, en heeft toepassingen in technologie, geneeskunde en metingen.

Definitie en Basisprincipes

Optiek is de tak van de natuurkunde die zich richt op het bestuderen van lichtverschijnselen zoals reflectie, refractie, en dispersie. Het omvat zowel de theoretische als praktische aspecten van licht, waarbij men kijkt naar de gedragingen van licht als straal, golf en deeltje. Licht heeft een essentieel effect op hoe we de wereld om ons heen waarnemen en speelt een cruciale rol in technologie en wetenschap.

Ref.art.: [Ensie.nl](https://www.ensie.nl)

Belang van Optische Instrumenten

Optische instrumenten zoals microscopen, telescopen, camera's, en brillen zijn enkele van de meest significante toepassingen van optiek. Deze instrumenten maken gebruik van lenzen en spiegels om licht te manipuleren en beelden te vormen, wat cruciaal is in gebieden zoals biologie, astronomie, en geneeskunde. Bijvoorbeeld, microscopen stellen wetenschappers in staat om cellen en micro-organismen te observeren, terwijl telescopen ons helpen om verre sterrenstelsels te bestuderen

Ref.art.: [Natuurkunde.nl](https://www.natuurkunde.nl)

Toepassingen in de Geneeskunde

In de geneeskunde wordt optiek toegepast in technieken zoals endoscopie en diagnostische beeldvorming. Door gebruik te maken van optische technologieën kunnen artsen nauwkeurige diagnoses stellen, waarbij optische instrumenten de zichtbaarheid binnen het menselijk lichaam verbeteren. Dit heeft een aanzienlijke impact op de gezondheidszorg, aangezien vroege detectie van ziekten essentieel is voor effectieve behandelingen.

Ref.art.: [Natuurkunde.nl](https://www.natuurkunde.nl)

Geschiedenis van de Optiek

De geschiedenis van de optiek is rijk en gaat duizenden jaren terug. Het begon met de ontwikkeling van eenvoudige lenzen en spiegels door oude beschavingen. Belangrijke bijdragen zijn geleverd door wetenschappers zoals Euclides, Ptolemaeus, en later Isaac Newton, die veel principes van de optica hebben beschreven. In de moderne tijd heeft optica zich verder ontwikkeld in gebieden zoals fotonica, nanotechnologie, en lasertechniek.

Ref: www.ensie.nl

Educatie en Carrière in de Optiek

Optiek wordt steeds belangrijker in verschillende studierichtingen, waarbij studenten de kans krijgen om zich in uiteenlopende toepassingsgebieden te specialiseren, van brillentechniek tot fotonica en opto-elektronica. Het veld biedt veel carrièremogelijkheden, van opticiens tot optometristen en wetenschappers in de optische technologie.

Ref: werkenindeoptiek.nl

Conclusie

Optiek is een veelzijdige wetenschap die niet alleen de fundamentele aard van licht bestudeert, maar ook een breed scala aan toepassingen biedt die van cruciaal belang zijn voor de moderne technologie en onze dagelijkse waarnemingen. De ontwikkelingen in de optica blijven ons vermogen om de wereld te begrijpen en te beïnvloeden uitbreiden, waardoor het een essentieel vakgebied blijft in zowel onderwijs als praktijk.

Ingekorte versie :



Wat is optiek?

Optiek is een onderdeel van de natuurkunde dat kijkt naar hoe licht werkt. Het onderzoekt hoe licht beweegt, reflecteert (terugkaatst), breekt (van richting verandert), en uit elkaar valt in kleuren. Het bestudeert licht als een straal, een golf en een deeltje.



Waarom is optiek belangrijk?

We gebruiken optiek in veel apparaten zoals:

Brillen om beter te zien

Microscopen om kleine dingen zoals cellen te bekijken

Telescopen om de ruimte te bestuderen

Camera's om beelden vast te leggen

Deze apparaten werken door licht te buigen of te spiegelen, zodat we dingen beter kunnen zien.



