

Verbroken licht

De verdeling van lichtenergie is niet homogeen over het spectrum. Het is vooral in de blauw- en violetgebied dat de energie het hoogst is. Dit komt door de aanwezigheid van de zogenaamde Lyman- α lijn van waterstof. Deze lijn is de meest intense lijn in het spectrum van een ster. Het is de reden waarom het licht van een ster blauwachtig is. Het is ook de reden waarom het licht van een ster blauwachtig is.

Lichtenergie

In de meeste gevallen wordt het licht van een ster door de atmosfeer van de aarde gebroken. Dit komt door de aanwezigheid van de zogenaamde Lyman- α lijn van waterstof. Deze lijn is de meest intense lijn in het spectrum van een ster. Het is de reden waarom het licht van een ster blauwachtig is. Het is ook de reden waarom het licht van een ster blauwachtig is.

Stof en licht aan de hand van

De verdeling van lichtenergie is niet homogeen over het spectrum. Het is vooral in de blauw- en violetgebied dat de energie het hoogst is. Dit komt door de aanwezigheid van de zogenaamde Lyman- α lijn van waterstof. Deze lijn is de meest intense lijn in het spectrum van een ster. Het is de reden waarom het licht van een ster blauwachtig is. Het is ook de reden waarom het licht van een ster blauwachtig is.

Lichtgevende molten en andere verslagen

De verdeling van lichtenergie is niet homogeen over het spectrum. Het is vooral in de blauw- en violetgebied dat de energie het hoogst is. Dit komt door de aanwezigheid van de zogenaamde Lyman- α lijn van waterstof. Deze lijn is de meest intense lijn in het spectrum van een ster. Het is de reden waarom het licht van een ster blauwachtig is. Het is ook de reden waarom het licht van een ster blauwachtig is.

Colofon

De redactie van dit tijdschrift bestaat uit de volgende personen: ...

Licht Thema

De verdeling van lichtenergie is niet homogeen over het spectrum. Het is vooral in de blauw- en violetgebied dat de energie het hoogst is. Dit komt door de aanwezigheid van de zogenaamde Lyman- α lijn van waterstof. Deze lijn is de meest intense lijn in het spectrum van een ster. Het is de reden waarom het licht van een ster blauwachtig is. Het is ook de reden waarom het licht van een ster blauwachtig is.

1997 • Licht op chemie

Microscopische wereld

De verdeling van lichtenergie is niet homogeen over het spectrum. Het is vooral in de blauw- en violetgebied dat de energie het hoogst is. Dit komt door de aanwezigheid van de zogenaamde Lyman- α lijn van waterstof. Deze lijn is de meest intense lijn in het spectrum van een ster. Het is de reden waarom het licht van een ster blauwachtig is. Het is ook de reden waarom het licht van een ster blauwachtig is.

De verdeling van lichtenergie

De verdeling van lichtenergie is niet homogeen over het spectrum. Het is vooral in de blauw- en violetgebied dat de energie het hoogst is. Dit komt door de aanwezigheid van de zogenaamde Lyman- α lijn van waterstof. Deze lijn is de meest intense lijn in het spectrum van een ster. Het is de reden waarom het licht van een ster blauwachtig is. Het is ook de reden waarom het licht van een ster blauwachtig is.

De verdeling van lichtenergie

De verdeling van lichtenergie is niet homogeen over het spectrum. Het is vooral in de blauw- en violetgebied dat de energie het hoogst is. Dit komt door de aanwezigheid van de zogenaamde Lyman- α lijn van waterstof. Deze lijn is de meest intense lijn in het spectrum van een ster. Het is de reden waarom het licht van een ster blauwachtig is. Het is ook de reden waarom het licht van een ster blauwachtig is.

De verdeling van lichtenergie

De verdeling van lichtenergie is niet homogeen over het spectrum. Het is vooral in de blauw- en violetgebied dat de energie het hoogst is. Dit komt door de aanwezigheid van de zogenaamde Lyman- α lijn van waterstof. Deze lijn is de meest intense lijn in het spectrum van een ster. Het is de reden waarom het licht van een ster blauwachtig is. Het is ook de reden waarom het licht van een ster blauwachtig is.

