



Metingen van de absorptie door het latente beeld

<https://hdl.handle.net/1874/324074>

A. qu. 192, 1930.

**METINGEN VAN DE ABSORPTIE
DOOR HET LATENTE BEELD**

H. J. JURRIËNS

BIBLIOTHEEK DER
RIJKSUNIVERSITEIT
UTRECHT.

ss.
cht

8

METINGEN VAN DE ABSORPTIE DOOR HET
LATENTE BEELD

Diss. Utrecht, 1938

METINGEN VAN DE ABSORPTIE DOOR HET LATENTE BEELD

PROEFSCHRIFT

TER VERKRIJGING VAN DEN GRAAD VAN
DOCTOR IN DE WIS- EN NATUURKUNDE
AAN DE RIJKS-UNIVERSITEIT TE UTRECHT
OP GEZAG VAN DEN RECTOR MAGNIFICUS
DR. J. BOEKE, HOOGLEERAAR IN DE FACULTEIT
DER GENEESKUNDE, VOLGENS BESLUIT VAN DEN
SENAAT DER UNIVERSITEIT TEGEN DE BE-
DENKINGEN VAN DE FACULTEIT DER WIS- EN
NATUURKUNDE TE VERDEDIGEN OP MAANDAG
4 JULI 1938, DES NAMIDDAGS TE 2 UUR, DOOR

HENDRIK JAN JURRIËNS

GEBOREN TE UTRECHT



1938

DRUKKERIJ Fa. SCHOTANUS & JENS — UTRECHT

BIBLIOTHEEK DER
RIJKSUNIVERSITEIT
UTRECHT.

*Aan mijn Ouders.
Aan mijn a.s. Vrouw.*

Aan U, Hoogleraren van de faculteit der Wis- en Natuurkunde, betuig ik mijn dank voor het genoten onderwijs.

In het bijzonder wil ik U, Hooggeleerde *O r n s t e i n*, Hooggeachte promotor, hartelijk danken voor de grote steun en belangstelling, die ik van U gedurende mijn studietijd mocht ondervinden. Ik ben U zeer erkentelijk voor de bijzondere medewerking, waardoor Gij het mij mogelijk gemaakt hebt nog voor mijn onverwacht vertrek naar Indië te promoveren.

Beste *v a n K r e v e l d*, jouw ideeën waren van doorslaggevende betekenis bij het ontstaan van dit proefschrift; je vriendschap is mij tot grote steun geweest.

Ik dank allen, die op enigerlei wijze medegewerkt hebben aan het tot stand komen van dit proefschrift. In het bijzonder dank ik jou, beste *S m i t*, voor de buitengewone wijze, waarop jij me met raad en daad hebt bijgestaan.

HOOFDSTUK I

INLEIDING

§ 1. Het latente beeld.

Bij de inwerking van licht op de fotografische plaat treedt in de emulsie een verandering op van blijvende aard, die men het latente beeld heeft genoemd. Door ontwikkelen kan men dit latente beeld omzetten in een zilverbeeld, waarvan met eenvoudige hulpmiddelen de zwarting, de hoeveelheid zilver, het aantal zilverkorrels, etc. te meten zijn. Uiteraard zijn de eigenschappen van het ontwikkelde beeld afhankelijk van die van het latente beeld, maar de ontwikkeling is zo'n ingrijpend proces, dat de eigenschappen van het latente beeld bezwaarlijk uit die van het ontwikkelde beeld te reconstrueren zijn.

Er is dus reden eens na te gaan wat men omtrent het latente beeld te weten kan komen met behulp van directe methoden, d.w.z. zonder voorafgaande ontwikkeling.

§ 2. De directe zwarting.

Als men op een onontwikkelde plaat een zeer grote hoeveelheid fotografisch werkzame straling laat vallen, wordt die plaat zichtbaar donkerder. Deze „directe zwarting” is door verschillende onderzoekers nader bestudeerd.

Koch en Vogler (1) pasten röntgenanalyse van belichte platen en AgBr kristallen toe. Na een belichting met 10^{22} quanta/cm² zonlicht vonden zij behalve de AgBr ringen ook Ag ringen in hun opnamen.

Eggert en Noddack (2) bepaalden door titratie (methode

volgens Volhard) de hoeveelheid zilver die in emulsies gevormd wordt door belichtingen van 5×10^{15} tot 13×10^{16} quanta/cm² bij de golflengten 4360, 4050 en 3650 Å. Twee hunner meetreeksen zijn in fig. 1 grafisch voorgesteld. Kromme I is gemeten aan een Agfa „Spezial” emulsie bij de golflengte 4360 Å, kromme II aan een Agfa „Reproductie” emulsie bij dezelfde golflengte.

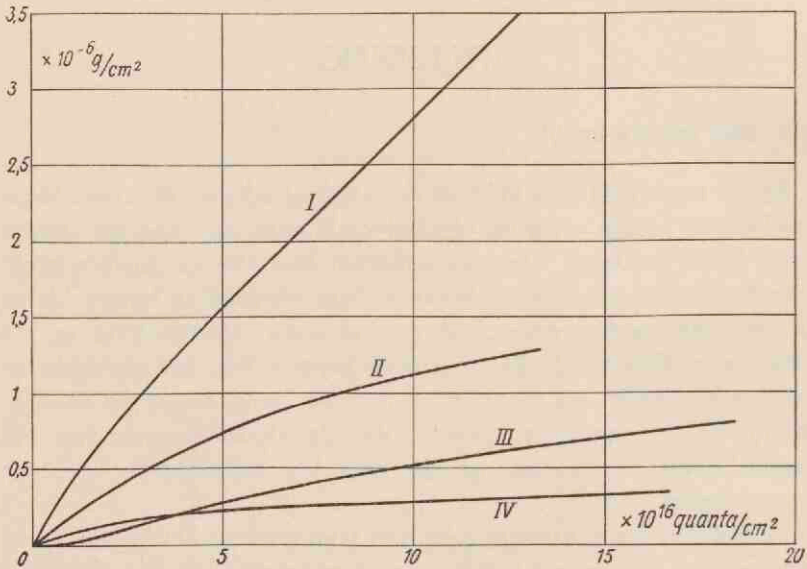


Fig. 1. De directe zwarting. Gevormde hoeveelheid zilver als functie van de belichting.

- I. Agfa „Spezial” emulsie bij 4360 Å (Eggert en Noddack).
- II. Agfa „Reproductie” emulsie bij 4360 Å (Eggert en Noddack).
- III. Lippmann emulsie bij 4360 Å (Tollert).
- IV. Agfa „Extra Rapid” emulsie met wit licht (Arens).

Tollert (3) onderzocht een Lippmann emulsie op dezelfde wijze met belichtingen van 10^{16} tot 55×10^{16} quanta/cm² bij de golflengte 4360 Å. De wijze waarop hij zijn resultaten extrapoleert naar belichting 0 is minder juist. Bij de laagste intensiteiten vindt hij een constante hoeveelheid zilver als verontreiniging, die moeilijk te vermijden is. Met deze hoeveelheid die hij ook zonder belichting

vindt, moeten alle andere verminderd worden. Op deze wijze ontstaat kromme III van fig. I.

Ook *Arens* (4) bepaalde langs chemische weg de zilverproductie. Hij belichtte met een gewone gloeilamp en kon vanaf belichtingen van 10^5 Lux. sec. (3×10^{15} quanta/cm²) het direct gevormde zilver aantonen. Kromme IV in fig. I geeft een zijner meetreeksen aan een Agfa „Extra Rapid” emulsie weer.

Het door de fotolyse gevormde Br wordt door de gelatine van de emulsie geabsorbeerd. *Feldmann* en *Stern* (5) onderzochten suspensies van AgBr in een oplossing van NaNO₂ en titreerden electricisch de bij de belichting ontstane hoeveelheid Br. Hun belichtingen variëren van 10^{15} tot 3×10^{16} quanta/cm², de golflengten van het gebruikte licht bedragen 3650 Å. Zij vinden een evenredig met de belichting toenemende hoeveelheid Br.

Uit de genoemde onderzoeken volgt dat, bij belichtingen die directe zwarting veroorzaken, vrij zilver in de emulsie ontstaat. De kleinste belichtingen, waarbij dit zilver nog is aangetoond, bedragen 10^{15} quanta/cm².

Behalve aan emulsies zijn ook onderzoeken verricht aan zuivere AgBr kristallen. *Hilseh* en *Pohl* (6) vinden in het absorptiespectrum van de door hen belichte kristallen een band, welke het gevolg is van het ontstaan van kleurcentra in het kristal. Zij onderstellen dat de directe zwarting van de fotografische plaat op dergelijke wijze het gevolg is van het ontstaan van kleurcentra in de korrels. Het lijkt ons, dat deze verklaring van de directe zwarting niet juist, of althans niet volledig is, daar er belangrijke verschillen zijn tussen het effect van de inwerking van licht op een emulsie en van die op een los kristal.

Het absorptiespectrum van de emulsie (7) bijv. heeft in het geheel niet de uitgesproken top bij 6900 Å, die *Hilseh* en *Pohl* vinden voor de kleurcentra. In het gebied van 5000—7000 Å vertoont de zwarting van de emulsie geen opvallende selectieve absorptie, hetgeen overeenstemt met wat men gewoonlijk bij fijn verdeeld zilver vindt en met het absorptiespectrum van dunne lagen Ag (7a).

Een tweede onderscheid tussen de metingen aan kristallen en aan emulsies ligt in de grootte van het effect. Denken we ons alle AgBr kristallen van een emulsie in een homogene laag met hetzelfde opper-

vlak als de emulsie en zonder gelatine, dan krijgen we een laagje van circa $2,6 \mu$ dikte. Hilsch en Pohl vinden voor de absorptiecoëfficiënt van AgBr, bestraald met $8,2 \times 10^{14}$ quanta/cm² met golflengte 4750 Å, voor licht van de golflengte 6900 Å, 0,017/mm. Hieruit volgt voor een laag van $2,6 \mu$ een absorptie van 0,004 % bij 6900 Å (maximum). In de volgende hoofdstukken blijkt uit de metingen, dat bij een belichting met 8×10^{14} quanta/cm² een zwarting van ongeveer 0,02 ontstaat, overeenkomende met een absorptietoename van 5 %. Bij de door Hilsch en Pohl voor de belichting gebruikte golflengte (4750 Å) is de gevoeligheid van de emulsie echter slechts de helft van die bij de golflengte (4500 Å), die bij onze metingen de zwarting deed ontstaan. Verder wordt door de kristallen in de emulsie volgens Eggert en Noddack (8) slechts 10 à 20 % van het opvallende licht geabsorbeerd. Neemt men deze gegevens in acht, dan blijkt toch nog bij 6900 Å de absorptietoename in losse kristallen < 2 % te zijn van die in het AgBr van emulsies.

§ 3. Het verband tussen het latente beeld en de directe zwarting.

Bij alle hierboven genoemde onderzoeken zijn de belichtingen waarvan de uitwerking is nagegaan veel sterker dan die welke het normale latente beeld veroorzaken. Volgens metingen van Schmieschek (9), Guéraud (10) en van Kreveld (11) liggen deze laatste voor gevoelige emulsies en voor golflengten van 4300 Å tot 4600 Å tussen 10^9 en 10^{11} quanta/cm². Voor ongevoelige emulsies, zoals Ilford „Process”, zijn de overeenkomstige grenzen 2×10^{10} en 2×10^{12} quanta/cm².

Webb (12) en Meidinger (13) nemen het standpunt in, dat het ontstaan van de directe zwarting (de vorming van het zilver) een begeleidingsverschijnsel is van de solarisatie*); in dit geval is dus niet te verwachten, dat de hoeveelheid zilver een maat is voor het primaire photochemische proces. De hoeveelheid zilver uitgezet als functie van de belichting zal dan pas merkbaar van 0 af gaan wijken voor belichtingen waarbij de solarisatie op gaat

*) Deze onderzoekers nemen blijkbaar aan, dat de solarisatie een reeds in het onontwikkelde beeld bemerkbaar verschijnsel is.

treden. In dit geval zullen de krommen van Eggert en Noddack bij extrapolatie naar zilverhoeveelheid 0, de *it*-as niet in O snijden, maar bij overeenkomstig grotere belichtingen.

Uit metingen van Scheffers (14) blijkt, dat bij de golflengte 4360 Å, zowel voor gevoelige als ongevoelige Agfa-platen, de solarisatie begint bij een belichting van 10^{14} quanta/cm². Het kleinste effect, dat Eggert en Noddack nog aan kunnen tonen ontstaat bij een belichting met 10^{15} quanta/cm², zodat hun metingen hier geen beslissing kunnen geven.