Optiek in de geneeskunde

In ziekenhuizen helpt optiek artsen om in het lichaam te kijken zonder te snijden. Voorbeelden zijn:

Endoscopie (een slangetje met een camera)

Scans zoals röntgen en MRI

Hiermee kunnen ziektes vroeg worden opgespoord, wat helpt bij het behandelen.



Hoe is optiek ontstaan?

Optiek bestaat al duizenden jaren. Oude volkeren maakten lenzen en spiegels. Belangrijke wetenschappers, zoals Newton, ontdekten regels over hoe licht zich gedraagt. Tegenwoordig zijn er moderne toepassingen zoals lasers en superkleine optische technologie.



Studeren en werken in optiek

Je kunt optiek studeren en werken als:

Opticien (maakt brillen)

Optometrist (controleert ogen)

Onderzoeker in lichttechnologie

Er zijn steeds meer beroepen en opleidingen waarin optiek een rol speelt.

Samenvatting

Optiek helpt ons te begrijpen hoe licht werkt en beïnvloedt veel dingen in ons dagelijks leven, van technologie tot geneeskunde. Het blijft een belangrijk vakgebied waarin veel wordt ontwikkeld.

Inleiding

Als we over optiek praten, moeten we eerst een beetje daarna kijken, over wat precies we hier gaan praten. Vaak gaat het bij optiek over een manier om een afbeelding van iets te maken. Iedereen van ons doet iets met optiek, meestal zonder het te weten, of erover na te denken. Als je je ogen open doet, doe je al aan optiek. Als je dan nog een bril nodig hebt, dan zit je alweer bij de optiek. Als je televisie kijkt, of met je gsm bezig bent, dan is optiek niet zo ver weg als je misschien zou denken. Als je een foto pakt, speelt geen rol met wat soort camera, doe je iets met optiek. Als je de koplampen van je auto aanzet, je mag het raden, doe je iets met optiek. De lange afstandsbediening van je stereo of televisie? Optiek, de verrekijker met die je 's zondags de weien instapt? Optiek. De afstandsmeter in je auto? Optiek. En zo gaat het verder door. Optiek heeft niet in ieder geval met lenzen te maken, of met het maken van beelden, maar wel toch in ieder geval met licht. Hierover laten we praten.

Licht

Licht, wat voor spul is dat? Kunnen wij het aanraken, ruiken of smeken? Al drie, nee. Maar we kunnen het zien. Wat is licht nu precies? Het antwoord is niet voldoende. Eigenlijk weten we het niet echt op het nippertje. Volgens de grote Isaac Newton zal het een natuur hebben met piepkleine deeltjes, de zogenoemde Corpuscles. Later was het idee dat licht enkel maar golven zijn, met name elektromagnetische golven. Wat ook verklaren zal waaraan de manier bevestigd is op die licht zich uitbreidt. Maar als je dat heel goed bekijkt, dan zie je, dat licht niet het een of het andere is, maar van beide naturen.

Wat het nu echt is, zullen we hier zien:

Licht is elektromagnetische straling - het bestaat uit oscillerende elektrische en magnetische velden die zich door de ruimte voortplanten. Het beweegt met een constante snelheid van ongeveer 300.000 kilometer per seconde in vacuüm, wat we de lichtsnelheid noemen. Deze snelheid is een fundamentele natuurconstante die Einstein's relativiteitstheorie vorm geeft.

Het golfkarakter

Als golf heeft licht belangrijke eigenschappen. De golflengte bepaalt de kleur - rood licht heeft een golflengte rond 700 nanometer, violet rond 400 nanometer. Tussen deze grenzen ligt het zichtbare spectrum dat ons oog kan waarnemen. Maar het elektromagnetische spectrum strekt zich veel verder uit, van radiogolven tot gammastraling.

De frequentie van licht is omgekeerd evenredig aan de golflengte. Hoge frequentie betekent meer energie per foton, wat verklaart waarom UV-straling gevaarlijker is dan zichtbaar licht.

