

# Fluorescentie

Thomas van Dijk

## SUMMARY

In this paper an attempt is made to explain in simple language the physics of the phenomenon Fluorescence. The effect of light sources, as well as the function of Ultra-Violet filters is explained. Some samples as to how and what one can analyse with fluorescence light sources, is given.

## INLEIDING

Fluorescentie is een lichtverschijnsel dat optreedt als voorwerpen bestraald worden met ULTRA-VIOLETTE stralen.

Als wij twee voorwerpen (bijv. gesteenten) hebben die op het eerste gezicht volkomen aan elkaar gelijk zijn, maar waarvan wij een vaag vermoeden hebben dat er toch wel verschillen aanwezig zijn, kunnen we deze stenen op verschillende eigenschappen gaan onderzoeken. We gaan bijv. het soortelijk gewicht bepalen, er kunnen misschien kleine kleurverschillen aanwezig zijn of magnetische eigenschappen of, als er voldoende materiaal aanwezig is, kunnen we dit materiaal chemisch analyseren. We kunnen echter in vele gevallen ook een verschil aantonen met fluorescentie.

Het voordeel van een fluorescentie- of analyselamp is dat we er onderzoekingen mee kunnen doen zonder de voorwerpen te beschadigen, we kunnen onderlinge verschillen opsporen die bij gewoon licht onzichtbaar blijven, maar bij de analyselamp sterke kleurverschillen aantonen.

Een analyselamp kunnen we niet vergelijken met een gewone gloeilamp, waar het uitgezonden licht wordt geproduceerd door een draad die door een elektrische stroom tot gloeihitte wordt gebracht. In de analyselamp wordt een kleine hoeveelheid kwik door verhitting in damp (gas) omgezet en door een elektrische spanning tot lichten gebracht. Dit soort lichten noemt men een *gasontlading*. Bekijken we nu zo'n gasontlading met een spektroskoop dan zullen we een serie gekleurde lijnen waarnemen, van rood tot violet, een zgn. *lijnspectrum*.

## IETS OVER HET ZIEN VAN VERSCHILLENDE KLEUREN

Het begrip golflengte

In de ons omringende natuur komen allerlei soorten trillingen voor. Zij hebben de eigenschap zich in allerlei middenstoffen voort te kunnen planten.

Geluid is: trillingen die zich kunnen voortplanten in vaste stoffen (hamerslagen op een metalen staaf), vloeistoffen (onder water explosies) of gassen (b.v. lucht).

Bij lichttrillingen gebeurt iets dergelijks als bij de geluidstrillingen. Het verschil is dat we veronderstellen dat er een tussenstof is, die 'Aether' genoemd wordt, wat overigens een zeer verouderd begrip is.

Een eenvoudig proefje kan het verduidelijken:

Onder een glazen klok zetten we een wekker of een elektrische bel. Door het glas heen horen we het tikken van de wekker of het duidelijke gerinkel van de bel. Pompen we nu de lucht uit de glazen klok weg, dan horen we geen geluid meer.

We zien het voorwerp nog wel, maar de geluidstrillingen dringen niet meer door; geluidstrillingen planten zich door lucht (gas) voort, lichttrillingen gaan echter ongestoord door het luchtledige heen.

We moeten het licht zien als een golfbeweging, deze golven kunnen alle mogelijke hoogten en breedten hebben: zie figuur 1 en 2.