De meting van Tollert is gunstiger. Het kleinste effect, dat hij aan kan tonen, ligt bij 10^{10} quanta/cm², terwijl het eerste begin der solarisatie door de keuze van een speciale emulsie (Lippmann-emulsie) pas merkbaar wordt bij 2×10^{10} quanta/cm². Hij kan dus al zilver aantonen voordat van solarisatie sprake is. Dit is in strijd met het standpunt van Meidinger. Nu kan men er zich op beroepen, dat solarisatie en directe zwarting in normale gevallen reeds optreden bij 10^{14} quanta/cm², dat ook hier reeds beide processen bij die belichting aanvangen, maar dat de solarisatie vertraagd is door de heel bijzondere keuze van emulsie, terwijl dit voor de directe zwarting misschien niet het geval behoeft te zijn. Hoewel dat alles onwaarschijnlijk klinkt, zal dit argument pas afdoende ontzenuwd zijn door het aantonen van zilver beneden belichtingen van 10^{14} quanta/cm².

Arens slaagt er op enigszins andere wijze dan Tollert in om het begin der solarisatie naar grotere belichtingen te verplaatsen. Hij past fysische ontwikkeling toe na het fixeeren, waardoor de emulsie ongevoeliger wordt. Zijn resultaten stemmen geheel overeen met die van Tollert.

§ 4. Het onderwerp van dit proefschrift.

Voor het onderzoek naar de constitutie van het latente beeld en naar de positie van de directe zwarting in dit verband zou het dus van groot belang zijn, het door de lichtinwerking veroorzaakte „extra“-absorptiespectrum van de emulsie ook te kennen bij belichtingen waarbij nog niet van solarisatie sprake is, dus in het gebied waarin de fotografische plaat gewoonlijk gebruikt wordt. Een meting hiervan stuit echter op technische moeilijkheden doordat

de gezochte absorptie uiterst klein is. Het was de gedachte van Van Kreveld, enerzijds het probleem te vereenvoudigen door voorlopig als meetlicht een vrij breed spectraalgebied toe te laten (zodat met filters in plaats van met een monochromator gewerkt kon worden), anderzijds door verschillende kunstgrepen de nauwkeurigheid der absorptiemeting groter te maken, en met deze methode de toename van de absorptie tijdens de fotografisch werkzame belichting te vervolgen.

In dit proefschrift worden de realisatie van deze idee en de bij de metingen verkregen resultaten behandeld.

HOOFDSTUK II

DE MEETMETHODE

§ 1. De ontwikkeling van de methode.

Ons doel was dus, zeer kleine veranderingen van het absorptievermogen van een fotografische emulsie te meten.

Het is hierbij noodzakelijk, dat de absorpties vóór en na de fotografisch werkzame bestraling gemeten worden aan precies hetzelfde gedeelte van de plaat, omdat het verschil van de totale absorpties van de verschillende plaatdelen vaak groter is dan de gezochte extra-absorptie.

We hebben eerst gepoogd het effect te versterken door bijv. 10 emulsielagen op elkaar te leggen. Bij de fotografisch werkzame bestraling met blauw licht moesten de platen dan echter ter verkrijging van een gelijkmatige belichting naast elkaar gelegd worden, daar een plaat reeds bijna al het er op vallende blauwe licht bleek te absorberen. In de loop van een meetreeks zouden de platen dan dus vele malen van elkaar genomen en op elkaar gestapeld moeten worden, waarbij nog hoge eisen werden gesteld aan de nauwkeurigheid van de reproductie van de gebruikte plaatdelen. Dit zou lastig zijn geweest en ongewenste intermittentie van de belichting hebben doen ontstaan.

Een andere methode van versterking werd daarna geprobeerd. De emulsie werd tussen twee melkglazen gezet (zie fig. 2). Het licht waarmee de absorptieverandering gemeten werd, werd nu gedeeltelijk door de melkglazen terugverstrooid, met het gevolg, dat een deel ervan meerdere malen de emulsie passeerde. Dat deel van

het meetlicht ondervond in versterkte mate de invloed van een wijziging in de absorptie van de emulsie.

Als meetlicht was rood licht met golflengten tussen 6000 Å en 8000 Å het aangewezen, omdat de gebruikte niet-kleurgevoelige emulsies er ongevoelig voor waren en omdat het door de onbelichte emulsies zelf betrekkelijk weinig werd geabsorbeerd. De intensiteit ervan werd gemeten met een fotospanningscel. Deze heeft zijn maximum gevoeligheid in het golflengtegebied van het meetlicht.

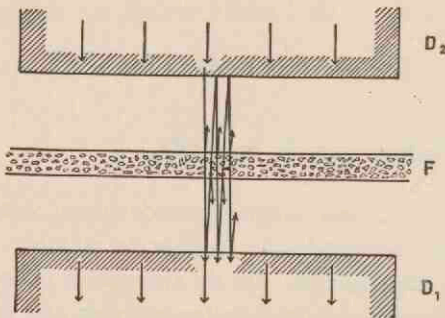


Fig. 2. Het effect van de melkglazen. Terwille van de duidelijkheid zijn alleen loodrecht doorvallende stralen getekend.

Uit eenvoudigheidsoverwegingen werd bij de eerste opname het meetlicht tegelijk gebruikt om de emulsie te zwarten. Het bleek echter, dat de emulsie voor dit licht een enorme drempelwaarde vertoonde, zodat bij de volgende opnamen de emulsie gezwart werd met blauw licht en doorgemeten met rood licht. Afwisselend moest nu de plaat worden blootgesteld aan het rode en aan het blauwe licht. Daarbij moest er voor gezorgd worden, dat de onderbrekingen niet te snel op elkaar volgden om een intermittentie-effect bij de zwarting te vermijden. Volgens de opgaven in het Handbuch der Wiss. und Angew. Photographie (Band 5) treedt een intermittentie-effect voor ontwikkelde zwarting pas op als het aantal onderbrekingen groter wordt dan 2 per minuut, terwijl dan de duur dezer onderbrekingen nog geen invloed heeft. Verder moest de tijd, gedurende welke de emulsie aan het rode licht was blootgesteld, niet te lang zijn, om zoveel mogelijk een storende invloed ervan op de

zwarting door het blauwe licht te voorkomen. Bij de definitieve uitvoering van het meetapparaat wordt de emulsie telkens 28 sec. belicht met het blauwe licht en daarna 2 sec. met het rode meetlicht; bij deze tijden is aan beide genoemde eisen voldaan.

Bij het registreren speelde de traagheid een belangrijke rol. Deze was vrij groot. Bij een totale onderbreking van het meetlicht duurde het 5 sec. voordat de galvanometer zijn nulstand bereikte. Bij kleine fluctuaties in het meetlicht was de tijd, waarin de eindstand in voldoende mate benaderd werd, uiteraard geringer. Het was daarom gewenst om tijdens de blauwe belichting van de emulsie in de rode lichtweg een verzwakker te plaatsen, die er voor zorgde, dat de stroom van de cel slechts weinig afweek van de stroom bij de absorptiemeting. Voor deze compensatie werd eerst papier gekozen; omdat dit langzaam bleek te verkleuren, werd het later vervangen door melkglas. De invloed van de traagheid werd verder verminderd doordat een lange plaat gebruikt werd, die langzaam door de meetlichtbundel werd bewogen. Tijdens een lang aanloopstuk kon de galvanometer zich op ongeveer de goede uitslag instellen, terwijl toch de snelheid van de beweging zo groot was, dat geen enkel gedeelte van de plaat te lang aan het rode licht werd blootgesteld. Bij de definitief gekozen afmetingen is de voor de instelling beschikbare tijd 4 sec.

De beweging van de plaat werd tenslotte heen en weergaand gekozen. In ieder der eindstanden was dan een compensatie-melkglas nodig. Dit had echter het voordeel, dat ze verschillend genomen konden worden, waardoor we de beschikking kregen over een constant absorptieverschil, waarmee de te meten absorptieverschillen vergeleken konden worden.

§ 2. De definitieve opstelling.

Tenslotte ontstond de opstelling van fig. 3. Het meetlicht wordt geleverd door een 6 volts lampje (temperatuur van de gloeidraad circa 2800° K), dat op een zo constant mogelijke spanning gloeit. Het gaat door een waterfilter B van 20 mm dikte, dat dient om infra-rode stralen tegen te houden, zodat plaat en cel niet aan onnodige temperatuurvariaties blootgesteld worden. Vervolgens passeert het een rood filter C, een versterkingsmelkglas D_1 , de te

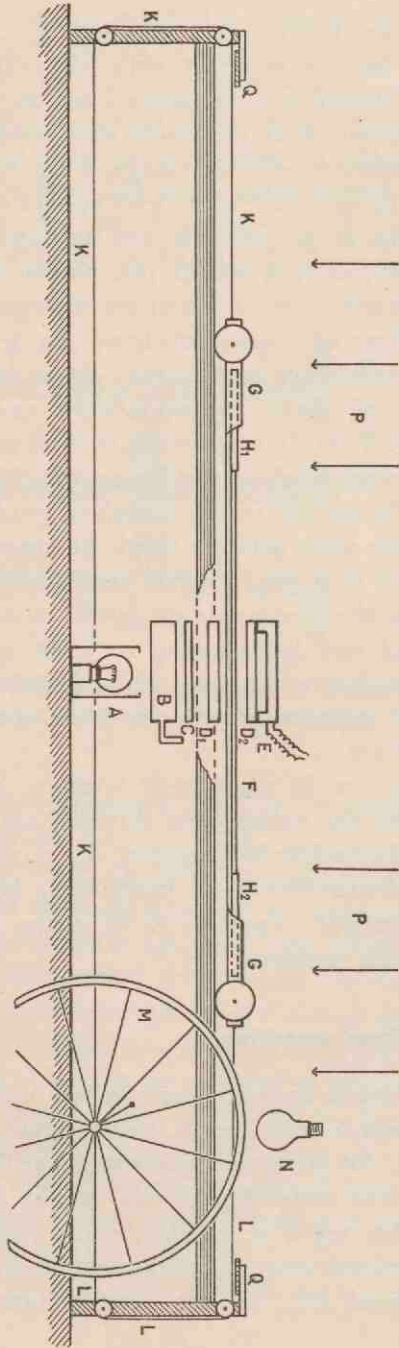


Fig. 3. Verticale doorsnede van het apparaat.

onderzoeken plaat F en het tweede versterkingsmelkglas D_2 , waarna het op de cel E valt. De spectrale samenstelling van het meetlicht is afgebeeld in fig. 4, II.

De stroom, die de cel levert, wordt gemeten met een aperiodisch gemaakte Moll-galvanometer, die een periode heeft van 1,5 sec. De uitslagen worden fotografisch geregistreerd, waarbij de afstand van galvanometer tot de registreertrommel 5 m en de papiersnelheid 7,5 cm per minuut bedraagt.

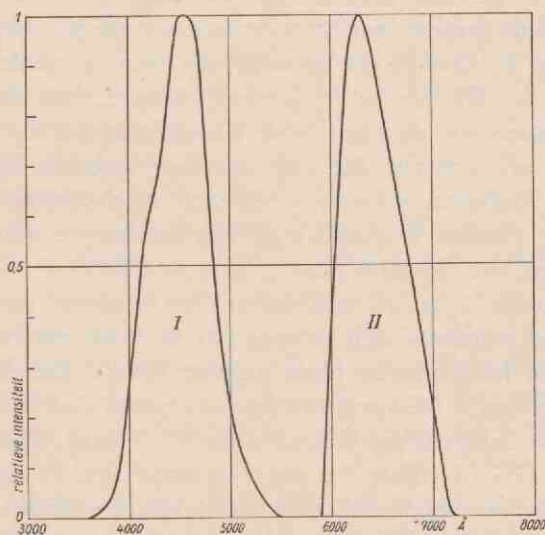


Fig. 4. Spectrale intensiteitsverdeling:

- I. van het fotografisch werkzame licht.
- II. van het meetlicht.

De fotografische plaat ter grootte van $24 \times 7,5$ cm² ligt op het wagentje G. Links en rechts ervan liggen de compensatiemelkglazen H_1 en H_2 , die zo nauw mogelijk aan de plaat aansluiten, om storing door de overgang zo veel mogelijk te voorkomen.

Het wagentje kan met de hand heen en weer bewogen worden. Hiertoe zijn ter linker en ter rechter zijde de staaldraden K en L er aan bevestigd. Als men nu het wiel M ronddraait, wordt de draad

K op- en de draad L afgewonden, zodat het wagentje zich naar links beweegt. Draait men het wiel in tegengestelde richting, dan gaat het wagentje naar rechts. De snelheid van het wagentje, die 3 cm per sec. bedraagt, wordt constant gehouden met behulp van een stroboscopische methode, waarbij als lichtbron een neonlamp, gevoed met wisselstroom van 50 per., wordt gebruikt.