Het deeltjeskarakter

Het zijn misschien niet de Corpuscels die Newton bedacht had, maar het zijn wel deeltjes waaruit licht bestaat. Ook bestaat, zoals we nu weten.

Einstein toonde aan dat licht ook uit discrete energiepakketjes bestaat - fotonen. Dit verklaart het foto-elektrisch effect: waarom licht elektronen kan vrijmaken uit metalen, maar alleen als de frequentie hoog genoeg is. Het gaat niet om de intensiteit, maar om de energie per foton.

Voortplanting en wisselwerking

Licht plant zich rechtlijnig voort in homogene media, maar kan van richting veranderen door reflectie (weerkaatsing), refractie (breking bij overgang naar ander medium), of diffractie (buiging rond obstakels). Wanneer licht door materialen gaat, kan het geabsorbeerd, verstrooid of doorgelaten worden - dit bepaalt waarom objecten bepaalde kleuren hebben.

Deze veelzijdigheid maakt licht het perfecte hulpmiddel om de wereld om ons heen waar te nemen en te begrijpen.

Wat we zien

“What you see is what you get” - of deze welbekende zin daadwerkelijk klopt, dat zullen we nu bekijken.

Wij met onze ogen kunnen dingen zien omdat er licht door onze pupillen op het netvlies valt. Dus in ons oog terecht komt. Je hebt helemaal gelijk als je namelijk zegt dat je kleerkast zeker geen licht geeft. Dat doet hij ook niet. Maar hij reflecteert wel licht. Dat licht wat op hem valt. Reflecteert hij dan alles van dat licht? Nee, helemaal niet. Het meeste van het licht wordt namelijk opgeslokt. Door je kleerkast. De dief! En enkel maar een klein deel van al dat licht dat op hem valt geeft hij terug. Dit deel dat er reflecteert wordt, bepaalt ook voor ons welke kleur hij zou hebben. Ander voorbeeld. Een kers die je in je hand houdt en die alleen daarop wacht om in je mond te verdwijnen, die krijgt de lekkere sappige kleur omdat ze de kleuren blauw en groen opslokt en enkel maar rood teruggeeft. Wat is nu met oranje, geel, mauve en noem ze maar op hoe ze al heten de kleuren? Nou, heel simpel. Die mix je zelf in je hersenen. Bestaan deze kleuren dan niet echt? Nu komen wij op het gebied van de Philosophie. Wat bestaat er echt, en wat enkel maar omdat wij een naam ervoor bedacht hebben? Zo veel maar, voor ons en onze ogen en hersenen bestaan ze wel. Voor andere organismen zal dit een ander verhaal zijn.

Het werd gezegd dat wij als mensen enkel maar de golflengten tussen 400 en 700 nm kunnen waarnemen. Wat betekent dat voor ons? Is dat veel of weinig en wat zijn deze nanometers?

Nou, een golflengte rond 400 nm - dat zijn 400 miljoenste millimeter - nemen we als rood waar, golflengten rond 700 nm zien we als blauw of violet. Alles daartussen zijn al die andere kleuren die we geloven te zien. Alles daarboven of beneden? Voor ons helemaal nacht. Hiervoor hebben wij geen receptoren in onze ogen. De golflengten die we niet door onze ogen kunnen waarnemen zijn bijvoorbeeld de golven voor een radiuitzending, dat zijn elektromagnetische golven van lengtes tussen 100 m en bijna 10 kilometers. Of de behoorlijk kleine golven van de röntgenstraling. Tussen de 10 nm en de 5 nm.

Wat gebeurt er met de rest van dat licht dat op een object valt?

Laat ons de kleerkast uit ons voorbeeld hiervoor nog eens bovenhalen? Zullen we het hier opnieuw met de eerste hoofdwet van de thermodynamica te maken hebben? Wat gebeurt er dus?