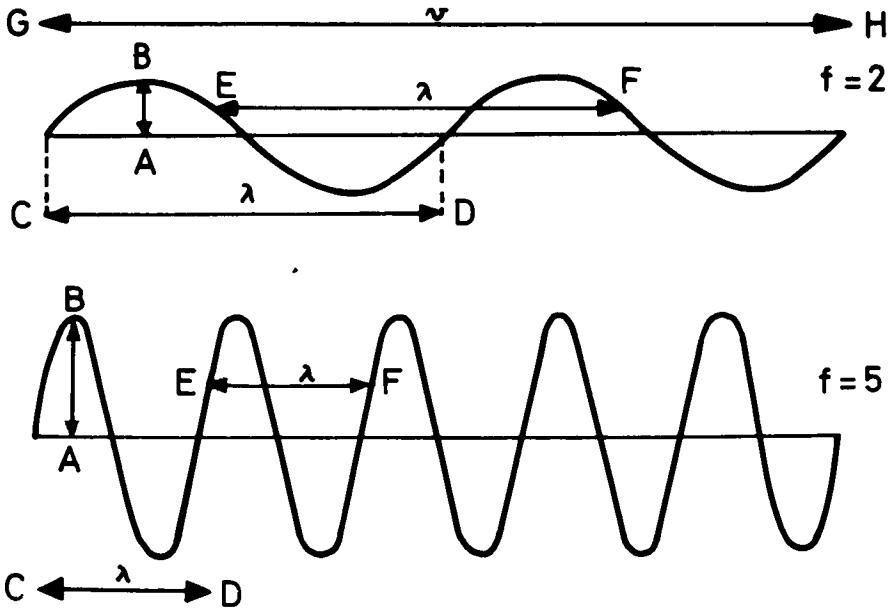


Fig. 1 en 2: Een rode lange lichtgolf en een violette lichtgolf.

In deze figuren noemen we de afstand tussen twee punten, die in dezelfde omstandigheden verkeren de golflengte, deze is aangegeven door het gedeelte CD of EF, de grootste uitwijking AB noemen we de amplitudo. De 2 figuren zijn verschillend, maar beide grootheden hebben één overeenkomst: het stuk GH wordt in bijv. 1 seconde afgelegd, dit noemen we de voortplantingssnelheid. In figuur 1 is het aantal golflengten (het aantal trillingen per seconde) slechts twee en in figuur 2 vijf. Dit aantal trillingen per seconde heet de frekwentie.

Het resultaat van deze redenering is:

voortplantingssnelheid = frekwentie  $\times$  golflengte.

We voeren voor deze begrippen de volgende symbolen in:

$v$  = voortplantingssnelheid

$f$  = aantal trillingen per seconde (frekwentie)

$\lambda$  = (Lambda) = golflengte

Hieruit volgt: voortplantingssnelheid = aantal trillingen per seconde  $\times$  golflengte, of in het kort:  $v = f \cdot \lambda$

### Wat bedoelen we hiermee?

De soort trillingen die we krijgen is afhankelijk van de golflengte, en de energie is afhankelijk van de amplitudo (AB in de figuren 1 en 2). Als we aannemen dat in deze figuren twee kleuren licht zijn, dan stelt de eerste een rode lichtstraal voor (lange golven) met een geringe energie en de tweede figuur een violette lichtstraal met een grotere energie (korte golven).

Als in onze formule  $f$  (frekwentie) groter wordt, wordt  $\lambda$  (de golflengte) kleiner en de energie neemt toe. Door het toenemen van de energie zijn deze kortgolvlige trillingen (of golven) in staat om tijdelijke of blijvende veranderingen aan te brengen in de atoomstructuur van voorwerpen die door deze kortgolvlige stralen getroffen worden.

### Dit zullen we verder moeten verklaren

We weten iedere stof uit molekulen bestaat, die op hun beurt weer zijn samengesteld uit atomen. Een atoom is onvoorstelbaar klein en we hebben het dan ook nog nooit kunnen zien. De Deense geleerde Niels Bohr, heeft in 1913 echter een beeld ontworpen van het atoommodel en aan de hand hiervan kunnen we een groot aantal natuurverschijnselen verklaren.

Volgens het model bestaat het atoom uit een positief geladen kleine kern, die merkwaardig genoeg bijna de gehele massa van het atoom bevat. Om deze kern wentelen met een enorme snelheid één of meer **elektronen**, dit zijn uiterst lichte deeltjes met een negatieve lading. De hoeveelheid negatieve lading van deze elektronen is gelijk aan de hoeveelheid positieve lading van de kern, waardoor het atoom elektrisch **neutraal** is.