In de uiterst linkse stand van het wagentje, in het vervolg stand I genoemd, bevindt zich het melkglas H_1 in de meetlichtbundel. In stand II, de uiterst rechtse, bevindt zich melkglas H_2 erin. Het bereiken van de eindstanden, en het goed aansluiten van het wagentje wordt gecontroleerd met een zoemer, die geluid geeft zodra het wagentje bij Q met een metalen nok contact maakt. In fig. 3 is de stand no. III van het wagentje getekend. Dan bevindt zich juist het midden van de plaat in de meetlichtbundel. In deze stand wordt door een contact, dat zich aan het wagentje bevindt, een stroomkring gesloten, waardoor een zich in die kring bevindend lampje gaat gloeien. Het oplichten van dit lampje wordt tegelijk met de uitslag van de galvanometer geregistreerd.

Op ongeveer 1 m afstand boven het midden van de rails, waarover het wagentje zich beweegt, is de lichtbron aangebracht, waarmede de fotografische plaat gezwart wordt. Deze bestaat uit een 12 voltslampje (temperatuur van de gloeidraad ca. 2600° K) waarvoor de Schottfilters BG 12 (dikte 1,7 mm), BG 17 (dikte 3,2 mm) en GG 13 (dikte 3,6 mm) geplaatst zijn. In fig. 3 is deze lichtbron niet getekend; wel is het op de plaat vallende licht door de pijlen P aangeduid. De spectrale verdeling van het blauwe licht is te zien in fig. 4, I. De intensiteit ervan werd bepaald met een absoluut geijkte thermoziuil.

Het meetlicht is zorgvuldig afgeschermd en het gehele apparaat is omgeven door een lichtdicht omhulsel, waarbuiten het wiel M met de stroboscoop uitsteekt, zodat iedere ongewenste sluiering van de plaat wordt voorkomen.

§ 3. Het opnemen en uitwerken van een meetreeks.

Het opnemen van een zwartingskromme verloopt als volgt.

De te onderzoeken fotografische plaat wordt op het wagentje gelegd en de twee stukken melkglas H_1 en H_2 worden zo gekozen,

dat met H_1 in de meetlichtbundel 2 à 3 % minder en met H_2 ongeveer evenveel licht op de cel valt als met de fotografische plaat. Om deze keuze snel en gemakkelijk te kunnen doen, zijn een grote reeks melkglazen met geleidelijk toenemende doorlating uitgezocht. Vervolgens wordt het wagentje in stand I gezet, het meetlicht ingeschakeld en de galvanometer verbonden met de cel. Zo laten we het apparaat gedurende een uur staan, totdat thermisch en electrisch evenwicht bereikt is; de constantheid van de galvanometeruitslag blijkt hierdoor zeer bevorderd te worden.

Na het inbranden begint de opname. Terwijl het wagentje in stand I staat, wordt de registreertrommel in beweging gezet. Gedurende 15 sec. wordt de constante uitslag geregistreerd. Vervolgens wordt op een nauwkeurig bekend tijdstip T het wiel M in beweging gebracht en het wagentje van stand I naar stand II gereden. De fotografische plaat passeert nu het meetlicht; aan het eind van de beweging bevindt zich het melkglas H_2 daarin. Nog enige tijd blijft het wagentje in stand II staan. Precies 30 sec. na T vangt de teruggaande beweging van het wagentje naar stand I aan. Weer 30 sec. later wordt het wagentje opnieuw naar stand II gereden, enz. Na 4 heen en weer gangen wordt het blauwe licht tot de plaat toegelaten. Dit moment wordt op het registrogram vastgelegd door een apart tijdsignaal. Tijdens de thans volgende belichting wordt de plaat op de beschreven regelmatige wijze heen en weer bewogen.

Bij een intensiteit van 10^{11} — 10^{12} quanta/cm² sec. wordt in 10 à 15 min. een voor ons doel voldoende effect bereikt. Bij kleinere intensiteit van de orde van 10^{10} quanta/cm² sec. hebben we ongeveer 2 uur belicht. In dat geval verloopt de meting een beetje anders: het wagentje wordt dan telkens na 5 min. op de besproken manier twee keer heen en terug bewogen.

De gekozen cel is een „Weston Photronic cel”. Bij een voorafgaand onderzoek bleek deze cel, behalve een voldoende constantheid, de gunstige eigenschap te hebben, dat in het te gebruiken intensiteitsgebied van het meetlicht, de stroomsterkte lineair afhangt van de op de cel vallende intensiteit. In het fotogram worden hierdoor de veranderingen van de galvanometeruitslag evenredig met de corresponderende intensiteitsverschillen van het meetlicht.

In fig. 5 is een deel van een fotogram afgebeeld. De stukken I

en II van de curve zijn geregistreerd in stand I resp. stand II van het wagentje; de tussengelegen stukken zijn geregistreerd tijdens de beweging van de plaat; $t_1, t_2, t_3, \text{ enz.}$ zijn de tijdsignalen die stand III van het wagentje aangeven.

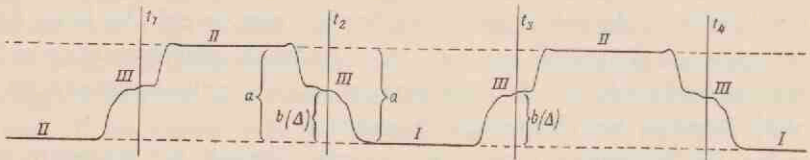


Fig. 5. Deel van een fotogram.

We noemen nu i_I en i_{II} de intensiteiten van het licht, dat op de cel valt als het wagentje zich in stand I resp. II bevindt. Hun verhouding $i_{II}/i_I = \alpha$ is alleen afhankelijk van de keuze der melkglazen; α is tijdens een opnamenserie constant. Verder is $I(\Delta)$ de intensiteit van het licht, dat op de cel valt in stand III van het wagentje. Deze intensiteit is een functie van Δ , de gevormde hoeveelheid absorberende stof. In het fotogram is a het verschil van de uitslagen veroorzaakt door de intensiteiten i_{II} en i_I ; $b(\Delta)$ is het verschil van de uitslagen veroorzaakt door de intensiteiten $I(\Delta)$ en i_I . Tengevolge van de evenredigheid van meetlicht en galvanometeruitslag bestaat de relatie:

$$I(\Delta) = i_I + \frac{b(\Delta)}{a} (i_{II} - i_I) \quad (1)$$

De met het apparaat gemeten schijnbare zwarting wordt nu:

$$D_a = \log \frac{I(0)}{I(\Delta)} = \log \frac{1 + \frac{b(0)}{a} (\alpha - 1)}{1 + \frac{b(\Delta)}{a} (\alpha - 1)} \quad (2)$$

Uit deze formule blijkt, dat D_a alleen afhangt van de verhoudingen $b(0)/a$ en $b(\Delta)/a$ en niet van de uitslagen zelf. Tengevolge hiervan is de berekening van D_a onafhankelijk van:

1e. veranderingen in de uitslag, die veroorzaakt kunnen worden

door verandering van gevoeligheid van de cel of door fluctuaties in de intensiteit van het meetlicht.

2e. storingen in het nulpunt van de galvanometer, die bijv. veroorzaakt kunnen worden door optredende thermo-electrische stromen of door hysteresis van de galvanometer. Deze ongevoeligheid voor de genoemde storingen bevordert de nauwkeurigheid der metingen.

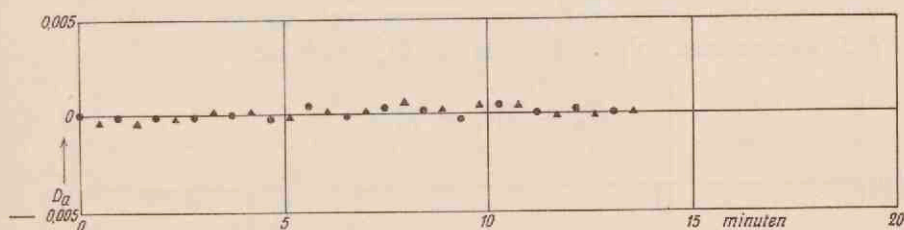


Fig. 6. Het verloop van D_a zonder fotografisch werkzame belichting.

Voordat we een fotogram kunnen gaan uitwerken moet de constante verhouding α bepaald worden. Hiertoe werd aan het eind der meting de registreertrommel op 1 m afstand geplaatst, zodat tegelijk de uitslagen I en II en de nulstand geregistreerd konden worden. Bij latere metingen is α op enigszins andere wijze bepaald. Daarbij is na afloop de uitslag A (ca. 50 cm), veroorzaakt door de intensiteit i_t , gemeten bij de grote trommelafstand. Dan is $\alpha = \frac{A+a}{a}$

Men moet er hierbij op bedacht zijn, dat a en A gelijktijdig moeten bepaald worden. Tijdens de meting verloopt de gevoeligheid van het apparaat enigszins (2 % in 10 min.) waardoor de waarde van a ook verandert. Men moet nu de uit de fotogrammen gemeten a -waarden extrapoleren tot het tijdstip waarop A gemeten wordt.

Bij de nu volgende uitmeting van het fotogram en bij de berekening van D_a kan met voordeel gebruik gemaakt worden van het apparaat van Wouda (15). Nadat men het registreerpapier op de trommel van dit apparaat gespannen heeft, stelt men de wijzer in op het stuk I der curve en maakt dan de brug stroomloos. Vervolgens stelt men de wijzer in op het stuk II en regelt de stroom

door de brug zo, dat de index (lichtlijn) het bedrag $\alpha-1$ aanwijst. Plaatst men nu de wijzer op het snijpunt III, dan wijst de lichtlijn het bedrag $\frac{b(D)}{a} (\alpha-1)$ aan. Men kan nu een grafiek van de functie

$$f(D) = \log \left\{ 1 + \frac{b(D)}{a} (\alpha-1) \right\} \quad (3)$$

zo plaatsen, dat de f -as evenwijdig met de lichtlijn is. De hoogte van het snijpunt van lichtlijn en kromme geeft dan de waarde van $f(D)$ waarna men volgens formule (2) D_a vindt uit:

$$D_a = f(0) - f(D) \quad (4)$$

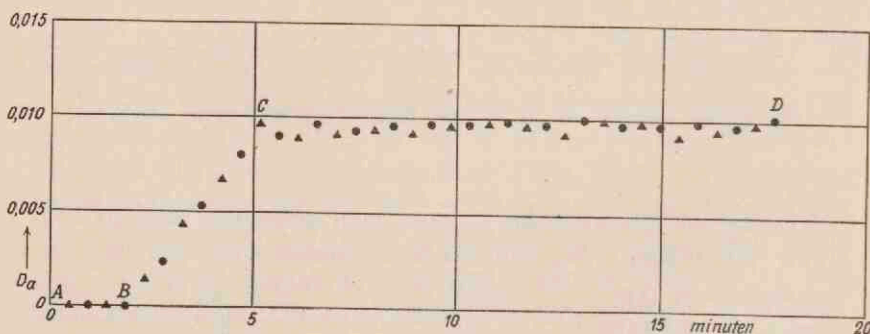


Fig. 7. Het verloop van D_a :

- van A tot B zonder fotografisch werkzame belichting.
- van B tot C met " " "
- van C tot D zonder " " "

Alvorens tot het meten van de eigenlijke zwartingskrommen werd overgegaan, werd onderzocht of het meetlicht enige werking op de emulsie uitoefende. Daarbij zijn drie mogelijkheden. De eerste is, dat het meetlicht direct de plaat merkbaar zwart; de tweede is, dat het meetlicht zelf niet direct zwarting veroorzaakt, maar wel nadat zich ten gevolge van het blauwe licht reeds zilver in de emulsie heeft gevormd (Becquerel-effect) (16); de derde tenslotte is, dat de door het blauwe licht veroorzaakte zwarting vermindert tengevolge van het inwerken van het rode meetlicht (Herschell-effect) (17).