Wanneer licht op een object valt, wordt de energie verdeeld over verschillende processen:

Absorptie is veruit het belangrijkste proces. De geabsorbeerde lichtenergie wordt vrijwel altijd omgezet in kinetische energie van de moleculen in het materiaal - oftewel warmte. Dit is waarom donkere objecten warmer worden in de zon dan lichte objecten. Een zwart T-shirt absorbeert bijna alle zichtbare lichtfrequenties en zet deze om in warmte.

Transmissie treedt op bij doorzichtige of doorschijnende materialen. Het licht gaat er doorheen, maar zelfs dan wordt vaak een deel geabsorbeerd tijdens de passage.

Verstrooiing kan het licht in alle richtingen versturen, niet alleen de richting die wij waarnemen. Denk aan hoe wolken wit lijken - ze verstrooien alle kleuren ongeveer gelijk.

Energiebehoud in actie

De eerste hoofdwet stelt dat energie niet kan worden gecreëerd of vernietigd, alleen getransformeerd. Bij licht-materie wisselwerking geldt:

Inkomende lichtenergie = Gereflecteerde energie + Geabsorbeerde energie + Doorgelaten energie + Verstrooide energie

De geabsorbeerde energie manifesteert zich als warmte, wat verklaart waarom objecten opwarmen in zonlicht. Dit is ook waarom infraroodcamera's warmtepatronen kunnen detecteren - objecten stralen de geabsorbeerde energie weer uit als warmtestraling.

Wat nu met dat licht?

Als we een afbeelding van iets willen hebben, moeten we het eigenlijk zo een beetje als in ons oog aanpakken. We hebben dus een lens nodig. Wat is alzo een lens? De lens die we nodig hebben moet uit een materiaal zijn dat licht doorheen laat. Glas zal handig zijn, maar kunststof zal het ook doen, net zoals water, of zelf lucht. Als we naar ons oog ogen dan kan het zelfs huid zijn. Voor een lens is in ieder geval belangrijk wat ze bepaald is te doen. Zal ze licht bundelen, of strooien? Verder is de vraag interessant, hoeveel van dat licht laat ze passeren en wat houdt ze zelf terug. Of zal er zelf licht zijn dat de lens helemaal terugstuurt? Reflectie met een mooi woord? Er bestaan meerdere vormen van lenzen. Er zijn welke die vormen een kleine koepel, die noem je konvex, dan zijn er welke, die vormen een kleine deuk. Die noem je dan konkav. En dan bestaan er alle tussenvormen. Van boven een deuk, en van beneden ook (konkav - konkav), met twee koepels, dus konvex - konvex. Of plan - konvex, met dus boven een koepel en beneden een afgeplatte grond, of hetzelfde met de konkave vorm. De vorm van de oppervlakte van een lens is eigenlijk een helemaal ronde vorm. Dus eigenlijk als de oppervlakte van een kogel. Maar er bestaan ook typen lenzen waar dat niet zo is. Deze noemt men dan met een mooi woord

aspherisch. Daarmee kan je dan bepaalde effecten creëren. Niet zomaar effecten als in je Instagram app, maar je kan daarmee bijvoorbeeld in een objectief met minder lenzen klaarkomen. En minder lenzen zijn ook minder oppervlaktes met reflecties erop.

Wat doen de lenzen eigenlijk?

De convexe lenzen verzamelen het licht en bundelen het, en de konkave lenzen verspreiden licht, waardoor de straal breder wordt. Als je nu beide vormen lenzen combineert, dan krijg je een objectief. Een lens alleen kan natuurlijk ook al een objectief zijn, maar het is dan een heel simpel objectief zonder een hoge kwaliteit. Ons eigen ogen hebben bijvoorbeeld ook een objectief met maar een lens. De lage kwaliteit van het beeld dat erbij uitkomt wordt in onze hersenen gecompenseerd.