Deze elektronen draaien om de kern als de planeten rond de zon, ze kunnen niet stilstaan, anders zouden ze op de kern (zon) vallen door de onderlinge aantrekkingskracht (ongelijknamige polen trekken elkaar aan).

Dit systeem wordt door twee verschillende krachten in stand gehouden:

- 1 door de middelpuntvliedende kracht (centrifugaal), een naar buiten gerichte beweging.
- 2 door de elektrische aantrekkingskracht, een naar het centrum van het systeem gerichte kracht.

Deze twee krachten houden elkaar in evenwicht.

Een verdere bijzonderheid is dat onze elektronen niet op willekeurige banen rond de atoomkern lopen, maar op vaste, en nauwkeurig voorgeschreven afstanden van de kern. Dit is schematisch aangegeven in figuur 3, hierin zijn de drie elektronenbanen getekend; 1, 2 en 3.

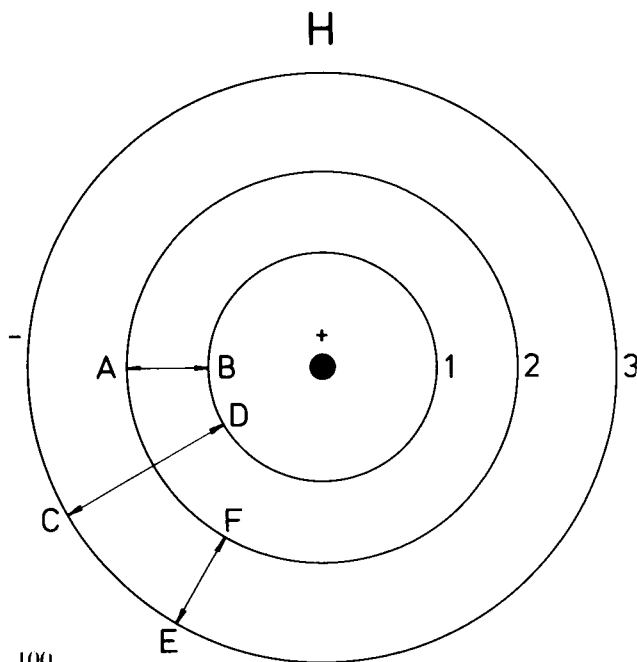


Fig. 3: Model van het waterstofatoom H, waarin aangegeven de banen waarin het elektron zich kan bevinden.

Baan 1 is de natuurlijke plaats van het elektron, de z.g. grondtoestand. De banen 2 en 3 zijn de plaatsen waarin het aangeslagen elektron zich kan bevinden.

Ze kunnen wel door een sprong van de ene baan op de andere komen. Door de reeds besproken onderlinge aantrekkingskracht van de elektronen t.o.v. de kern, is er energie nodig om een elektron van baan 1 op baan 3 te tillen. Ook de snelheid van het elektron verandert hierdoor, omdat de baan die verder van de kern verwijderd is een grotere omtrek heeft; een elektron uit baan 1 voelt zich niet prettig op baan 3.

**Conclusie:** we moeten energie toevoeren om het elektron uit baan 1 naar baan 3 te laten springen.

Zodra het elektron de kans krijgt valt hij na korte tijd weer terug naar zijn oorspronkelijke baan. Als nu het elektron terugvalt geeft het de energie af, die het eerst had opgenomen om in een hogere baan te komen. Deze energie wordt teruggegeven in de vorm van licht, dit kan zowel zichtbaar licht zijn als ultraviolette straling.

Wat voor straling het zal zijn kunnen we opmaken uit de formule

$$E_3 - E_1 = h \cdot f$$

Hierin is  $E_3 - E_1$  de vrijgekomen energie die men tegenwoordig precies kan berekenen,  $h$  is een bepaald getal, een konstante (de konstante van Planck) en  $f$  is de ons bekende frekwentie. Dit houdt in dat met iedere sprong van het elektron van een hogere naar een lagere baan een bepaalde frekwentie wordt uitgezonden die dus met een bepaalde golflengte (kleur) overeenkomt. Valt bijv. een elektron van baan 3 naar baan 1, dan komt er een grote energie vrij, de  $f$  is groot, de  $\lambda$  is dan klein en de uitgezonden straling is ultra-violet.

