



2023

14. Licht

R2: SCRAPY-gids

Projectnummer: **2021-1-FR01-KA220-SCH-000031617**



 Co-funded by
the European Union

De steun van de Europese Commissie voor de productie van deze publicatie houdt geen goedkeuring in van de inhoud, die uitsluitend de standpunten van de auteurs weergeeft, en de Commissie kan niet verantwoordelijk worden gehouden voor het gebruik van de informatie die erin is vervat.

ECAM EPMI
30/04/2023

Inhoudsopgave

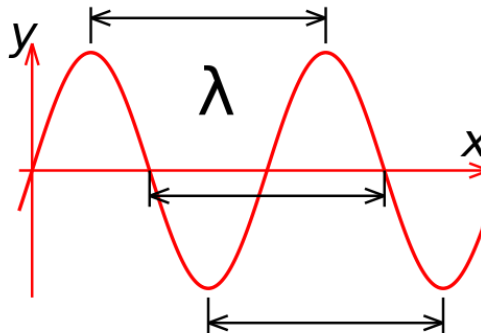
1 Inleiding.....	2
2 Golflengte.....	2
3 Intensiteit.....	2
4 Zichtbaar licht versus onzichtbaar licht.....	3
5 Ultraviolet licht.....	3
5.1 Ultraviolet-A.....	4
5,2 Ultraviolet-B.....	4
5.3 Ultraviolet-C.....	5
6 Het menselijk oog.....	6
6.1 Kleurwaarneming.....	6
6.2 Waarneming van intensiteit.....	8
6.3 Kleurenblindheid.....	8
7 Infrarood licht.....	9
8 Nabij infrarood.....	9
9 Infrarood met lange golflengte.....	11
10 Conclusie.....	12

1 Inleiding

Het manipuleren van licht is een zeer nuttige vaardigheid voor elke elektronica knutselaar. Van verlichting tot afstandswaarneming, licht slaat op talloze nuttige manieren een brug tussen het elektronische en het fysieke.

2 Golflengte

Het belangrijkste kenmerk van een lichtstraal is de golflengte. Licht beweegt zich door de ruimte als een golf en de afstand tussen twee golftoppen is de golflengte van die lichtstraal. In menselijke termen bepaalt de golflengte de kleur van een lichtstraal.



*Golflengte wordt meestal aangeduid met het Griekse teken λ (uitgesproken als "lamb-da")
(Afbeelding door Wikipedia-gebruiker Dicklyon).*

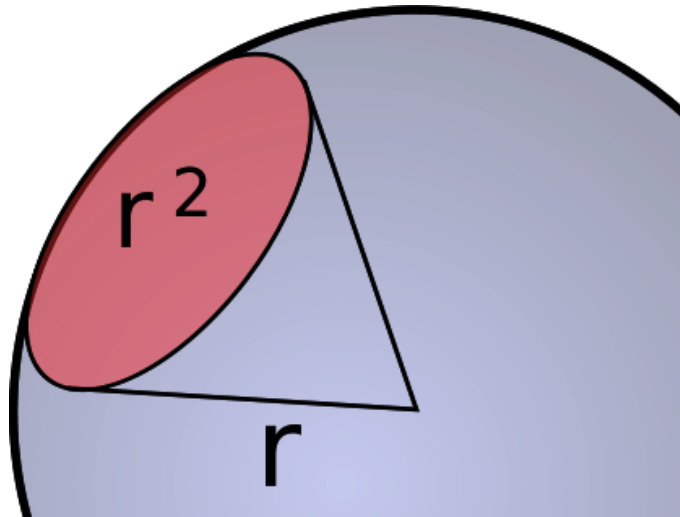
Omdat niets in de natuurkunde eenvoudig kan zijn, gedraagt een lichtstraal zich ook als een stroom deeltjes, of fotonen (masochisten kunnen dit artikel over de golf/deeltjes dualiteit van licht raadplegen).

https://en.wikipedia.org/wiki/Wave%E2%80%93particle_duality

Licht met een kortere golflengte heeft meer energie per foton.