Maar hoe kom je nu na bijvoorbeeld een foto objectief? Nou, dat is niet zo makkelijk. Toen men begon objectieven te bouwen voor foto doeleinden was het eigenlijk helemaal testen en proberen. Maar later begon men objectieven te berekenen. Dus het was een wetenschappelijk wiskundig proces. Dat is tot de dag van vandaag nog. Met het verschil dat niet een hoop mensen in een ruimte zitten berekeningen aan te stellen, maar een computer die het rekenwerk doet. Een van de eerste met behulp van een computer berekende objectieven was de beroemde Summicron van Leitz in Wetzlar.

Wat valt er te berekenen? In de afbeelding van een lens zitten fouten. Daar is eigenlijk niets mis mee, dat is normaal. De kunst voor de maker van een nieuw objectief is nu deze fouten die nu eenmaal in het materiaal zitten, zo klein mogelijk te houden.

Wat zijn dat voor fouten?

Er bestaan verschillende soorten afbeeldingsfouten (aberraties) in de optica, die de kwaliteit van optische systemen beïnvloeden. Deze kunnen worden onderverdeeld in twee hoofdcategorieën:

Monochromatische aberraties (optreden ook bij één golflengte):

Sferische aberratie ontstaat doordat lichtstralen die door de rand van een lens gaan anders worden gebroken dan stralen door het centrum. Dit resulteert in een onscherp beeld omdat niet alle stralen in hetzelfde brandpunt samenkomen.

Coma treedt op bij schuin invallende lichtstralen en veroorzaakt komeetvormige vertekening van puntbronnen, vooral aan de rand van het gezichtsveld.

Astigmatisme zorgt ervoor dat lichtstralen in verschillende vlakken (horizontaal en verticaal) op verschillende afstanden focussen, waardoor lijnen in verschillende richtingen niet tegelijk scherp kunnen worden afgebeeld.

Veldkromming betekent dat het scherpte-vlak gekromd is in plaats van vlak, zodat het centrum en de randen van het beeld niet tegelijkertijd scherp kunnen zijn.

Vervorming (distorsie) verandert de vorm van het beeld - tonvormige vervorming maakt rechte lijnen bol, kussenvervorming maakt ze hol.

Chromatische aberraties (afhankelijk van golflengte):

Longitudinale chromatische aberratie ontstaat doordat verschillende kleuren licht op verschillende afstanden focuseren door dispersie in het glas.

Laterale chromatische aberratie zorgt voor kleurschifting aan de randen van het beeld, waarbij verschillende kleuren licht op verschillende hoogtes op het beeldvlak terechtkomen.

Deze aberraties kunnen worden geminimaliseerd door gebruik van meerdere lenzen, speciale glassoorten, asferische oppervlakken en moderne coatings.

Als je een objectief bouwt, dan verzoek je het best uit de constructie eruit te halen. Als je een foutje weghaalt, pak je er andere erbij. En je mag niet de patenten van andere makers aantasten. Je kunt op de ene kant problemen proberen oplossen door meer lenzen te gebruiken, maar dan haal je nieuwe problemen erin. Je hebt bijvoorbeeld dan ook meer reflecties aan de buitenkant van de lenzen. Het objectief wordt ook duurder. En het wordt ook zwaarder. Want glas weegt.

Als je een objectief wilt hebben dat meer licht doorlaat, dan moet je de lenzen groter maken. Maar dat brengt ook problemen aan. Je ziet het, het is niet zo makkelijk een nieuw objectief te maken. Dus het wordt nu eenmaal klaar hoezo een objectief niet voor een habbekrats kan verkocht worden.

Het wordt eerder al erover gepraat, je kan lenzen ook een coating geven.

Wat is een lenscoating?