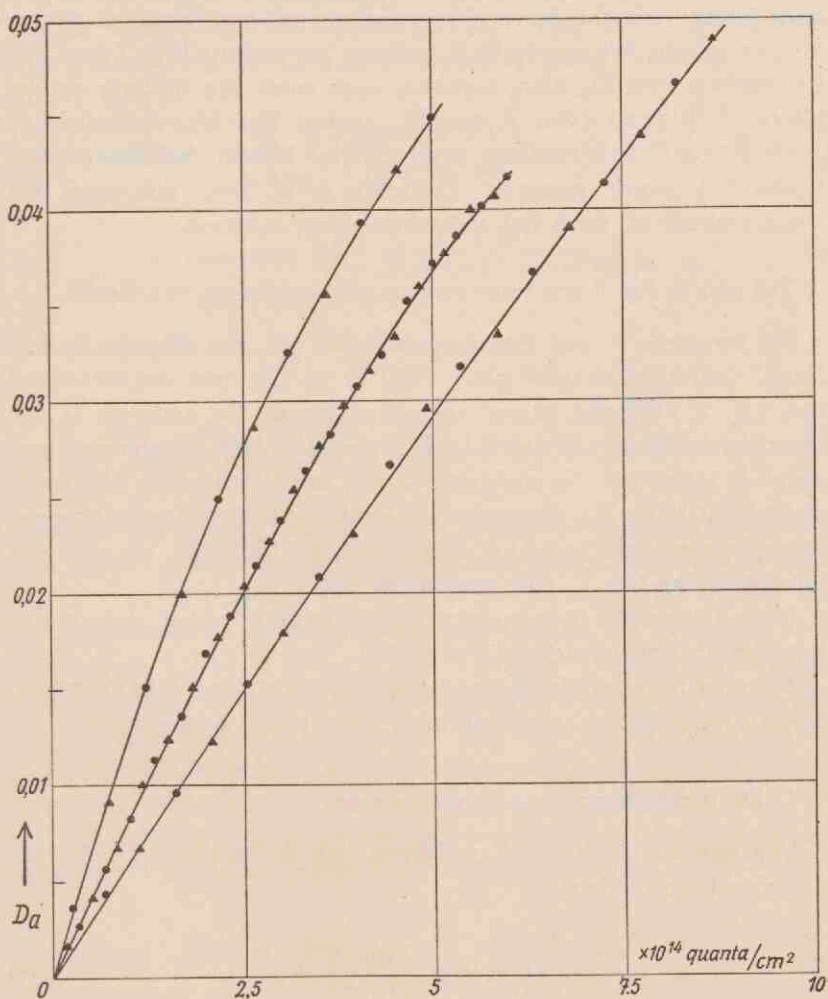


Fig. 8. Directe zwartingskrommen.

Bovenste kromme: Ilford „Special Rapid (extra sensitive)” emulsie, intensiteit $1,7 \times 10^{12}$ quanta/cm² sec.

Middelste kromme: Ilford „Special Rapid” emulsie, intensiteit $0,6 \times 10^{12}$ quanta/cm² sec.

Onderste kromme: Ilford „Process” emulsie, intensiteit $1,7 \times 10^{12}$ quanta/cm² sec.

Fig. 6 toont ons het verloop van D_a wanneer gedurende de meting geen blauw licht tot de emulsie wordt toegelaten. Van een directe inwerking van het meetlicht is niets te bespeuren. Fig. 7 laat ons het verloop van D_a zien, wanneer deze eerst een tijdlang zonder blauwe belichting (van A tot B), daarna met blauwe belichting (van B tot C) en tenslotte weer zonder blauwe belichting (van C tot D) wordt gemeten. Duidelijk is te zien, dat noch het Becquerel-effect, noch het Herschell-effect optreedt.

Tot slot in fig. 8 een paar zwartingskrommen als voorbeeld.

De bovenste is een zwartingskromme van een Ilford „Special Rapid (extra sensitive)” plaat (400 H en D), met een intensiteit van $1,7 \times 10^{12}$ quanta/cm² sec. opgenomen. De onderste is een zwartingskromme van een Ilford „Process” plaat, opgenomen met dezelfde intensiteit. De middelste is van een Ilford „Special Rapid” plaat (270 H en D), opgenomen met blauw licht van enigszins gewijzigde samenstelling (het filter GG 13 ontbrak) en met een intensiteit van $0,6 \times 10^{12}$ quanta/cm² sec.

In de figuur zijn twee soorten punten onderscheiden; deze zullen later besproken worden (zie pag. 38).

Voor we thans verder gaan met de bespreking van deze krommen, moeten we de gemeten grootheid D_a wat nader beschouwen.

§ 4. De versterking door de melkglazen.

Wij moeten D_a wel onderscheiden van de zwarting D , die gedefinieerd wordt door

$$D = \log \frac{T(0)}{T(A)} \quad (5)$$

waarin $T(A)$ de intensiteit van het door de plaat doorgelaten licht als fractie van het op de plaat vallende licht voorstelt als functie van de gevormde hoeveelheid absorberende stof. Het verschil ontstaat door de werking van de melkglazen D_1 en D_2 . Reeds in het begin (zie pag. 15) werd de werking der melkglazen uiteengezet. Nu zullen wij hun invloed gaan berekenen. We zullen ons hier slechts bezighouden met het geval, dat de opvallende straling diffuus is.

Noemen we de coëfficiënt van reflectie (met terugverstrooiing) van de melkglazen r en die van de plaat $R(\Delta)$ (beide voor diffuus licht), dan wordt de intensiteit van het op de cel vallende licht:

$$I(\Delta) = \text{constante} \times \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{m=0}^{\infty} \left(\frac{(2n+m+1)!}{(m+1)! m!} \times \{rR(\Delta)\}^m \times \{rT(\Delta)\}^n \right) \\ = \text{constante} \times \frac{T(\Delta)}{\{1-rR(\Delta)\}^2 - \{rT(\Delta)\}^2} \quad (6)$$

Uit de definitie van D_a volgt nu

$$D_a = \log \frac{T(0) [\{1-rR(\Delta)\}^2 - \{rT(\Delta)\}^2]}{T(\Delta) [\{1-rR(0)\}^2 - \{rT(0)\}^2]} \quad (7)$$

Bij de berekening van $R(\Delta)$ en $T(\Delta)$ moeten we er rekening mee houden, dat de niet gefixeerde emulsie een verstrooiend medium is, waarvan bij de belichting de absorptie toeneemt. De theorie van de lichtdoorgang door verstrooiende media is uitgewerkt door Dreosti (18) en Ryde en Cooper (19). In de formules van Dreosti is geen rekening gehouden met de reflecties, die aan de grenslaag van het medium optreden, als de verstrooiende deeltjes zich niet in lucht bevinden. Hiervoor gecorrigeerde formules zijn door Minnaert op de volgende wijze afgeleid.

Dreosti stelt twee differentiaalvergelijkingen op voor de heen- gaande (i) en de terugverstrooide lichtstroom (j):

$$\begin{aligned} di &= (cn\beta\sigma + c\kappa) i dx - cn\beta\sigma j dx \\ dj &= cn\beta\sigma i dx - (c\kappa + cn\beta\sigma) j dx \end{aligned} \quad (8)$$

Hierin zijn $cn\beta\sigma$ en $c\kappa$ de verstrooiings- resp. de absorptie-coëfficiënt voor diffuus licht. Voor uitvoerige bespreking hiervan wordt verwezen naar het proefschrift van Dreosti. De randvoorwaarden in geval van reflectie aan de grenslagen zijn nu:

$$\begin{aligned} \text{Voor } x=0 & \quad j = iq_2 \\ \text{Voor } x=X & \quad i = jq_1 + L \end{aligned} \quad (9)$$

waarin L is het deel van het opvallende licht L_0 dat in de emulsie binnendringt, q_1 is de reflectiecoëfficiënt voor diffuus licht gaande van emulsie naar lucht bij de 1e grenslaag (zie fig. 9) en q_2 is dezelfde reflectiecoëfficiënt voor het 2e grensvlak.

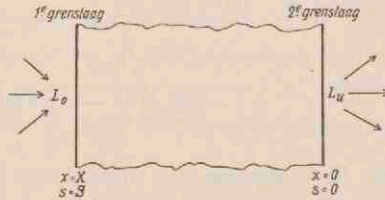


Fig. 9.

Stelt men $\frac{\alpha}{n\beta\sigma} = \nu$ en $cn\beta\sigma x = s$, dan gaan de vergelijkingen over in:

$$\begin{aligned} di &= (1 + \nu)ids - jds \\ dj &= ids - (1 + \nu)jds \end{aligned} \quad (10)$$

De oplossing hiervan luidt:

$$i(s) = \frac{(b-q_2)e^{ms} - (a-q_2)e^{-ms}}{(b-q_2)(1-aq_1)e^{mS} - (a-q_2)(1-bq_1)e^{-mS}} L \quad (11)$$

$$j(s) = \frac{(1-aq_2)e^{ms} - (1-bq_2)e^{-ms}}{(b-q_2)(1-aq_1)e^{mS} - (a-q_2)(1-bq_1)e^{-mS}} L$$

waarin:

$$\begin{aligned} m &= \sqrt{\nu(\nu + 2)} \\ a &= 1 + \nu - \sqrt{\nu(\nu + 2)} \\ b &= 1 + \nu + \sqrt{\nu(\nu + 2)} \\ S &= cn\beta\sigma X \end{aligned}$$

Nu is de op de emulsie vallende hoeveelheid licht

$$L_o = \frac{L}{1-p}$$

waarin p de coëfficiënt van reflectie (zonder terugverstrooiing) van de emulsie is voor diffuus licht, gaande van lucht naar de emulsie. Verder is de hoeveelheid uit de emulsie tredend licht

$$L_u = (1-q_2) i(0)$$

en de door de emulsie terugverstrooide hoeveelheid

$$L_t = (1-q_1) j(S) + p L_o$$

Hieruit volgt:

$$T = \frac{L_u}{L_o} = \frac{(1-p)(1-q_2)(b-a)}{(b-q_2)(1-aq_1)e^{mS} - (a-q_2)(1-bq_1)e^{-mS}} \quad (12)$$

$$R = \frac{L_t}{L_o} = \frac{(1-p)(1-q_1) \{ (1-aq_2)e^{mS} - (1-bq_2)e^{-mS} \}}{(b-q_2)(1-aq_1)e^{mS} - (a-q_2)(1-bq_1)e^{-mS}} + p$$

Voor een gebruikte emulsie bedroeg $T = 0,35$ en $R = 0,5$. Met behulp van de opgaven van Ryde en Cooper vindt men $p = 0,07$ en $q_2 = q_1 = 0,47$.

De waarden voor ν en S zijn uit deze gegevens te berekenen. We vinden:

$$S = c n \beta \sigma X = 1,75 \text{ en } \nu = \frac{\kappa}{n \beta \sigma} = 0,0288$$

Wanneer nu in de emulsie door de photolyse een absorberende stof ontstaat, zal hierdoor de verstrooiing weinig beïnvloed worden, terwijl de absorptie aanvankelijk lineair zal toenemen met Δ . We kunnen dus aannemen, dat de verstrooiingscoëfficiënt $c n \beta \sigma$ constant is en dat de absorptiecoëfficiënt

$$c \kappa(\Delta) = c \kappa(0) + d \Delta$$

$$\text{Nu wordt } \nu(\Delta) = \frac{c \kappa(\Delta)}{c n \beta \sigma} = \frac{c \kappa(0) + d \Delta}{c n \beta \sigma} = \nu(0) + e \Delta \quad (13)$$

waarin d en e evenredigheidsconstanten zijn*).

We zullen in het volgende Δ als zo gedefinieerd beschouwen, dat $e = 1$ wordt. Substitutie van $\nu(\Delta)$ (in m , a en b) in de vergelijkingen (12) geeft ons direct $T(\Delta)$ en $R(\Delta)$ waarna met (5) en (7) $D(\Delta)$ en $D_a(\Delta)$ zijn te berekenen. In de onderzochte emulsies was steeds $\Delta \ll \nu$. De toename van de absorptie tijdens een meting bedroeg maximaal 1,5%. Daarom kunnen we de berekening van $T(\Delta)$, $R(\Delta)$, $D(\Delta)$ en $D_a(\Delta)$ afbreken met de 2e benadering. We vinden dan in ons voorbeeld:

$$D = \Delta - 2,28 \Delta^2 \quad (14)$$

$$D_a = 2,65 D - 4,5 D^2 \quad (15)$$

waaruit na eliminatie van D voor het verband tussen D_a en Δ volgt:

$$\Delta = 0,38 D_a + 0,58 D_a^2 \quad (16)$$

Uit formule (15) blijkt, dat het gebruik van de melkglazen D_1 en D_2 een 2,65 voudige versterking van het effect tot gevolg heeft. Verder zien we dat, zowel tengevolge van de verstrooiing in de plaat als tengevolge van de versterking, D_a reeds bij kleine intensiteiten van de oorspronkelijke rechte gaat afbuigen. Voor een paar gevallen werd de correctie berekend. Fig. 10, I toont een zwartingskromme van een „Special Rapid” plaat, die opgenomen werd met een intensiteit van $0,6 \times 10^{12}$ quanta/cm². Met formule (16) werd de correctie berekend voor verstrooiing en versterking, waarna de berekende Δ op een $2,65 \times$ zo grote schaal werd uitgezet als D_a . De zo verkregen gestippelde kromme heeft hierdoor dezelfde helling in O als de oorspronkelijke, waardoor het verloop

*) Om het probleem te vereenvoudigen is aangenomen, dat Δ op alle diepten in de laag even groot is. Wil men het verloop van Δ over de laagdikte in rekening brengen, dan moet men eerst de verdeling van de intensiteit van het blauwe licht ($= i_{bl} + j_{bl}$) in de laag berekenen, Δ hieraan evenredig stellen, en daarna de met form. (13) gevonden $\nu(s)$ in form. (10) substitueren.

der correctie duidelijker zichtbaar wordt. Tevens werd van deze opname gebruik gemaakt om de versterkingsfactor praktisch te bepalen. Daartoe werd op dezelfde plaatsoort, onder dezelfde omstandigheden een zwartingskromme opgenomen, nu echter zonder dat de melkglazen D_1 en D_2 aanwezig waren. In fig. 10, II is het resultaat van deze meting weergegeven. (De kromme werd gecorrigeerd met behulp van formule (14); de gecorrigeerde kromme is in de figuur met ----- aangegeven).