3 Intensiteit

Het andere kenmerk van een lichtstraal is de intensiteit. Stralingsintensiteit wordt gemeten aan de hand van de snelheid waarmee energie het oppervlak van de bol doorsnijdt die wordt begrensd door die cirkel aan de bovenkant van het ijshoortje, in watt per steradiaal. Om dit te begrijpen, stel je een bol voor met een piepkleine ster in het midden. Licht verspreidt zich vanaf de ster in alle richtingen evenveel. Voeg nu een ijshoortje toe met de punt in het midden van de ster, dat zich uitstrekt tot het oppervlak van de bol. De hoek aan de onderkant van de ijshoorn is één radiaal (een cirkel heeft 2π radialen; één radiaal is ongeveer $57,3^\circ$). Het gebied gedefinieerd door deze denkbeeldige ijshoorn wordt een steradiaal genoemd.



Grafische voorstelling van een steradiaal. De stralingsintensiteit van een lichtbundel wordt beschreven door het wattage van de lichtbundel gedeeld door dit oppervlak (Afbeelding met dank aan Wikimedia Commons).

4 Zichtbaar licht versus onzichtbaar licht

Als we het over licht hebben, bedoelen we meestal zichtbaar licht - het prachtige spul van regenbogen en zonneshijn. Licht beslaat echter een zeer groot golflengtebereik. Dit wordt het elektromagnetische spectrum genoemd.

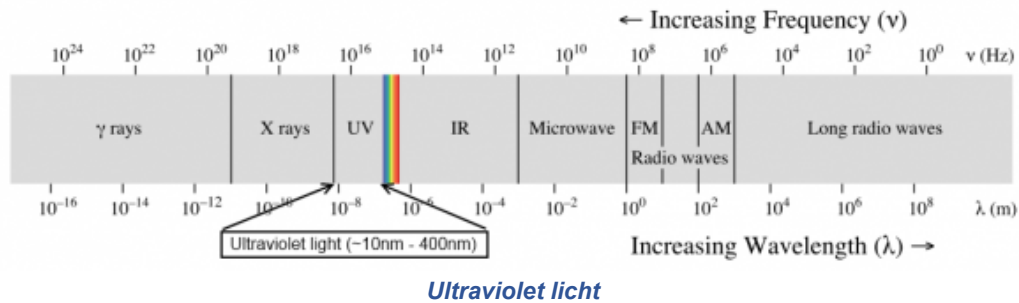
Aan de ene kant staan gammastralen en röntgenstraling, vervelende, hoogenergetische ioniserende elektromagnetische straling die fundamenteel onverenigbaar is met leven. Aan de andere kant zijn er radiogolven met een zeer lage frequentie en lange golflengte die informatie over enorme afstanden transporteren en een blik werpen op de oorsprong van het universum zelf.

In dit artikel beperken we ons tot zichtbaar licht en de gebieden die daar het dichtst bij in de buurt komen: infrarood en ultraviolet. Vanaf ultraviolet tot ver in het infrarood gedraagt licht zich ongeveer hetzelfde als wat we gewend zijn te zien bij zichtbaar licht: schaduwen worden geworpen, lenzen kunnen het focussen, het kan worden verstrooid door bijvoorbeeld een wit vel papier, enzovoort. Zodra je overgaat naar de langere en kortere golflengtes, worden de dingen vreemd en we reserveren een bespreking hiervan voor een andere les.

We gaan licht bespreken in drie verschillende groepen: ultraviolet, zichtbaar en infrarood. Ultraviolet licht is licht met een golflengte die net iets korter is dan zichtbaar licht; infrarood is net iets langer. Van de drie groepen zijn zichtbaar licht en infrarood licht iets nuttiger en gebruikelijker in de elektronica, en we zullen er dan ook iets meer tijd aan besteden.

5 Ultraviolet licht

Ultraviolet licht is licht tussen 10nm en 400nm, wat het tussen röntgenstraling en zichtbaar licht plaatst. Ultraviolet licht kan zeer schadelijk zijn voor levensvormen - je kent de effecten waarschijnlijk het best in de vorm van zonnebrand.



5.1 Ultraviolet-A

UVA (golflengte van 315 nm tot 400 nm) is de laagste energieband van ultraviolet licht. Het is bijna zichtbaar voor mensen en veel insecten en zelfs sommige vogels kunnen in deze lichtband kijken. Witte fluorescentielampen en witte LED's werken door een materiaal bloot te stellen aan UVA-licht, dat de UVA-fotonen absorbeert en fotonen uitzendt in het zichtbare spectrum, waardoor het voor ons wit lijkt.