Het was in het Duitse Jena in 1935 dat een zekere Dr. Alexander Smakula (1900-1983), een man van Oekraïense afkomst, een patent indiende waarin een anti reflectie coating wordt beschreven. Hij had toen uitgevonden dat als je een dunne laag metaal op een glazen oppervlakte brengt, je de reflectie verlaagt en het glas transparanter maakt. Dus was het hierna mogelijk bijvoorbeeld een Sonnar 1,5/5cm daadwerkelijk een lichtdoorlaat vermogen te geven van 1,5. (deze 1,5 is de diameter van de inlaat pupil - dat is wat je ziet als je rechtdoor van voren door een objectief heen kijkt - in verhouding met de focuslengte. Maar als het glas niet voldoet of er te veel reflecties zijn, dan krijg je een objectief waar minder licht doorgaat dan dat het eigenlijk moest. Je spreekt hier ook van het transparantie - diaphragma.

Welke invloed heeft het glas op de kwaliteit?

Glas heeft een enorme impact op de kwaliteit van het objectief, of van de lens die wil maken. Er zijn vele verschillende soorten glas met heel specifieke eigenschappen.

Kroonglassoorten (Crown glass):

BK7 (Borosilicaat kroon) is het meest gebruikte optische glas. Het heeft goede optische eigenschappen, lage dispersie en is relatief goedkoop. Wordt veel gebruikt in standaard lenzen, prisma's en vensters.

FK-glassoorten (Fluoriet kroon) hebben zeer lage dispersie en worden gebruikt in apochromatische objectieven en telescopen voor minimale chromatische aberratie.

PK-glassoorten (Fosfaat kroon) bieden goede prestaties bij specifieke toepassingen waar lage dispersie belangrijk is.

Flintglassoorten:

SF-glassoorten (Zwaar flint) hebben hoge brekingsindex en hoge dispersie. Worden gecombineerd met kroonglas in achromatische dublets om chromatische aberratie te corrigeren.

LF-glassoorten (Licht flint) hebben matige dispersie en worden gebruikt in eenvoudigere optische systemen.

F-glassoorten (Flint) vormen een tussenklasse en worden gebruikt voor verschillende correctiedoeleinden.

Speciale glassoorten:

ED-glas (Extra-low Dispersion) heeft extreem lage dispersie en wordt gebruikt in hoogwaardige camera- en telescooplenzen.

APO-glas wordt gebruikt in apochromatische systemen die drie kleuren tegelijk corrigeren.

Lanthaan-glas heeft zeer hoge brekingsindex bij lage dispersie, waardoor compactere ontwerpen mogelijk zijn.

Fluoriet (kunstmatig gekweekt) heeft uitzonderlijk lage dispersie en wordt gebruikt in de beste apochromatische telescopen en microscopen.

Er is een beetje een probleem met glassoorten uit zeldzame aarden. Deze zijn vaak radioactief. Dus eigenlijk niet te gebruiken voor het algemene gebruik.

Thoriumglas was historisch het belangrijkste radioactieve optische glas. Thorium Glas bevat thoriumdioxide en is radioactief vanwege de aanwezigheid van het radioactieve element thorium. De hoofdbron van radioactiviteit is het gebruik van thoriumoxide (tot 30% van het gewicht) als component van het glas in lenselementen.

Waarom werd thoriumglas gebruikt?

Thoriumdioxide werd gebruikt omdat een geschikte mengeling van ThO₂ en SiO₂ (siliciumdioxide) zeer vergelijkbare optische eigenschappen heeft als fluoriet CaF₂ kristallen, maar zonder zo delicaat te zijn. Het had uitstekende optische eigenschappen zoals hoge brekingsindex en lage dispersie.

Lanthaanglas verving later het thoriumglas. Hoewel lanthaan zelf zeer licht radioactief is (0,089% bestaat uit lanthaan-138 isotoop met een halfwaardetijd van 10¹¹ jaar), is de straling van lanthaanglas ongeveer 1/10.000 van die van thoriumglas.

Praktische aspecten:

Sommige lenzen uit de jaren 1960, zoals vroege Minolta Rokkor lenzen, of Leitz Summicron lenzen, hebben elementen gemaakt van glasformules die kleine sporen van radioactieve zeldzame aarden bevatten. Deze radioactiviteit kan significante verbruining van lenselementen veroorzaken.