Vergelijking van de hellingen in O van de krommen voor D_a (fig. 10, I) en voor D (fig. 10, II) levert ons direct de versterkingsfactor tengevolge van de melkglazen. Deze blijkt 2,8 te bedragen, in goede overeenstemming met de berekende waarde 2,65.

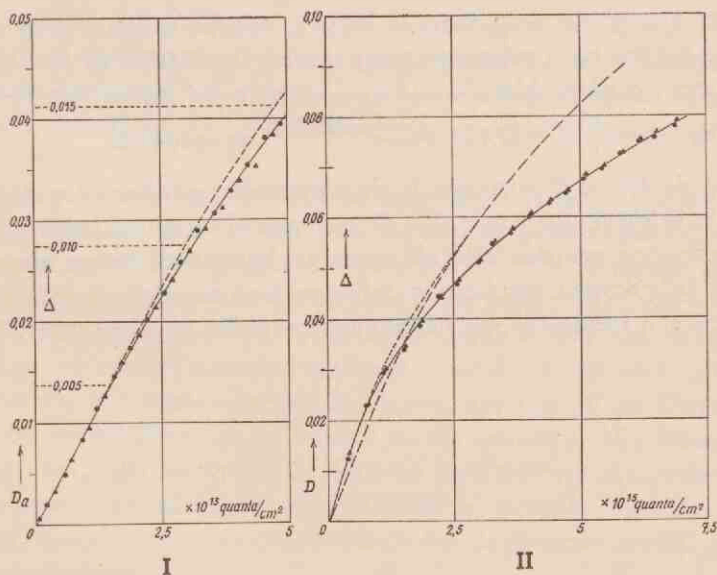


Fig. 10. Directe zwartingskrommen. Ilford „Special Rapid” emulsie, intensiteit $0,6 \times 10^{12} \text{ quanta/cm}^2 \text{ sec}$.

- I {
 ————— opgenomen met versterkingsmelkglazen.
 ----- gecorrigeerd voor versterking en verstrooiing in de plaat.
 II {
 ————— opgenomen zonder versterkingsmelkglazen.
 ----- gecorrigeerd voor verstrooiing in de plaat.
 ———— het verloop van de functie $\Delta = 0,125 (1 - e^{-0,0077 t})$

De (voor de verstrooiing in de plaat gecorrigeerde) kromme in fig. 10, II is vrij goed voor te stellen door de formule:

$$\Delta = B(1 - e^{-At}) \quad (17)$$

waarin A de snelheid van de photolyse en B de maximaal bereikbare zwarting voorstelt. Onderstellen we dat de per tijdseenheid gevormde hoeveelheid zilver evenredig is met de nog voor photolyse beschikbare, dan vinden we

$$\frac{d\Delta}{dt} = A(B - \Delta)$$

waaruit na integratie formule (17) volgt.

Om een goede aanpassing te krijgen, waarbij speciaal gelet werd op de punten met grotere zwarting, moest $A = 0,0077$ en $B = 0,125$ gekozen worden. Met ———— is in de figuur het verloop van de functie $\Delta = 0,125 (1 - e^{-0,0077t})$ aangegeven.

Bij de kleine zwartingen is de aanpassing minder bevredigend; de afwijkingen zijn groter dan de meetnauwkeurigheid toestaat. Uit de gevonden waarden blijkt de maximaal bereikbare directe zwarting 0,125 te bedragen, een bedrag dat nogal laag te achten is en waarbij slechts een klein deel van het aanwezige AgBr is omgezet in Ag.

HOOFDSTUK III

DE GEMETEN ZWARTINGSKROMMEN

§ 1. De absorberende stof.

Met de in hoofdstuk II beschreven apparatuur hebben we nu voor diverse emulsies onder diverse omstandigheden de absorptietoename als functie van de belichtingstijd gemeten. De zo gevonden krommen hebben in het algemeen bij kleine zwartingen een lineair gedeelte, terwijl zij bij grotere zwartingen langzamerhand minder steil worden.

In het gebied der grotere directe zwartingen is langs chemische weg het ontstaan van vrij zilver in de emulsie aangetoond bij belichtingen vanaf 10^{15} quanta/cm² (zie fig. 1). Het bovenste deel van de kromme in fig. 10, II ligt binnen dit gebied. Het algemene uiterlijk der krommen maakt het waarschijnlijk, dat het proces, waardoor de directe zwarting ontstaat, voor kleine en voor grote belichtingen in wezen hetzelfde is, m.a.w., dat ook bij de kleinere belichtingen vrij zilver in de emulsie wordt gevormd. We kunnen ons de vraag stellen, welke de kleinste belichtingen zijn, waarbij het ontstaan van zilver nu waarschijnlijk is gemaakt. Om dit na te gaan, moeten we de nauwkeurigheid van de gemeten zwartingskrommen bepalen.

§ 2. De nauwkeurigheid van de zwartingsmetingen.

Wat de nauwkeurigheid van de direct gemeten grootheden betreft, is het volgende op te merken. De geregistreerde curve is een fijn golflijntje met een amplitude van ongeveer 0,15 mm., vermoedelijk doordat trillingen in het gebouw meegeregistreerd werden. De onnauwkeurigheid van b wordt voornamelijk door deze storing

veroorzaakt. Bij de meting van a kan over een grotere lengte van het golflijntje gemiddeld worden; de onzekerheid van a wordt bepaald door het langzame verloop van de gevoeligheid van de opstelling (dus van a) en door de afleesfouten; zij bedraagt niet meer dan 0,1 mm. De in $\alpha-1$ te verwachten fout tenslotte blijkt circa 1 % te zijn.

Vervolgens kunnen we nagaan welke fout we in D_a moeten verwachten. D_a wordt met formule (2) berekend uit de gemeten grootheden b , a en α . Noemen we de gemiddelde fouten in die grootheden resp. f_1 , f_2 en f_3 , dan is de gemiddelde fout in D_a :

$$f = 0,43 \times \sqrt{2} \times \frac{\alpha-1}{a} \times \sqrt{f_1^2 + \left(\frac{b(0)f_2}{a}\right)^2 + \left(\frac{b(0)f_3}{\alpha-1}\right)^2} \quad (18)$$

waarbij gemajoreerd is door b door $b(0)$ te vervangen. (Bovendien is voor de fout in $b(0)$ die in de enkele meting genomen, terwijl in werkelijkheid voor $b(0)/a$ het gemiddelde uit vier achtereenvolgende waarnemingen gebruikt wordt).

Nu moeten we hier onderscheid maken tussen de invloed van een fout in $\alpha-1$ en die van de overige fouten. Nadat $\alpha-1$ eenmaal gemeten is, wordt deze grootheid bij de verdere berekening van de zwartingskromme als een constante beschouwd. Zodoende veroorzaakt een fout in $\alpha-1$ een systematische afwijking van D_a , terwijl de spreiding der punten om de zwartingskromme er niet door beïnvloed wordt. Voor de berekening van de gemiddelde afwijking van de punten van de zwartingskromme mogen we formule (18) dus vereenvoudigen tot:

$$f' = 0,43 \times \sqrt{2} \times \frac{\alpha-1}{a} \times \sqrt{f_1^2 + \left(\frac{b(0)f_2}{a}\right)^2} \quad (19)$$

Vullen we in deze formule in $f_1 = 0,15$ mm, $f_2 = 0,1$ mm, $a = 10$ mm = $b(0)$ en $\alpha-1 = 0,025$, hetgeen bij de meeste metingen de voorkomende waarden zijn, dan vinden we $f' = 0,0003$. Voor de verschillende zwartingskrommen hebben we f' empirisch

bepaald; deze waarden zijn in de onderstaande tabel verenigd en blijken wat de orde van grootte betreft in overeenstemming te zijn met de hierboven gemaakte schatting.

TABEL I.

No. v. d. meetreeks	EMULSIE	Gemiddelde fout in D_a	Gemiddelde fout in D_a , ongerekend in quanta/cm ²	Toename van D_a per 10 ¹⁷ quanta/cm ²	De verlengde rechten snijden de t as bij de belichting (in quanta/cm ²):
16	Iford „Special Rapid”	0,00020	—	—	—
18	„ „ „	0,00018	$2,3 \times 10^{12}$	8,4	—
20	„ „ „	0,00019	—	—	—
22	„ „ „	0,00017	$1,9 \times 10^{12}$	9,3	—
23	„ „ „	0,00010	$1,0 \times 10^{12}$	9,5	—
25	Iford „Process”	0,00011	$1,9 \times 10^{12}$	6,0	—
28	„ „ „	0,00017	$2,9 \times 10^{12}$	5,9	—
32	Iford „Special Rapid (extra sens.)”	0,00025	$2,0 \times 10^{12}$	12,3	—
33	„ „ „	0,00017	$1,3 \times 10^{12}$	12,4	—
34	„ „ „	0,00020	$2,1 \times 10^{12}$	9,4	$-0,8 \times 10^{12}$
35	„ „ „	0,00016	$1,7 \times 10^{12}$	9,7	$-0,5 \times 10^{12}$
39	Iford „X-Ray” (film)	0,00009	$0,7 \times 10^{12}$	12,9	$-0,1 \times 10^{12}$
40	„ „ „	0,00016	$1,3 \times 10^{12}$	12,1	$-1,2 \times 10^{12}$
41	„ „ „	0,00013	$1,0 \times 10^{12}$	13,5	$-1,2 \times 10^{12}$
42	„ „ „	0,00018	$1,4 \times 10^{12}$	12,5	$-0,5 \times 10^{12}$

Een toename van D_a met f is de kleinste die we kunnen waarnemen met één meting. Dit correspondeert bij de verschillende zwartingskrommen met verschillende belichtingstoename. Deze zijn in de vierde kolom vermeld. Hieruit zien we, dat het minimum effect, dat gemeten wordt met één meting, ligt bij belichtingen van 1 tot 2×10^{12} quanta/cm², dat is bij belichtingen, die veel geringer zijn dan die, waarbij men voorheen directe zwartingen kon constateren.

Om de grootte van de totale fout in D_a te kunnen berekenen, nemen we de onzekerheid in $\alpha-1$ in aanmerking en vinden $f = 0,0007$ voor de grootste zwartingen, afnemend tot $f = 0,0003$ voor de zeer kleine.

§ 3. Het verloop van de zwartingskrommen bij kleine belichtingen.

Een belangrijk probleem is het verloop der krommen in de buurt van de oorsprong. Als de directe zwarting bij kleine belichtingen een superproportionale toename vertoont, evenals de ontwikkelde zwarting, moet men verwachten, dat het verlengde rechte stuk de *it*-as snijdt even rechts van O. De belichtingen, waarbij dit verschijnsel op kan treden, zijn echter van de orde van 10^9 quanta/cm², zodat het met de beschreven opstelling niet te meten is. Toch is de grootte van de afwijking van O voor ons van belang, omdat daaruit volgt, tot hoever in het normaal bij ontwikkeling gebruikte gebied het ontstaan van zilver waarschijnlijk gemaakt is. De krommen die met grote intensiteit werden opgenomen, zijn minder geschikt om uitsluitsel hieromtrent te krijgen, omdat ze reeds spoedig van de rechte lijn afbuigen en extrapolatie naar D_a onnauwkeurig wordt. Een aantal krommen werd met een 10 tot 100 maal kleinere intensiteit opgenomen, zodat alle meetpunten in het rechte deel komen te liggen. In dit gebied krijgen we nu een groot aantal punten, zodat de extrapolatie met grotere nauwkeurigheid kan gebeuren.

In fig. 11 zijn vier van deze krommen afgebeeld. De bepaling van het snijpunt met de *it*-as gebeurde grafisch. De punten werden op een grote schaal uitgezet, zodat de spreiding goed zichtbaar was. Daarna werd op het oog de beste rechte door deze punten getrokken. Deze lijn werd ook in een paar gevallen met behulp van de methode der kleinste kwadraten berekend. Steeds bleek, dat de berekende rechte nauwkeurig overeenstemde met de getekende (behoudens rekenfouten!). De grafische methode is dus te verkiezen wegens de grotere snelheid en de voldoende zekerheid waarmede de resultaten worden bereikt. In kolom 6 van tabel no. I op bladzijde 35 zijn de resultaten vermeld. Het blijkt, dat de afwijking in het gaan van de rechte door de oorsprong steeds kleiner is dan de gemiddelde fout in één meetpunt. Merkwaardig is, dat alle afwijkingen negatief zijn. Dit kan niet het gevolg zijn van fouten in de bepaling van de aanvang van de belichting, omdat deze dan 5 tot 50 sec. groot zouden moeten zijn geweest. Betekent het dan misschien, dat de zwartingskrommen niet tot aan hun begin recht zijn? Alleen nauwkeuriger metingen kunnen hier de oplossing geven.