UVA wordt ook vaak gebruikt om vervalste documenten op te sporen; als bescherming tegen vervalsing bevatten veel documenten (paspoorten, rijbewijzen en bankbiljetten, om er een paar te noemen) een watermerk dat oplicht onder UVA-straling. Blacklight posters zijn een ander voorbeeld van dingen die reageren op UVA-licht, en bleekmiddel, zeep en veel biologische materialen gloeien ook wanneer ze worden blootgesteld aan UVA.



Anti-vervalsingskenmerken in een biljet van 20 dollar onthuld door een 400nm UVA-LED.

Het grootste deel van het UVA-licht in een zonnestraal bereikt het aardoppervlak.

5.2 Ultraviolet-B

UVB (280 nm tot 315 nm) is een lichtniveau met een hogere energie dan UVA. Het komt voor in zonlicht en is niet alleen verantwoordelijk voor de huidbeschadiging die zonnebrand en huidkanker veroorzaakt, maar ook voor de synthese van vitamine D in het menselijk lichaam. Het wordt ook geproduceerd door lastoortsen; zelfs korte blootstelling aan de lichtkogels van een lastoorts, en zelfs op een redelijke afstand, kan ernstige oogbeschadiging veroorzaken als de kijker niet beschermd is.



Lastoortsen produceren veel UVB- en UVC-licht. Lassers moeten de blootstelling tot een minimum beperken om zonnebrand en oogletsel te voorkomen (Afbeelding met dank aan Wikipedia).

UVB-licht wordt redelijk goed tegengehouden door normaal vensterglas; dit is de reden waarom het ophangen van een arm uit een open autoraam kan resulteren in een zonnebrand die alleen die arm treft. Richard Feynman (Nobelprijswinnaar en bekend bongomuzikant) observeerde de explosie van de Trinity-kernproef door de voorruit van een pick-up te gebruiken om zichzelf te beschermen tegen de ultraviolette straling van de explosie.

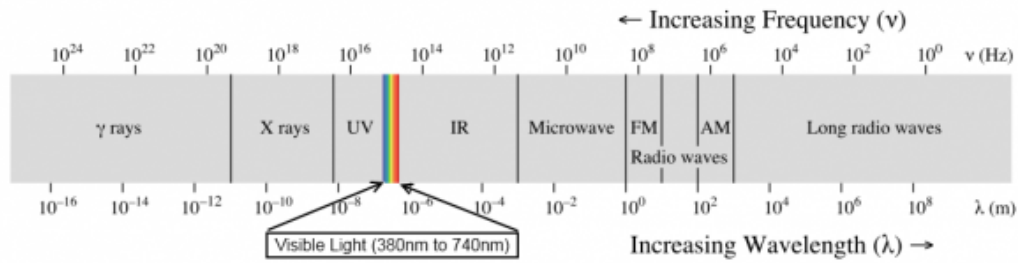
Slechts ongeveer 10% van het UVB-licht dat door de zon wordt uitgezonden, bereikt het aardoppervlak; de overige 90% wordt geabsorbeerd door de atmosfeer (voornamelijk de ozonlaag).

5.3 Ultraviolet-C

UVC (100nm tot 280nm) is meestal de grens van het interessante UV-licht voor ons. Bijna geen UVC van de zon bereikt het aardoppervlak; de atmosfeer schermt het heel effectief af.

In de slechte oude tijd, vóór EEPROM geheugen en flash geheugen (die elektronisch gewist en herschreven kunnen worden), was de enige niet-vluchtige, niet-magnetische manier van elektronische gegevensopslag de EPROM. Als een EPROM eenmaal geschreven was, kon het alleen worden gewist door het 20-30 minuten bloot te stellen aan een sterke bron van UVC-licht. Voor een hobbyist is dat een lange tijd om te wachten om uit te vinden of de wijzigingen die je in je code hebt aangebracht een bug hebben verholpen!

Zichtbaar licht is licht in het bereik van (ongeveer) 380 nm tot 740 nm. Dit kan variëren; de ogen van sommige mensen kunnen licht met een lagere of hogere golflengte detecteren, maar over het algemeen zijn de ogen van de meeste mensen gevoelig voor dit gebied.