Moderne situatie:

Lanthaan zelf is niet radioactief, maar lenzen met lanthaanglas zijn dat meestal wel, omdat sporenhoeveelheden thorium bijna onmogelijk te scheiden zijn van het lanthaan.

De radioactiviteit van deze lenzen is over het algemeen laag - vergelijkbaar met natuurlijke achtergrondstraling - maar meetbaar met een geigerbureau. Moderne optische glassoorten gebruiken andere materialen om vergelijkbare prestaties te bereiken zonder radioactiviteit.

De keuze welke geassorteerd nu gebruikt wordt hangt af van de gewenste optische prestaties, zoals chromatische correctie, beeldkwaliteit en systeemgrootte. Fabrikanten zoals Schott in Mainz, Ohara en Hoya produceren gestandaardiseerde glascatalogi met precieze specificaties voor elke toepassing.

Nog een beetje wiskunde als we de licht in het verhaal met de breking brengen. Laten ons maar starten.

Breking en de indices

Brekingsindices zijn een fundamenteel concept in de optica dat beschrijft hoe licht zich gedraagt wanneer het van het ene materiaal naar het andere gaat.

De brekingsindex (symbool n) is de verhouding tussen de lichtsnelheid in vacuüm en de lichtsnelheid in het materiaal. Wiskundig: $n = c/v$, waarbij c de lichtsnelheid in vacuüm is en v de lichtsnelheid in het materiaal.

Omdat licht altijd langzamer gaat in materialen dan in vacuüm, is de brekingsindex altijd groter dan 1. Lucht heeft bijvoorbeeld $n \approx 1,0003$ (praktisch 1), water heeft $n \approx 1,33$, gewoon glas rond $n \approx 1,5$, en diamant heeft een hoge brekingsindex van $n \approx 2,42$.

Het belangrijkste effect zie je bij breking: wanneer licht schuin van het ene medium naar het andere gaat, verandert de richting volgens de wet van Snellius: $n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$. Als licht van een materiaal met lage brekingsindex naar een met hoge brekingsindex gaat, buigt het naar de normaal toe. Omgekeerd buigt het van de normaal af.

Dit verklaart waarom een lepel in een glas water "gebroken" lijkt, waarom lenzen licht kunnen focuseren, en waarom diamanten zo mooi schitteren - die hoge brekingsindex zorgt voor sterke lichtbuiging en interne reflectie. Dus is het ook enorm belangrijk om te weten hoe het met de brekingsindex van een bepaald soort glas staat.

De brekingsindex hangt ook af van de golflengte van het licht, wat dispersie heet. Daarom ontstaan regenboogkleuren in een prisma.

En hier hebben we het al: dispersie. We zullen zien, wat dat precies voorstelt.

De dispersie in de wereld van gebroken licht.

Dispersie betekent dat de brekingsindex van een materiaal afhangt van de kleur (golflengte) van het licht. Voor de meeste transparante materialen geldt: blauw licht heeft een hogere brekingsindex dan rood licht.

Dit gebeurt omdat licht eigenlijk een elektromagnetische golf is die wisselwerkt met de elektronen in het materiaal. Verschillende golflengtes interacteren anders met deze elektronen, waardoor ze verschillende snelheden krijgen in het materiaal.

Het praktische gevolg is dat wit licht (dat alle kleuren bevat) wordt “uitgesmeerd” wanneer het door een prisma gaat. Blauw licht buigt sterker af dan rood licht, waardoor je de bekende regenboogkleuren ziet. Hetzelfde principe zorgt voor de kleuren in regenbogen - waterdruppeltjes werken als kleine prisma's.

Dispersie is ook de reden waarom gewone lenzen kleurafwijkingen kunnen hebben (chromatische aberratie). Verschillende kleuren focuseren op iets verschillende punten. Dat lost men op met speciale lenzencombinaties of met speciale glassoorten met lage dispersie.