Valt een elektron van baan 2 naar baan 1, dan is de situatie omgekeerd; de golflengte van de uitgezonden straling zal groot zijn en licht uitzenden in het rood.

Iedere elektronensprong komt dus overeen met een bepaalde straling, of kleur licht.

#### ULTRA-VIOLETTE LICHTBRONNEN EN ANALYSE LAMPEN

In de inleiding is even gesproken over een lamp waarin een kleine hoeveelheid kwik door verhitting in dampvorm wordt gebracht. Door hier een elektrische spanning op te zetten zal er licht uitgezonden worden.

Afbeelding 4 laat de konstruktie van deze lanp zien.

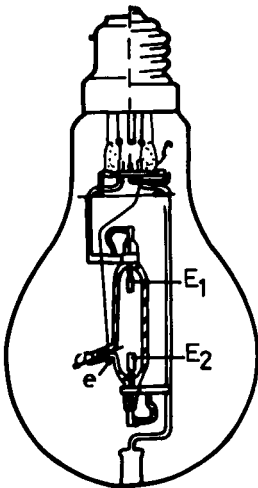


Fig. 4: De konstruktie van de gasontladingslamp

We zien binnenin een buisje, de eigenlijke stralingsbron, deze is omgeven door een ballon van nikkeloxydeglas, die nagenoeg alleen het ultraviolet doorlaat met als belangrijkste lijn de kwiklijn met een golflengte 3655 Å. In het buisje bevinden zich de elektroden  $E_1$  en  $E_2$ , een beetje kwik en een kleine hoeveelheid Argon\* (is een edelgas), en verder een zgn. hulpelektrode: e.

Wordt de lamp nu ontstoken dan ontstaat er een ontlading tussen de elektroden e en  $E_2$ , er zijn dan ruim voldoende elektrisch geladen deeltjes om op datzelfde moment tussen  $E_1$  en  $E_2$  een ontlading tot stand te brengen: het kwik gaat over in damp (gas) en langzaam zal de helderheid (lichtkracht) van de lamp toenemen, om na ongeveer 5 minuten op volle intensiteit te komen, verder is er nog een verandering ontstaan: door de sterke temperatuursverhoging is de kwikdruk enorm toegenomen en heerst er in de lamp een druk van  $\pm 20$  atmosfeer. Elektrode e (hulpelektrode) heeft na het ontsteken van de lamp geen functie meer en is daarom voorzien van een in de lamp ingebouwde weerstand r.

Dit soort lamp heeft een grote lichtkracht: 125 W, maar is kostbaar, zowel de lamp als het bijbehorende voorschakelapparaat. Als een ander soort Fluorescentielamp is er een buislampje in de handel, een TL buisje, die minder vermogen heeft: 8 W, maar goed voldoet. Hiermee kunnen goede analyses uitgevoerd worden. In vergelijking met de eerste soort lamp is dit buisje ongeveer vijf maal goedkoper. Deze buisjes zijn in Amsterdam verkrijgbaar bij de firma E. Brands, Kinkerstraat 352, tel. 020-8 49 06. Prijs  $\pm$  f 35,-, compleet met balkje (juni '76). De handelsnaam van deze lampjes is 'Blacklight'.

De energie die nodig is voor het verschijnsel fluorescentie wordt door deze analyselampen uitgezonden; ultra-violette straling met een golflengte van  $\lambda = 3655$  Å, deze kortgolvlige straling (kleine  $\lambda$ ) bezit de nodige energie om in stoffen die door deze straling getroffen worden, de atomen te exciteren (aan te slaan); de elektronen worden door energie opname op een hogere baan getild, draaien in deze nieuwe baan rond en vallen na zeer korte tijd, in 1/100.000.000 seconde terug naar hun oorspronkelijke plaats en zenden dan hun opgenomen energie als zichtbaar licht uit (langere golflengten, waar ons oog gevoelig voor is). Het kortgolvlige ultraviolette licht, voor ons onzichtbaar, wordt omgevoerd in langgolvlig zichtbaar licht. De verschillende kleuren die in de stof of stoffen ontstaan zijn kenmerkend voor de desbetreffende stof, een specifieke atoomstructuur van de stof. Hebben we dus bijv. twee verschillend uitziende stenen, die onder de analyselamp dezelfde kleuren vertonen, dan kunnen we met vrij grote zekerheid aannemen dat deze stenen uit dezelfde soort atomen zijn opgebouwd, dus aan elkaar gelijk zijn, d.w.z. dezelfde minerale bestanddelen.