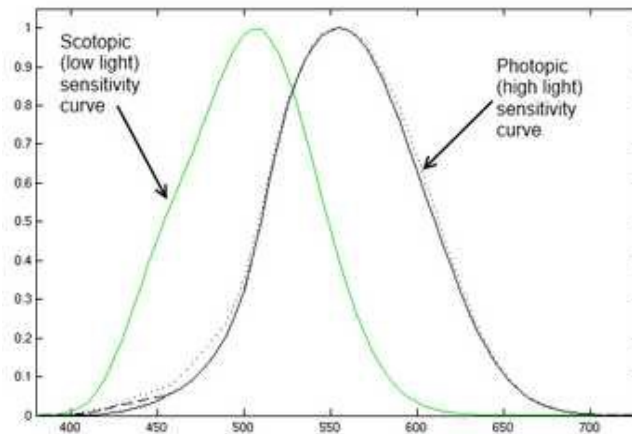
Zichtbaar licht

6 Het menselijk oog

Er zijn twee bijzonderheden in de manier waarop het menselijk oog licht waarneemt: onze ogen zijn gevoelig voor verschillende golflengten in verschillende hoeveelheden en onze ogen nemen lichtintensiteit logaritmisch waar in plaats van lineair.

6.1 Kleurwaarneming

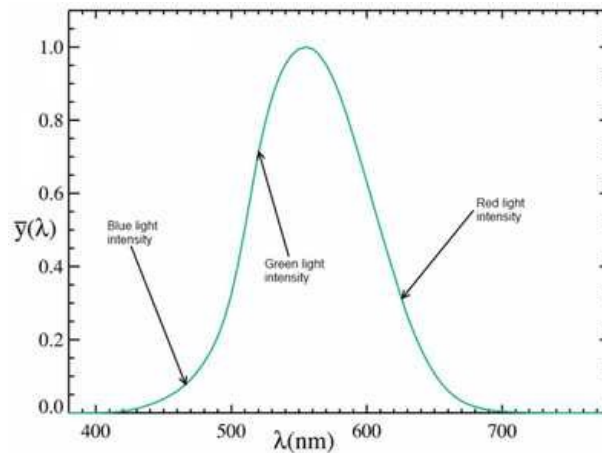
Zoals je op deze grafiek kunt zien, pikken onze ogen verschillende golflengten licht op met verschillende efficiëntie, waarbij de waargenomen intensiteiten worden gemengd tot wat wij een "kleur" noemen. Verder kun je ook zien dat bij weinig licht onze kleurwaarneming scheef wordt.



Scotopische en fotopische lichtsterktekrommen voor het menselijk oog. Deze krommen tonen de waargenomen intensiteit van een lichtbron per golflengte, ervan uitgaande dat de stralingsintensiteit van de lichtbronnen allemaal gelijk is.

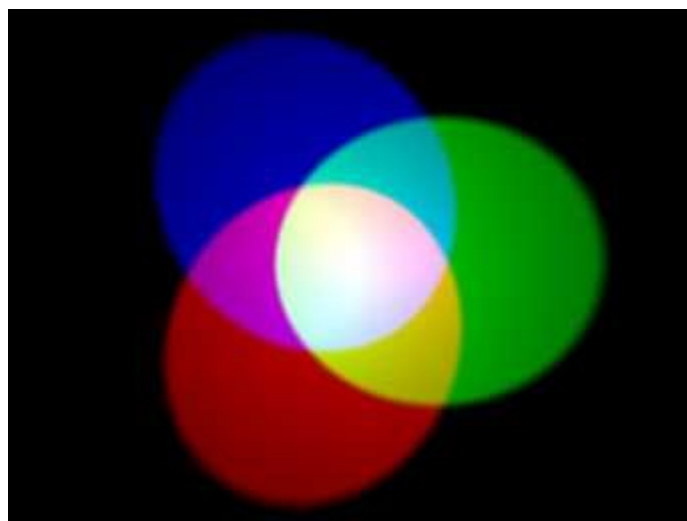
Daarom werd een speciale eenheid van lichtintensiteit, de candela, ontwikkeld. De candela weegt de intensiteit van een lichtbron op basis van de kleur; een menselijk oog zal een lichtbron van één candela waarnemen als even helder als een andere lichtbron van één candela, ongeacht de golflengte. De helderheid van LED's wordt meestal uitgedrukt in millicandela's (mcd's) en het verschil in waargenomen intensiteit tussen kleuren kan goed worden gedemonstreerd aan de hand van de intensiteit van een RGB-LED zoals deze: 800 mcd voor rood, 4000 mcd voor groen en 900 mcd voor blauw. Ik heb

de golflengten van deze drie kleuren (625 nm, 520 nm en 467,5 nm) aangegeven op de onderstaande grafiek.