Een interessant detail: de mate van dispersie wordt uitgedrukt in het Abbe-getal. Hoe lager dit getal, hoe sterker de dispersie. Kroonglassoorten hebben een hoog Abbe-getal (weinig dispersie), flintglassoorten een laag Abbe-getal (veel dispersie).

Nog even een drietal belangrijke mannen

Er zijn drie mannen die vaak samen worden genoemd. De drie samen vormden het beroemde trio dat de moderne optische industrie heeft gefundeerd in Jena, Duitsland in de 19e eeuw.

Carl Zeiss (1816-1888) was een precisie-instrumentmaker die in 1846 zijn werkplaats opende in Jena. Hij begon met het maken van microscopen, maar had het probleem dat hij lenzen ontwierp op basis van trial-and-error methodes. Zijn microscopen waren goed, maar hij wilde de kwaliteit systematisch verbeteren.

Ernst Abbe (1840-1905) was een briljante natuurkundige en wiskundige die in 1866 bij Zeiss kwam werken. Hij legde de wetenschappelijke basis onder de lensontwerp. Abbe ontwikkelde de diffractietheorie die verklaart hoe microscopen werken en wat hun fundamentele grenzen zijn. Hij bedacht ook het Abbe-getal voor dispersie dat ik net noemde. Zonder Abbe's theoretische inzichten zouden Zeiss' instrumenten nooit de wereldtop hebben bereikt.

Otto Schott (1851-1935) was een chemicus die het derde puzzelstukje leverde: nieuwe glassoorten. Rond 1880 sloot hij zich aan bij Zeiss en Abbe. Schott ontwikkelde systematisch nieuwe glasformules met specifieke optische eigenschappen - verschillende brekingsindices en dispersie-eigenschappen die precies pasten bij Abbe's berekeningen.

Samen vormden ze een perfecte combinatie: Zeiss de praktische instrumentmaker, Abbe de theoreticus, en Schott de materialenexpert. Hun samenwerking leidde tot het bedrijf Carl Zeiss dat nog steeds wereldberoemd is voor optische instrumenten.

Donkere fotonen theorie

De "donkere foton theorie" verwijst naar een hypothetisch deeltje dat zou kunnen interageren met donkere materie en mogelijk een rol speelt in de anomalieën die in experimenten met muonen zijn waargenomen. Deze theorie is een uitbreiding van de standaardtheorie van deeltjesfysica en suggereert dat donkere fotonen, net zoals gewone fotonen, kunnen interageren met deeltjes, maar dan met deeltjes van donkere materie.

Wat zijn donkere fotonen?

- Donkere fotonen zijn, zoals de naam al aangeeft, hypothetische deeltjes die zouden kunnen interageren met donkere materie.
- Ze worden verondersteld een "donkere kracht" over te brengen, vergelijkbaar met de manier waarop gewone fotonen de elektromagnetische kracht overbrengen.
- In tegenstelling tot gewone fotonen, die interactie hebben met geladen deeltjes, zouden donkere fotonen interactie hebben met deeltjes van donkere materie.

Waarom zijn donkere fotonen interessant?

- Ze zouden een mogelijke verklaring kunnen bieden voor de "muon g-2 anomalie". Dit is een verschil tussen de theoretische voorspelling en de experimenteel gemeten waarde van het magnetische moment van het muon (een zwaarder familielid van het elektron).
- De theorie van donkere fotonen is een manier om de interacties van donkere materie, die we niet direct kunnen waarnemen, te bestuderen en te begrijpen.

Belangrijk om te weten:

- Donkere fotonen zijn nog steeds een hypothetisch concept en hun bestaan is nog niet bewezen.
- De theorie van donkere fotonen is een van de vele pogingen om de mysterieuze aard van donkere materie en donkere energie te begrijpen.
- De zoektocht naar donkere fotonen en andere donkere materie-deeltjes is een belangrijk onderzoeksgebied in de deeltjesfysica en de kosmologie.