### **Waardoor zenden deze lampen ultra-violette stralen uit?**

Tot nu toe hebben we gesproken over het verschijnsel dat de analyselamp veroorzaakt en uitvoerig trachten te omschrijven hoe dit soort straling ontstaat. De vraag is nu waar komt deze ultra-violette straling vandaan en hoe ontstaat deze straling?

Dit kunnen we eenvoudig beantwoorden: het is nml. hetzelfde proces als bij fluorescentie, met dit verschil dat het geen lichtstralen zijn maar deeltjes; elektronen. In de analyselamp bevindt zich een buisje, zie figuur 4, gemaakt van kwarts gevuld met een beetje kwik, twee elektroden en een weinig argon gas. Wordt hier een elektrische stroom doorgevoerd dan zullen er elektrisch geladen deeltjes (elektronen) vrijkomen, deze worden versneld door een hoge elektrische spanning

\* Het Argongas heeft de functie om de ontlading in te leiden.

(wordt geleverd uit het voorschakelapparaat dat bij de analyselamp hoort, ongeveer 500 V). Deze snelopende deeltjes komen in botsing met de kwikatomen die in gasvormige toestand in het ontladingsbuisje zijn; de kwikatomen worden aangeslagen, de elektronen van de kwikatomen gaan andere, 'hogere' banen beschrijven en vallen aansluitend weer terug naar hun oorspronkelijke plaats onder afgifte van lichttrillingen.

Het kwikatoom heeft 80 elektronen om zijn kern heen wentelen, we kunnen ons dan wel een voorstelling maken van de zeer ingewikkelde processen die veroorzaakt worden binnen dit atoom als het gebombardeerd wordt met elektronen van buitenaf. Er is dan ook een reeks van verschillende overgangen, die op hun beurt verschillende golflengten licht uitzenden, die dus verschillende kleuren hebben.

Als een kwiklamp in bedrijf is en we bekijken deze lichtbron met een spektroskoop, dan zullen we een reeks gekleurde lijnen waarnemen.



Fig. 5: Zo ziet een kwikspektrum er uit in een spektroskoop met daarbij de verschillende golflengten in Å. Eén Å (Angström) is 1/10.000.000 mm.

De kleuren van deze lijnen zijn rood, geel, groen, lichtblauw, donkerblauw, paars en als laatste ultraviolet, deze is niet zichtbaar, maar wel de belangrijkste van de lichtbron; golflengte 3655 Å, die de fluorescentie teweeg brengt. Als het overige licht niet weggenomen wordt zouden we dit verschijnsel niet kunnen waarnemen, het zichtbare licht zou het geheel overstemmen en fluorescentie is dan niet waarneembaar. Om te bereiken dat dit licht wordt weggenomen is om het ontladingsbuisje van de lamp een glazen ballon aangebracht van zgn. Nikkeloxideglas (ook wel Woodsglas genoemd), deze ballon is op het oog volkomen zwart en heeft de eigenschap om alle licht op te slorpen waar ons oog gevoelig voor is, maar is doorzichtig voor de golflengte 3655 Å, de fluorescentie spektraallijn.