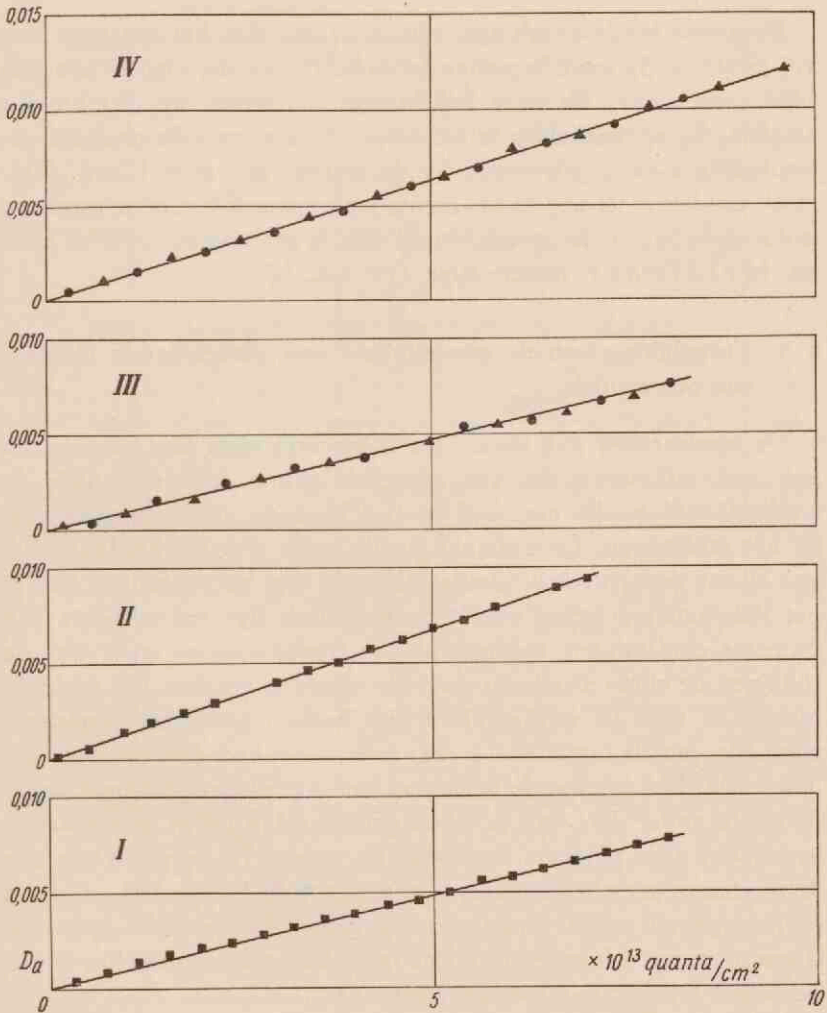


Fig. 11. Directe zwartingskrommen.

- I: Ilford „Special Rapid (extra sensitive)” emulsie, intensiteit $1,4 \times 10^{10}$ quanta/cm² sec.
 II: Ilford „X-Ray” emulsie (film), intensiteit $1,4 \times 10^{10}$ quanta/cm² sec.
 III: Ilford „Special Rapid (extra sensitive)” emulsie, intensiteit $1,6 \times 10^{11}$ quanta/cm² sec.
 IV: Ilford „X-Ray” emulsie (film), intensiteit $1,6 \times 10^{11}$ quanta/cm² sec.

(De punten van I en II vertegenwoordigen ieder het gemiddelde van vier waarnemingen).

Bovengenoemde resultaten wijzen er op, dat het ontstaan van vrij zilver reeds moet beginnen bij belichtingen die kleiner zijn dan 10^{12} quanta/cm². Bij deze belichtingen bevinden we ons bij alle emulsies bij ontwikkeling in het bovenste deel van de normaal gebruikelijke zwartingskromme, bij de minder gevoelige Ilford „Process” emulsie zelfs nog in het rechte stuk ervan. De directe zwarting is dus geen begeleidingsverschijnsel van de solarisatie, zoals *Webb en Meidinger* onderstellen (zie blz. 12).

§ 4. Vergelijking van de gevoeligheid van verschillende plaatsen van een emulsie.

De meetreeksen zijn tot nu toe behandeld alsof alle punten van een reeks afkomstig zijn van eenzelfde plaats van de emulsie. In werkelijkheid is dit niet het geval. Dit komt door de traagheid bij het registreren. De tijdlijnen en de curve worden onafhankelijk van elkaar geregistreerd. Omdat de stand van het wagentje, waarin het tijdsignaal gegeven wordt, symmetrisch ligt ten opzichte van de beide eindstanden, behoren bij een traagheidsloze registratie de tijdlijnen de curve steeds op dezelfde plaats te snijden. Dit nu blijkt niet zo te zijn. In werkelijkheid zijn beide registraties vertraagd, maar die van de curve is 0,8 sec. meer vertraagd dan die der tijdlijnen. Bij de heengaande beweging van het wagentje wordt daardoor een ander deel van de plaat gemeten dan bij de teruggaande beweging; deze plaatsen liggen 6 cm. uiteen. In de grafieken zijn de punten onderscheiden: steeds zijn met ● de heengaand en met ▲ de teruggaand gemeten punten aangegeven. Bij geen der opnamen is een systematisch verschil te zien in de hellingen van de krommen, behorend bij de twee soorten meetpunten.

Aan een aantal opnamen kunnen we ook de reproduceerbaarheid van de directe zwarting nagaan voor verschillende platen, alle met dezelfde emulsie begoten, die onder zo goed mogelijk gelijke omstandigheden belicht zijn. De hellingen van deze opnamenparen zijn in tabel II verenigd. In fig. 12 zijn de punten van kromme I meetpunten van het eerste opnamenpaar en die van kromme II meetpunten van het tweede opnamenpaar van tabel II.

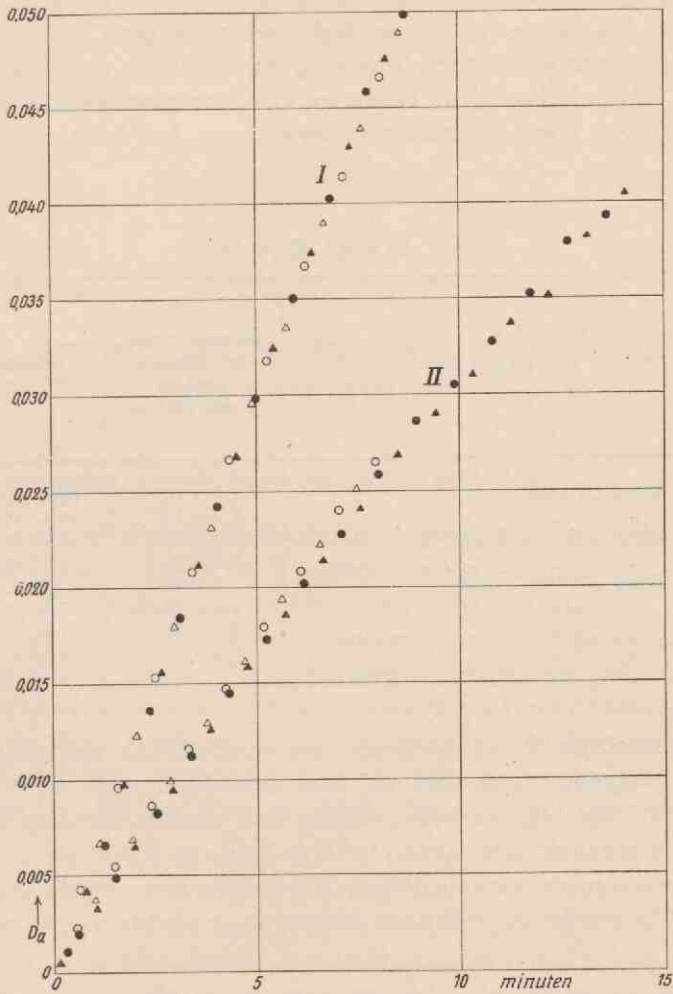


Fig. 12. Directe zwartingskrommen voor verschillende plaatsen van de emulsie:
I. Ilford „Process”, II. Ilford „Special Rapid”.

- | | | | | | |
|-----|---|------------|----------------------------|--------------------|--------|
| I. | } | ●, ▲ . . . | heengaand resp. teruggaand | gemeten, meetreeks | no. 25 |
| | | ○, △ . . . | „ „ „ „ | „ „ | no. 28 |
| II. | } | ●, ▲ . . . | „ „ „ „ | „ „ | no. 22 |
| | | ○, △ . . . | „ „ „ „ | „ „ | no. 23 |

Door deze reproduceerbaarheid opent zich nu zelfs de mogelijkheid van het maken van intensiteitskrommen, hetgeen niet het geval zou zijn bij een gedwongen beperking tot één plaats van de emulsie. In het volgende hoofdstuk zullen we van deze mogelijkheid gebruik gaan maken door de reciprociteitswet voor het latente beeld te toetsen.

TABEL II.

No. van de meetreeks	EMULSIE	Intensiteit van het blauwe licht in quanta/cm ² sec.	Toename van D_a per sec.
25	Ilford „Proces”	$1,7 \times 10^{12}$	$10,3 \times 10^{-5}$
28	„ „ „	$1,7 \times 10^{12}$	$10,1 \times 10^{-5}$
22	Ilford „Special Rapid”	$0,6 \times 10^{12}$	$5,50 \times 10^{-5}$
23	„ „ „	$0,6 \times 10^{12}$	$5,57 \times 10^{-5}$
40	Ilford „X-Ray” (film)	$1,6 \times 10^{11}$	$1,93 \times 10^{-5}$
42	„ „ „	$1,6 \times 10^{11}$	$2,00 \times 10^{-5}$
39	„ „ „	$1,4 \times 10^{10}$	$1,81 \times 10^{-6}$
41	„ „ „	$1,4 \times 10^{10}$	$1,89 \times 10^{-6}$

De dikte van de emulsielagen van verschillende met eenzelfde emulsie begoten platen kan vrij veel uiteenlopen (tot 20 % toe). Dit beïnvloedt blijkbaar de zwarting niet ernstig, hetgeen toe te schrijven is aan de grote absorptie in de bovenste lagen. De onderste lagen der emulsie werken dan slechts weinig mee aan de vorming van het latente beeld, zodat een diktetoename slechts weinig invloed heeft.

HOOFDSTUK IV

DE SCHWARZSCHILDEXPONENT VOOR DE DIRECTE ZWARTING

§ 1. Invoering van de Schwarzschildexponent p .

Bij het onderzoeken van de directe zwarting komt vanzelfsprekend de vraag naar voren of de gevormde hoeveelheid absorberende stof alleen afhankelijk is van de totale opgevallen energie $i \times t$ (reciprociteitswet), of dat deze op andere wijze van intensiteit resp. belichtingstijd afhangt. De reciprociteitswet immers geldt bij vele photochemische processen. Voor de zwarting na ontwikkeling echter geldt zij niet. Gewoonlijk wordt de afwijking van bovengenoemde reciprociteitswet uitgedrukt door middel van de Schwarzschildexponent p , die gedefinieerd wordt door:

$$i_1 t_1^p = i_2 t_2^p \quad (20)$$

waarin i_1 en i_2 intensiteiten zijn, die resp. in de tijden t_1 en t_2 gelijke zwarting geven. Bij afwijkingen van de reciprociteitswet ontstaan waarden van p , die van 1 verschillen. Ook voor de directe zwarting zullen we deze p gebruiken om de eventuele afwijkingen van de reciprociteitswet aan te geven.

Om p te bepalen, moet men twee intensiteiten met bekende verhouding op verschillende plaatsen van de emulsie laten inwerken. Een bekende verhouding kan men het beste verkrijgen door afstandsvariatie van de lichtbron toe te passen. In ons geval was dit niet mogelijk door de beperkte hoogte van de opstelling. Daarom

werd met een neutraal filter (Schott N.G. 3, dikte 1 mm) het blauwe licht verzwakt. Dit filter werd fotografisch geijkt. De gemeten doorlating van het filter bedroeg $8,9\% \pm 0,4\%$.

§ 2. Nauwkeurigheid van de bepaling van p .