De relatieve intensiteiten van de blauwe, groene en rode LED's in een driekleurige LED zijn aangegeven op deze fotoscopische curve. Vergelijk de relatieve intensiteiten (0,3 voor rood, 0,7 voor groen en 0,15 voor blauw) met de millicandelwaarden voor de drie kleuren die worden gegeven door het gegevensblad van de LED's (800mcd, 4000mcd en 900mcd). De verhoudingen zijn niet exact. Hoewel blauw een iets hogere mcd heeft dan rood, ligt blauw lager op de curve. De mcd-waarde voor groen is hoger dan beide kleuren op de curve.

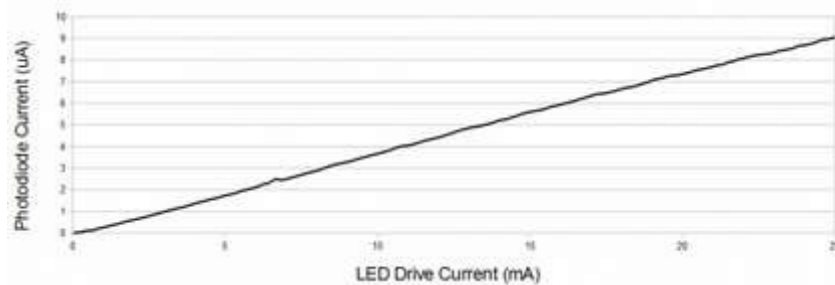
Door verschillende golflengten te mengen kan het oog worden misleid om lichtgolven waar te nemen die niet aanwezig zijn; volgens dit principe werken de meeste kleurenschermen. Er zijn slechts drie kleuren beschikbaar (een vorm van rood, groen en blauw); door deze drie lichtkleuren met verschillende intensiteiten te mengen, kan de overgrote meerderheid van de natuurlijke kleuren worden gesimuleerd (althans, voor zover het onze ogen betreft).



Kleurmenging van rode, groene en blauwe lichtbronnen. Door de lichtniveaus aan te passen, kan een groot aantal andere lichtkleuren worden gesimuleerd.

6.2 Waarneming van intensiteit

We zijn van nature geneigd om licht als een lineair verschijnsel te zien. Als we twee lichtbronnen zien, kunnen we redelijkerwijs aannemen dat de ene twee keer zo helder is als de andere. We hebben al gezien hoe dit kan worden beïnvloed door kleur; laten we nu eens kijken naar de intensiteit van licht van één kleur in verhouding tot onze waarneming ervan. De intensiteit van een LED varieert lineair met de stroom die wordt gebruikt om de LED aan te drijven.



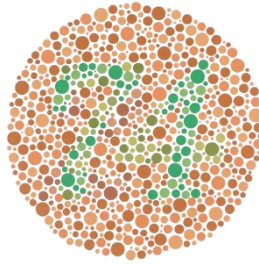
De werkelijke gegevens werden verzameld door een LED op een fotodiode te richten en de LED-stuurstroom lineair te verhogen van 0-25mA.

Waarom is het zo moeilijk? De lichtopbrengst van een LED is lineair, dus als je de stroom door de LED verdubbelt, verdubbelt de hoeveelheid lichtenergie die de LED afgeeft. Je oog reageert echter niet lineair, maar logaritmisch. De reden hiervoor is eenvoudig: onze ogen moeten ons nuttige informatie verschaffen over een heel scala aan lichtomstandigheden, van sterrenlicht tot daglicht. Op een onbewolkte nacht onder een volle maan is de lichtintensiteit slechts 1/440.000ste van die op een zonnige dag, maar toch moeten onze ogen goed functioneren bij beide uitersten en overal daartussen! Dat maakt het beoordelen van de relatieve helderheid van een lineaire lichtbron erg moeilijk.