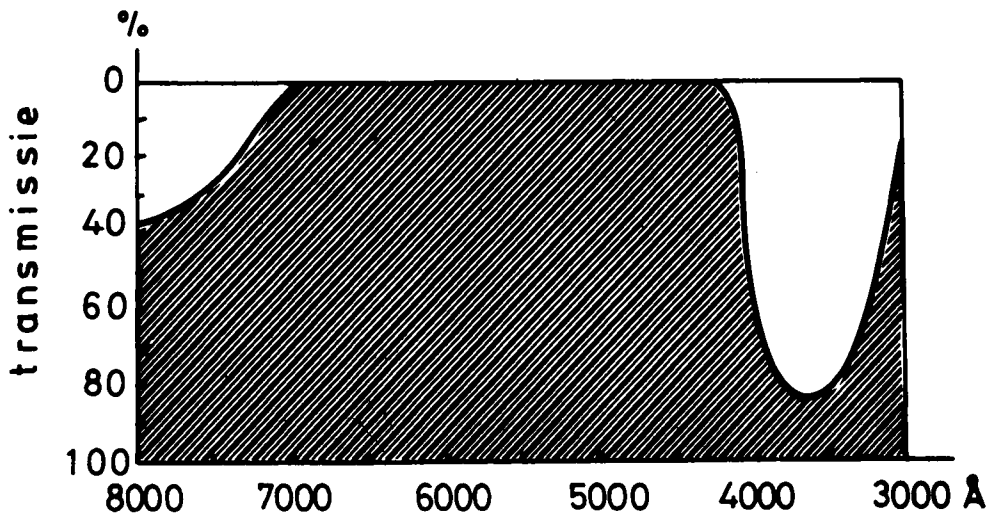


Fig. 6: Absorptie spectrogram van een Nikkeloxide glasfilter, van dit soort glas is de ballon gemaakt, die om de kwikontladinglamp is aangebracht.

Figuur 6 toont een absorptie spektrogram van het Nikkeloxideglas. Het gearceerde gebied stelt lichtabsorptie voor en het witte gebied de doorlaatbaarheid voor lichtgolven. Op de horizontale as is de golflengteschaal getekend, hieraan kunnen we zien dat de spektraallijn  $\lambda = 3655 \text{ \AA}$  doorgelaten wordt (witte gebied), de vertikale as geeft de doorlating van het licht aan in procenten. In de linkerbovenhoek zien we ook nog een klein wit gebied dat nog doorlaatbaar is voor rood licht met golflengten tussen 7000 en 8000  $\text{\AA}$  met een intensiteit van  $\pm 20 \%$ . Hierdoor kunnen we in het donker onze analyselamp zien branden met een dieprode zwakke gloed.

### **Wat kunnen we met de fluorescentielamp onderzoeken?**

Dit is eigenlijk te veel om op te noemen, maar een opsomming van onderwerpen is misschien wel interessant. Zoals bij alle onderzoeken kan men zich het beste in één onderwerp verdiepen. Uit onderstaande lijst kan men dan uitzoeken:

Stenen - mineralen - edelstenen - parels - fossielen

Chemicaliën - geneesmiddelen - schimmels

Postzegels - papiersoorten - documenten

Lakzegels

Melk - boter - kaas - eieren

Oliesoorten - vernissen - verf

Textiel

De meeste voorwerpen onder de analyselamp zullen allerlei verschillende, veelal prachtige en heldere kleuren vertonen, en dezelfde stoffen soms kleurverschillen. Bijvoorbeeld vervalsingen op documenten worden zichtbaar.

Of: de brilante kleurverschillen van minerale mengsels; Verse melk is geel van kleur, oude melk is blauw; Verse eieren zijn dieprood van kleur, oude lichtblauw; Het kleurverschil tussen boter en margarine; Echte en imitatieparels (ook cultivé parels zijn echt!) enz. enz.

Het leukste is natuurlijk het zelf proberen.

De mogelijkheden met onze fluorescentie techniek zijn bijzonder groot. Niet overal bij de verschillende toepassingen moeten opvallende verschillen verwacht worden. Het werken met de analyselamp vereist oefening. Men moet het fluorescentiebeeld als het ware 'lezen', zoals een arts röntgenfoto's moet leren bekijken, dit betekent met bekende voorbeelden beginnen. Na enige tijd zal men de typische fluorescentieverschijnselen van verschillende stoffen kennen en met deze ervaring zal men zelfs zeer kleine verschillen en afwijkingen op kunnen merken.