Uit formule (20) volgt

$$p = \frac{\log i_1 - \log i_2}{\log t_2 - \log t_1} \quad (21)$$

De gemiddelde fout in p kan men berekenen volgens

$$\Delta p = \frac{0,43}{\log i_1 - \log i_2} \times \sqrt{\left\{ \left(\frac{\Delta i_1}{i_1} \right)^2 + \left(\frac{\Delta i_2}{i_2} \right)^2 \right\} \times p^2 + \left\{ \left(\frac{\Delta t_1}{t_1} \right)^2 + \left(\frac{\Delta t_2}{t_2} \right)^2 \right\} \times p^4} \quad (22)$$

waarin Δp , Δi_1 , Δi_2 , Δt_1 , Δt_2 de gemiddelde fouten voorstellen in resp. p , i_1 , i_2 , t_1 , t_2 . Omdat $i_2/i_1 = 0,089$ en omdat p slechts weinig verschilt van 1 mogen we ook schrijven

$$\Delta p = 0,41 \times \sqrt{\left(\frac{\Delta i_1}{i_1} \right)^2 + \left(\frac{\Delta i_2}{i_2} \right)^2 + \left(\frac{\Delta t_1}{t_1} \right)^2 + \left(\frac{\Delta t_2}{t_2} \right)^2} \quad (23)$$

Δi_1 is afhankelijk van de nauwkeurigheid, waarmee de stroomsterkte kan worden afgelezen en bedraagt $0,03 i_1$. Δi_2 is bovendien nog afhankelijk van de fout in de ijking van het filter; de totale fout in i_2 bedraagt $0,05 i_2$. Δt_1 en Δt_2 hangen af van de fout in de voorstelling van D_a door de getrokken rechten. Deze fout is gedeeltelijk van systematische en gedeeltelijk van toevallige aard. Voor de systematische afwijking, die een gevolg is van de fout in $\alpha-I$, zullen we overal $0,01 t_1$ resp. $0,01 t_2$ in rekening brengen. De toevallige fout in de positie van de rechte, berekend uit de spreiding der punten er om heen, is i.h.a. verschillend voor verschillende plaatsen op de rechte. In het midden is zij $1/\sqrt{m} \times$ de gemiddelde fout in één punt ($m =$ aantal punten waardoor de rechte getrokken is); naar de

uiteinden wordt de fout groter, al blijft zij wel kleiner dan de gemiddelde fout in één punt. Voor grotere zwartingen overwegen de fouten in de intensiteiten; we vinden dan voor de gemiddelde fout in p : $\Delta p = 0,03$, onafhankelijk van de zwarting. Voor kleine zwartingen overweegt de toevallige fout in t_1 en t_2 ; omdat in form. (23) t_1 en t_2 in de noemer voorkomen, zal bij afnemende t_1 en t_2 Δp ongeveer omgekeerd evenredig met t_1 en t_2 toenemen.

§ 3. Resultaten van metingen aan niet-kleurgevoelige emulsies.

De nu volgende opnamenparen van zwartingskrommen bij belichtingen met de bekende intensiteitsverhouding werden direct na elkaar gemaakt, onder zo goed mogelijk gelijke omstandigheden. Het eerste stel werd gemaakt met Ilford „Special Rapid (extra sensitive)” platen, die uit één grote 18×24 plaat werden gesneden. De intensiteiten van het blauwe licht bedroegen resp. $1,7 \times 10^{12}$ en $1,5 \times 10^{11}$ quanta/cm² sec.

In fig. 13 wordt door kromme I de gemeten waarde van p grafisch voorgesteld als functie van de belichtingstijd van de opname met grootste intensiteit. Op het stuk AB bedraagt de fout 3 %. De zwartingen, bij deze punten behorend, liggen op het deel van de zwartingskromme, dat afbuigt van de rechte. Het stuk BC bevat de punten, die corresponderen met de rechte stukken van de zwartingskrommen; hier is p constant. De fout in p neemt vanaf B toe en bedraagt bij C 10 %. Neemt men nu aan, dat de rechten inderdaad door 0 gaan, dan houdt p de gemeten constante waarde; dit is aangeduid door het stuk CD van de kromme. Het werd echter gestippeld om aan te duiden, dat de nauwkeurigheid, waarmee p door ons experimenteel bepaald is, vanaf C sterk afneemt.

Men zou binnen de grenzen der nauwkeurigheid de twee zwartingskrommen in de buurt van O nog juist zo kunnen trekken, dat p bij afnemende belichting tot 1 nadert; om dit nader te onderzoeken zouden we de nauwkeurigheid der meting bij de kleine belichtingen moeten opvoeren. Verder verwachten we, dat p bij voldoende kleine intensiteiten zeer dicht bij 1 zal komen. Deze beschouwingen hebben ons ertoe geleid, opnamenparen te maken bij 10 keer kleinere intensiteiten. Hierbij zijn de toevallige fouten in de zwartingsmeting

aanzienlijk kleiner dan bij het eerste paar bij dezelfde zwarting. Indien we dus hier p gaan uitzetten tegen de belichting, vinden

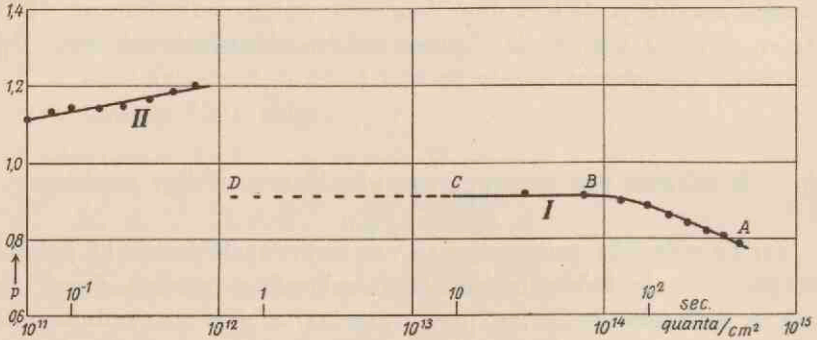


Fig. 13. Schwarzschildexponent voor de directe zwarting (I) en voor de zwarting na ontwikkeling (II), als functie van de belichtingstijd van de opname met de grootste intensiteit. Emulsie: Ilford „Special Rapid (extra sensitive)“.

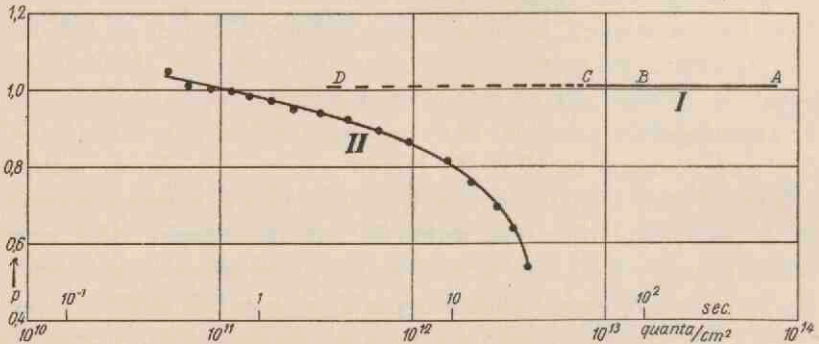


Fig. 14. Idem voor kleinere intensiteiten.

we kleinere onzekerheid in p dan bij de eerste meetreeks bij even-grote belichting.

De nieuwe opnamen werden weer gemaakt op Ilford „Special Rapid (extra sensitive)“ platen. De intensiteiten bedroegen nu resp.

$1,6 \times 10^{11}$ en $1,4 \times 10^{10}$ quanta/cm² sec. De berekening van p en van de gemiddelde fout in p gebeurde op dezelfde wijze als bij het vorige paar opnamen. Nu zijn echter beide zwartingskrommen in het gehele gebruikte belichtingsgebied recht, zodat p over het gehele gebied constant is. In fig. 14 is de gemeten p op dezelfde wijze grafisch voorgesteld als in fig. 13: op het stuk AB van kromme I is de fout in p 3 %, bij C is de fout 10 % en het stuk CD stelt p voor als men onderstelt, dat de rechten nauwkeurig door O gaan.

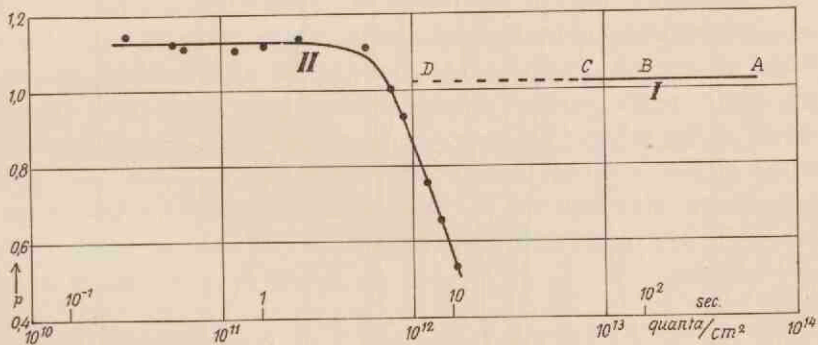


Fig. 15. Schwarzschildexponent voor de directe zwarting (I) en voor de zwarting na ontwikkeling (II), als functie van de belichtingstijd van de opname met de grootste intensiteit. Emulsie: Ilford „X-Ray” (film).

Vervolgens werden deze meetreeksen in tweevoud herhaald met Ilford „X-Ray” emulsie (film). De intensiteiten waren hetzelfde als bij het vorige stel opnamen en de resultaten zijn weer op dezelfde wijze in fig. 15 weergegeven. Ook de betekenis van de letters bij kromme I is dezelfde als in de vorige figuren. De resultaten geven de indruk, dat de Schwarzschildexponent voor de directe zwarting, althans bij deze kleinere intensiteiten, bij kleine belichtingen gelijk aan 1 wordt.

Men zal nu allicht de vraag stellen of onder deze omstandigheden ook bij de ontwikkelde plaat de waarde van p dicht bij 1 komt. Uit onderzoekingen, waarbij gelijke latente beelden op verschillende

wijze werden ontwikkeld (20), is echter gebleken, dat de ontwikkelmethode de waarde van p beïnvloedt. De gestelde vraag is dus in zijn algemeenheid niet zinvol; i.h.a. zal p na ontwikkeling een andere waarde hebben dan er vóór. Ter illustratie is in de figuren 13, 14 en 15 ook het verloop van p aangegeven (krommen II) voor dezelfde emulsies, ontwikkeld met een metol-borax ontwikkelaar (21) (ontwikkeltijd 5 min., temperatuur 17° C.).

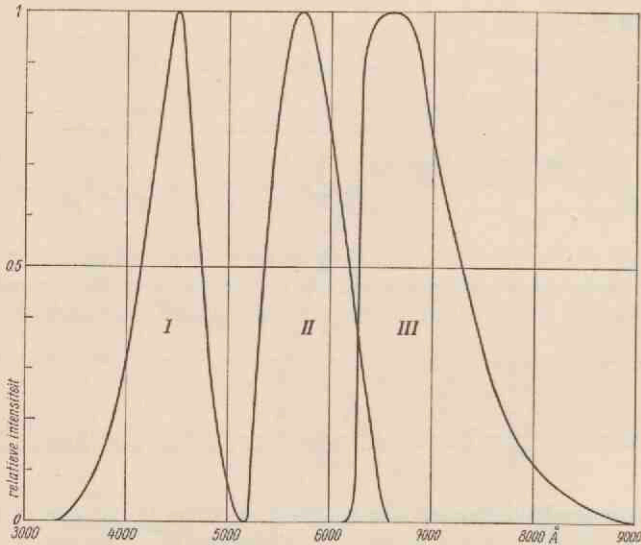


Fig. 16. Spectrale intensiteitsverdeling:

- I. van het gewijzigde blauwe licht.
- II. van het gele licht.
- III. van het gewijzigde meetlicht.

De gemiddelde fout in deze p -waarden bedraagt 4%. De omstandigheden bij de meting waren dezelfde als die bij de p -bepaling voor de directe zwarting.

§ 4. Enige metingen aan een orthochromatische emulsie.

Tenslotte hebben we nog enige metingen gedaan aan een orthochromatische emulsie: de Ilford „Iso-Zenith” emulsie. We hebben

hier p -waarden bepaald voor blauw en voor geel licht. Het golflengtegebied van het gele licht was zo gekozen, dat het maximum van de sensibilisatie er binnen viel.

Het bleek hierbij in de eerste plaats nodig het meetlicht te wijzigen, omdat het oorspronkelijke meetlicht op deze emulsie wél inwerkte. Als filters B en C (zie fig. 3) werden resp. de filters Schott BG 17 (6 mm dik) en Schott RG 2 (4 mm) gekozen. Ook de filters voor het blauwe licht werden gewijzigd. In plaats van de oorspronkelijke kwamen de Schott-filters BG 12 (3,4 mm) en BG 17 (3,2 mm). Voor de gele belichting werd een tweede 12 volts lampje aangebracht met de Schottfilters OG 1 (4 mm), BG 18 (2 mm) en BG 17 (3 mm). De filters voor het gele en blauwe licht werden zo gekozen, dat de doorlatingsgebieden geen golflengten gemeen hadden. Om intensiteiten te verkrijgen, die op de plaat directe zwartingen van dezelfde grootte veroorzaakten, moest de stroomsterkte van het blauwe lampje verlaagd worden tot de gloei-draad een temp. van omstreeks 2100° K had. De temp. van de draad van het gele lampje was circa 2800° K. De spectrale intensiteitsverdelingen van het blauwe, het gele en het meetlicht zijn afgebeeld resp. in fig. 16, I, II en III.