6.3 Kleurenblindheid

Kleurenblindheid is niet, zoals de naam doet vermoeden, een onvermogen om kleuren waar te nemen. Er zijn veel varianten van kleurenblindheid; de meest voorkomende, rood-groen kleurenblindheid, treft bijna 10% van de mannelijke bevolking in meer of mindere mate.

Kleurenblindheid kan worden vastgesteld met een eenvoudige test, waarbij de proefpersoon wordt gevraagd om patronen of symbolen te herkennen die zijn gemaakt van stippen van een andere kleur tegen een achtergrond van stippen van dezelfde grootte.

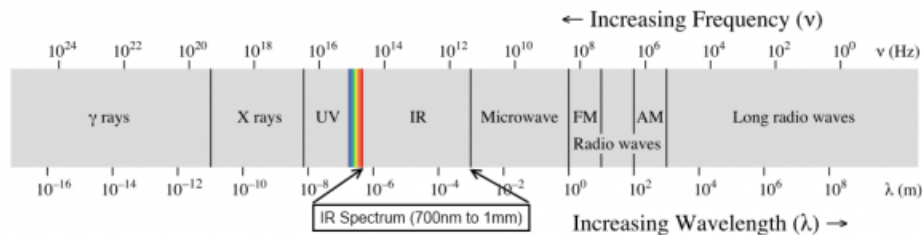


Testplaat van de Ishihara kleurenblindheidstest. Iemand met normaal kleurensicht zal het getal 74 zien; kleurenblinden kunnen het getal 21 of helemaal geen getal zien, afhankelijk van de aanwezige deficiëntie.

Om degenen onder ons met kleurenblindheid een plezier te doen, probeer alsjeblieft geen kleur te gebruiken om informatie over te brengen. Goede voorbeelden van slecht ontwerp zijn LED's die van kleur veranderen om een toestand aan te geven (groen betekent "oké", rood betekent "mislukking"), kaarten die een reeks kleuren gebruiken om een numerieke waarde met een regio te verbinden en andere tekstkleuren dan wit-op-zwart of zwart-op-wit.

7 Infrarood licht

Infrarood licht is licht met een langere golflengte dan zichtbaar licht, maar een kortere golflengte dan microgolven. Er is willekeurig gekozen om te beginnen bij 700nm en te stoppen bij 1mm.



Infrarood licht

(1.000.000nm), waardoor het een veel groter deel van het spectrum is dan ultraviolet of zichtbaar licht. Ongeveer 55% van de lichtenergie die het aardoppervlak bereikt van de zon is infrarood.

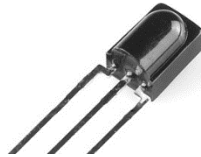
8 Nabij infrarood

Nabij-infrarood is een gebied dat van groot belang is voor elektronica: dit is het gebied waarbinnen infrarode afstandsbedieningen, objectsensoren en afstandsdetectoren werken. Het ligt net boven het zichtbare bereik en is zeer eenvoudig te creëren en te detecteren met solid-state technologieën.



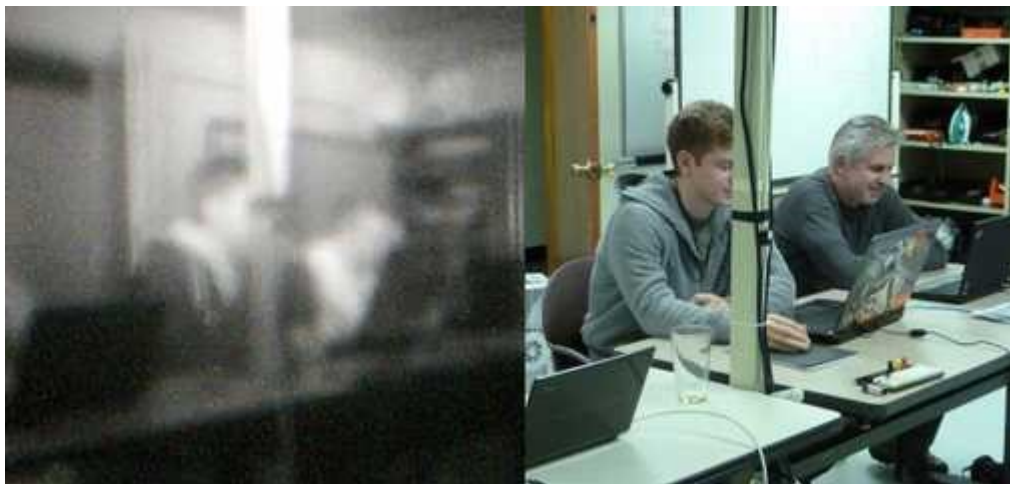
infrarood emitter/detectorpaar. Goedkoop, maar extreem gevoelig voor interferentie van zowel zichtbaar als infrarood licht in de omgeving.