### **Het fotograferen**

Als we een verzameling stenen en mineralen met de lamp bekijken zien we veelal een prachtige mengeling van brilante kleuren. Dit schouwspel is zo fascinerend dat het maken van bijv. een kleurenfoto zich aan ons opdringt. Om dit te doen moeten we om mislukken te voorkomen een paar maatregelen nemen:

- 1 We moeten de zaak zo opstellen dat de kamera de analyselamp niet kan zien, maar alleen de stenen, dus verbergen we de lamp achter een stuk karton of zwarte doek zodat alleen de stenen bestraald worden.
- 2 De kameralens moet van een zgn. ultraviolet filter worden voorzien. Dit is bij de fotonhandel verkrijgbaar onder de naam ultra-violet of Hazefilter. Dit soort filter wordt o.a. gebruikt bij het fotograferen in de bergen, om het overtollige ultraviolette licht dat op grote hoogten aanwezig is, te absorberen. De foto's zouden blauw van kleur worden.

De werking van dit filter zien we weer in het spektrogram (fig. 7).

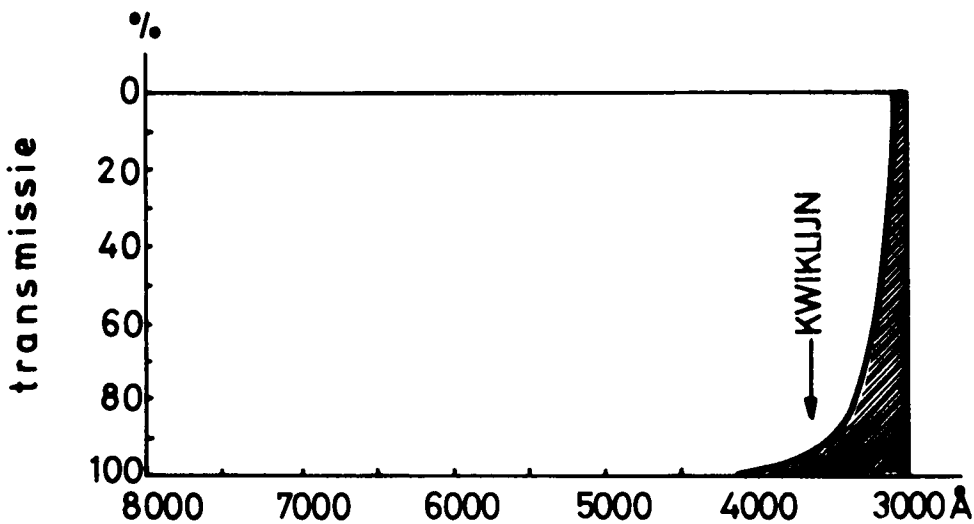


Fig. 7: Ultra-violet absorptie filter, het omgekeerde van figuur 6.

Dit spektrogram is precies het omgekeerde beeld van fig. 6, hier was het de bedoeling om het ultraviolet door te laten en het zichtbare licht op te slopen (absorberen). Nu willen we echter juist het zichtbare licht fotograferen (de kleuren van de stenen) en het uitgestraalde ultraviolette licht absorberen, want dit werkt storend op de foto's. Het filter absorbeert deze straling voor het grootste deel,  $\pm 90\%$ .

Zonder gebruik van dit filter worden kleurenfoto's blauw en de overige kleuren, waar het nu juist om gaat, vaag en wazig.

#### Slotopmerking

Onze ogen en in het bijzonder de inwendige oogbol fluoresceert ook, als we dus naar de lamp kijken, kan er soms een waas voor onze ogen ontstaan. Dit is volkomen onschuldig en komt doordat in ons oog, terwijl we in het donker staan, een witachtig licht ontstaat door fluorescentie.

Bij normaal gebruik zijn deze lampen zowel voor huid en ogen onschadelijk.