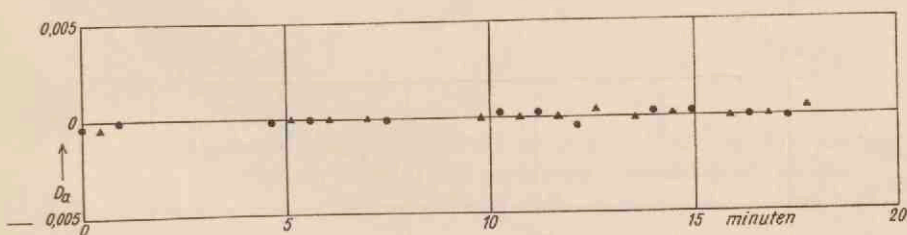


Fig. 17. Het verloop van D_a zonder fotografisch werkzame belichting bij Ilford „Iso Zenith” emulsie met gewijzigd meetlicht.

Voor de nieuwe lichtbronnen werd de doorlating van het NG 3 filter opnieuw bepaald. Deze bleek voor het blauwe licht $9,2\% \pm 0,3\%$ en voor het gele licht $8,5\% \pm 0,3\%$ te zijn.

Eerst werd een opname gemaakt zonder gele en blauwe belichting, om te controleren of het nieuwe meetlicht direct op de emulsie in-

werkte. Het resultaat is in fig. 17 afgebeeld. We zien daaruit, dat het meetlicht geen meetbare directe zwarting veroorzaakte.

Vervolgens werden de volgende opnamenparen gemaakt:

No.	Emulsie.	Belichting.
46	Ilford „Iso Zenith”	Geel licht zonder het NG 3 filter.
49	„ „ „	„ „ met „ „
47	„ „ „	Blauw „ zonder „ „
50	„ „ „	„ „ met „ „

De zwartingskrommen voor het blauwe licht blijken weer rechten te zijn, die bij verlenging de *it*-as snijden in een punt, dat minder van de oorsprong afwijkt dan de meetnauwkeurigheid van één punt bedraagt. De zwartingskrommen voor het gele licht vertonen daarentegen een drempelwaarde; een der opnamen (no. 46), waaraan dit duidelijk te zien is, is in fig. 18 afgebeeld. Dit verschijnsel werd bij ongesensibiliseerde emulsies reeds gevonden bij belichting met rood licht (zie blz. 16). Fig. 19 geeft de desbetreffende zwartingskrommen.

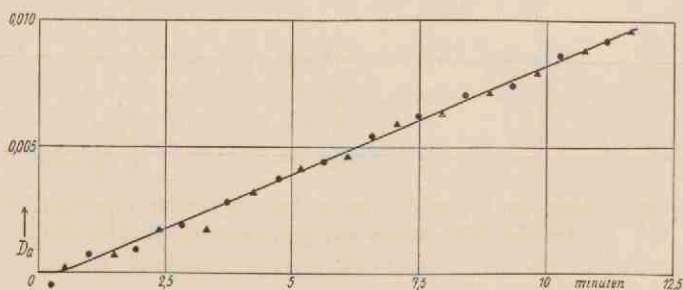


Fig. 18. Directe zwartingskromme voor geel licht ($\lambda_{\max} = 5700 \text{ \AA}$) voor Ilford „Iso Zenith” emulsie.

In de literatuur wordt één geval beschreven van een bepaling van de direct gevormde hoeveelheid zilver, die in een met erythrosine

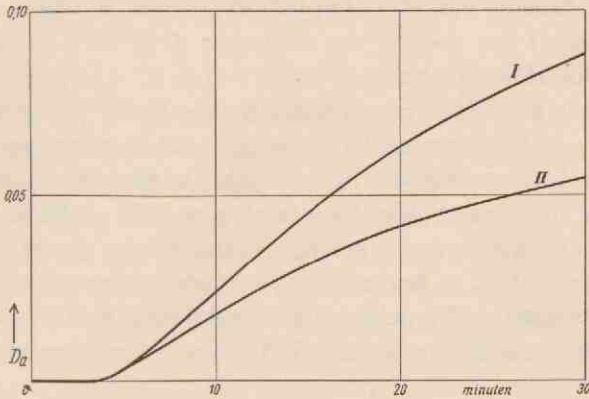


Fig. 19. Directe zwartingskrommen voor rood licht:

I. Ilford „X-Ray” emulsie (film).

II. Agfa „Diapositiv” emulsie (film).

(van Kreveld) (22).

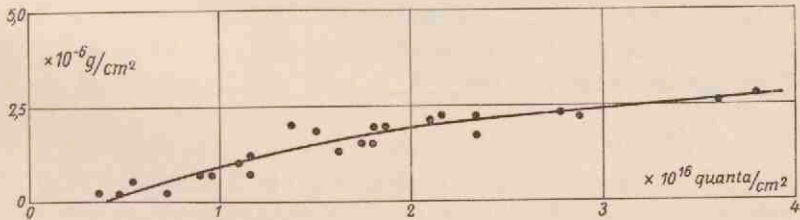


Fig. 20. De direct gevormde hoeveelheid zilver als functie van de belichting ($\lambda_{\max} = 5500 \text{ \AA}$) voor een met erythrosine gesensibiliseerde emulsie (Lescynski).

gesensibiliseerde emulsie bij belichting met geel licht ($\lambda_{\max} = 5500 \text{ \AA}$) ontstaat. Het is een meting van Lescynski (23), waarbij de hoeveelheid zilver werd getitreerd, en waarbij het nul-effect, evenals bij Tollert (zie blz. 10), niet op de juiste wijze in berekening werd gebracht. Doet men dit wel, hetgeen mogelijk is doordat Tollert in zijn discussie (3) het nodige gegeven vermeldt, dan ontstaat fig. 20, waarin de gevormde hoeveelheid

zilver als functie van de opgevallen energie is afgebeeld. Een drempelwaarde ter grootte van ongeveer 4×10^{15} quanta/cm² is ook hier duidelijk zichtbaar.

De voet van de directe zwartingskromme ligt in het gebied waar de fout in $p > 10\%$ wordt; bij de grotere directe zwartingen vinden we voor p de waarde $p = 1,03 \pm 0,03$. De meting van de waarde van p voor het blauwe licht leverde op $p = 0,91 \pm 0,03$. Ondanks de kleine intensiteit waarmee belicht werd, schijnt de waarde van p van 1 af te wijken, in tegenstelling met de in de vorige paragraaf vermelde resultaten. Mogelijk speelt hierbij de sensibilisatie een rol, hetgeen door een nader onderzoek zal moeten worden uitgemaakt.

LITERATUUR

1. P. P. Koch en H. Vogler, *Ann. Physik* **77**, p. 495 (1925).
 2. J. Eggert en W. Noddack, *Z. Phys.* **20**, p. 299 (1923).
 3. H. Tollert, *Z. phys. Chem. A* **140**, p. 355 (1929).
 4. H. Arens, *Z. Wiss. Photogr.* **30**, p. 49 (1932).
 5. P. Feldmann en A. Stern, *Z. phys. Chem. B* **26**, p. 45 (1934).
 6. R. Hilsch en R. W. Pohl, *Z. Phys.* **64**, p. 606 (1930).
 7. A. van Kreveld en H. J. Jurriëns, *Physica* **4**, p. 294 (1937).
 - 7a. E. Hagen en H. Rubens, *Ann. Physik* **8**, p. 432 (1902).
 8. Samenvatting in: *Handbuch der Wiss. und Angew. Photogr.* **V**, p. 100 (1932).
 9. U. Schmieschek, *Photogr. Industrie.* **26**, p. 1086 (1928).
 10. A. Guéraud, IX. Congrès internat. de Photographie, p. 61 (1936).
 11. A. van Kreveld en H. J. Jurriëns, *Physica* **4**, p. 285 (1937).
 12. J. H. Webb, *J. of optic. Soc.* **26**, p. 382 (1936).
 13. W. Meidinger, *Handbuch der Wiss. und Angew. Photogr.* **V**, p. 273 (1932).
 14. H. Scheffers, *Z. Phys.* **20**, p. 109 (1923).
 15. J. Wouda, *Z. Phys.* **79**, p. 511 (1932).
 16. E. v. Angerer, „Wissensch. Photographie“, p. 171 (1931).
 17. *Handbuch der Wiss. und Angew. Photogr.* **V**, p. 315 (1932).
 18. G. M. Dreosti, *Phil. Mag.* **11**, 801 (1931); *Kolloidchem. Beihefte* **33**, H. 1—4 (1931).
 19. J. W. Ryde en B. S. Cooper, *Proc. roy. Soc.* **131**, 464 (1931).
 20. L. A. Jones, V. C. Hall en R. M. Briggs, *J. of optic. Soc.* **14**, p. 223 (1927) en L. A. Jones en V. C. Hall, *J. of optic. Soc.* **13**, p. 443 (1926).
 21. W. Reinders en M. C. F. Beukers, Ber. VIII. internat. Kongress wiss. und angew. Photogr., p. 171 (1932).
 22. A. van Kreveld en H. J. Jurriëns, *Physica* **4**, p. 292 (1937).
 23. W. Lescynski, *Z. Wiss. Photogr.* **24**, p. 261 (1926/1927).
-

INHOUD

	Bladz.
Hoofdstuk I. Inleiding	9
§ 1. Het latente beeld	9
§ 2. De directe zwarting	9
§ 3. Het verband tussen het latente beeld en de directe zwarting	12
§ 4. Het onderwerp van dit proefschrift	13
Hoofdstuk II. De meetmethode	15
§ 1. De ontwikkeling van de methode	15
§ 2. De definitieve opstelling	17
§ 3. Het opnemen en uitwerken van een meetreeks	20
§ 4. De versterking door de melkglazen	26
Hoofdstuk III. De gemeten zwartingskrommen	33
§ 1. De absorberende stof	33
§ 2. De nauwkeurigheid van de zwartingsmetingen	33
§ 3. Het verloop van de zwartingskrommen bij kleine belichtingen	36
§ 4. Vergelijking van de gevoeligheid van verschillende plaatsen van een emulsie	38
Hoofdstuk IV. De Schwarzschildexponent voor de directe zwarting	41
§ 1. Invoering van de Schwarzschildexponent p	41
§ 2. Nauwkeurigheid van de bepaling van p	42
§ 3. Resultaten van metingen aan niet-kleurgevoelige emulsies	43
§ 4. Enige metingen aan een orthochromatische emulsie.	46
Literatuur	52

STELLINGEN.

I.

Ook door haar grote temperatuurafhankelijkheid onderscheidt zich de directe zwarting van emulsies van de door lichtabsorptie in AgBr kristallen gevormde kleurcentra.

W. F. Berg en K. Mendelssohn, Proc. Phys. Soc. **49**, p. 38 (1937).

R. Hilsch en R. W. Pohl, Z. Phys. **64**, p. 611 (1930).

II.

Het is van belang na te gaan of bij het optreden van het Herschell-effect de direct gevormde hoeveelheid zilver afneemt.

R. W. Gurney en N. F. Mott, Proc. Roy. Soc. **164**, p. 151 (1938).

Handbuch Wiss. und Angew. Photogr. **V**, p. 321 (1932).

III.

Het feit, dat langzame metastabiele atomen, evenals photonen, in staat zijn electronen uit een metaaloppervlak vrij te maken, doet ons vermoeden, dat deze atomen ook een Schumann-plaat kunnen zwarten.

S. Sonkin, Phys. Rev. **43**, p. 788 (1933).

IV.

Bij het analyseren van electro-encephalogrammen kan men het optreden van relaxatietrillingen aantonen.

L. J. Franke en L. J. Koopman, Z. f. d. ges. Neurologie und Psychiatrie, **162**, p. 259 (1938).

V.

De door Wüst en Wimmer gebruikte methode voor het aantonen van zgn. W-straling kan niet als een objectieve fysieke methode aanvaard worden.

J. Wüst en J. Wimmer, Roux' Archiv f. Entwicklungsmechanik der Organismen, 131, p. 390 (1934).

VI.

Voor het constateren van „Extra-Sensory Perception” is het pharmaco-psychologische onderzoek van Rhine minstens even belangrijk als zijn overige statistische metingen.

J. B. Rhine, Extra-Sensory Perception, Boston, 1934.

VII.

De psychologische en filosofische argumenten, die Dunne aangeeft voor het invoeren van de tijd T_2 zijn onjuist.

J. W. Dunne, An Experiment with Time.

VIII.

Het vermeederen van het aantal op de middelbare school te onderwijzen vakken met een inleiding in de filosofie is ongewenst.

Ut

19