De nabij-infraroodband strekt zich uit tot 1400 nm. Gebruikelijke golflengtes van zenders zijn 850 nm en 950 nm. Er is altijd een enorme hoeveelheid nabij-infrarood licht om ons heen; de kans op interferentie met infraroodsignalering en -detectie is groot. De meeste infraroodsignaleringsystemen (zoals infrarood afstandsbedieningen) lossen dit op door de bundel op een vaste frequentie te moduleren, in plaats van te proberen licht uit te filteren dat niet van de gewenste golflengte is.



Gemoduleerde IR-ontvangermodule. Dit kleine IC zoekt naar infrarood licht dat wordt gepulseerd op 38 kHz en probeert het te interpreteren als een datasignaal.

Nabij-infrarood wordt ook goed gedetecteerd door digitale camera's. Zo goed dat de meeste digitale camera's een filter hebben om infrarode golflengtes te blokkeren. Dit filter kan worden verwijderd, waardoor de gevoeligheid in het infraroodbereik toeneemt. Een eenvoudig filter dat infrarood licht doorlaat, maar zichtbaar licht blokkeert, kan worden gemaakt van 35mm filmnegatieven; de achterkant van het filmrolletje waar geen foto's op staan is hier perfect voor.



Twee foto's van dezelfde scène. De linkerfoto is gemaakt in een verduisterde kamer met een goedkope webcam waarvan het infraroodfilter is verwijderd en vervangen door filmnegatieven, en de rechterfoto is gemaakt met een standaard point-and-shoot camera.

9 Infrarood met lange golflengte

Langgolvig infrarood is licht in het 8000nm-15000nm bereik. Dit is de zone voor thermische beeldvorming, waar al die verbazingwekkende beelden met valse kleuren vandaan komen die de relatieve temperatuur van dingen weergeven.



Dezelfde scène in het zichtbare spectrum en het infrarood met lange golflengte. Merk op dat de plastic zak ondoorzichtig is voor zichtbaar licht, maar bijna transparant voor infrarood (met dank aan het team van de NASA Spitzer Infrared Telescope).

Het is een veelgemaakte fout dat mensen het verschil tussen nabij-infraroodbeeldvorming en langgolvlige infraroodbeeldvorming verkeerd begrijpen. Nabij-infrarood beeldvorming is vrij eenvoudig te realiseren - standaard CMOS en CCD beeldvormingschips kunnen gemakkelijk licht detecteren in het nabij-infrarood gebied. Langgolvig IR vereist speciale sensoren omdat de lichtstraal een golflengte heeft die 1000 keer langer is dan bij nabij IR. Dit vereist een navenant grotere geometrie in de sensorelementen.



Een IR-temperatuursensor met lange golflengte. De langere golflengte vereist een groter detectiegebied dan zichtbare of nabij IR-toepassingen.

Een ander steeds bekender gebruik van dit gebied is lasersnijden en -etsen. De meeste lasersnijders werken met een CO2 laserbuis om de laserstraal met een golflengte van 10640 nm te genereren.

10 Conclusie

Licht is iets fascinerends en complex, en we hebben in deze les slechts een tipje van de sluier opgelicht. Als je meer wilt leren, kun je hier een aantal uitstekende bronnen bekijken:

- IR-communicatie
- Aansluithandleiding IR-bedieningskit
- Aansluithandleiding lichtsensor TSL2561
- Wikipedia-artikel over ultraviolet licht
- Wikipedia-artikel over zichtbaar licht
- Wikipedia-artikel over infrarood licht
- Artikel over verschillende golflengtes voor lasersnijders
- Zichtbaar licht en trucjes met het oog
- "Kleuren IQ" test- Hoe dicht bij "normaal" ligt je kleurenvisie?