De verdeling van lichtenergie

De verdeling van lichtenergie is niet homogeen over het spectrum. Het is vooral in de blauw- en violetgebied dat de energie het hoogst is. Dit komt door de aanwezigheid van de zogenaamde Lyman- α lijn van waterstof. Deze lijn is de meest intense lijn in het spectrum van een ster. Het is de reden waarom het licht van een ster blauwachtig is. Het is ook de reden waarom het licht van een ster blauwachtig is.

De verdeling van lichtenergie

De verdeling van lichtenergie is niet homogeen over het spectrum. Het is vooral in de blauw- en violetgebied dat de energie het hoogst is. Dit komt door de aanwezigheid van de zogenaamde Lyman- α lijn van waterstof. Deze lijn is de meest intense lijn in het spectrum van een ster. Het is de reden waarom het licht van een ster blauwachtig is. Het is ook de reden waarom het licht van een ster blauwachtig is.



Het moet een angstaanjagend gezicht geweest zijn, als in een stikdonkere, maanloze nacht, 'witte wieven' verschenen boven moerassen of begraafplaatsen. Lichtgevende gestalten waarvan iedereen direct begreep dat het geesten waren van overledenen. Er zijn haast overal wel sagen en volksverhalen waarin geestverschijningen een rol spelen.

Onderzoekers hebben ontdekt dat de chemie misschien wel een handje geholpen heeft bij het ontstaan van deze verhalen. Zowel bij begraafplaatsen als in moerassen kunnen fosforhoudende gassen ontstaan, die chemoluminescerend zijn. Dat wil zeggen dat ze (bijvoorbeeld door een reactie met zuurstof) zwak licht kunnen geven. Lichtgevende reacties waren vroeger veel bekender dan nu. In donkere werkplaatsen die hooguit door een paar kaarsen verlicht werden, viel de geheimzinnige manier waarop fosforverbindingen licht gaven al snel op.

In de vorige eeuw ontwikkelde Mitscherlich zelfs een proef die op dit lichtgeven was gebaseerd. Daarmee konden fosforverbindingen worden aangetoond in slachtoffers van gifmoorden. Veel fosforverbindingen zijn bijzonder giftig.

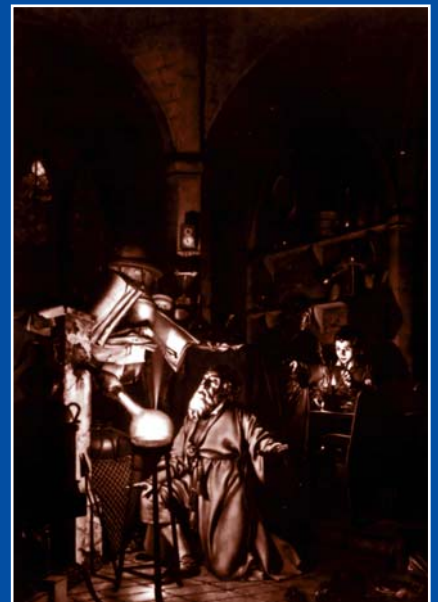
Tegenwoordig is het feit dat fosforverbindingen licht geven minder bekend. Elke chemicus doet in een donker laboratorium immers eerst het licht aan. En in het heldere TL-buis licht valt een zwakke chemoluminescentie niet op. Een andere vorm van luminescentie komt daarvoor in de plaats. In de TL-buizen zorgen ingewikkelde metaalverbindingen ervoor dat het (onzichtbare) TL-licht wordt omgezet in een zee van zichtbaar licht.

Opmerkelijk licht

Iedereen kent ze, merkstiften. Stiften met fel oplichtende, gele, groene of blauwe kleuren. Ze zijn zo gewoon, dat haast niemand beseft dat het hier om een heel nieuw soort inkt gaat. De kleurstoffen uit deze inkt werken volkomen anders dan de 'gewone' kleurstoffen. Wie op onderzoek gaat naar wat daar zo bijzonder aan is, stuit al snel op andere merkwaardige verschijnselen. Het heldere wit dat verschijnt als in een disco de 'black lights' aangaan, blijkt op hetzelfde principe te berusten. En als bij een winkel onder een UV-lamp even gecontroleerd wordt of het honderdje waar je mee betaalt, wel echt is, is dat ook weer een voorbeeld van wat officieel fluorescentie heet. Fluorescentie is maar een klein onderdeel van de fascinerende wereld van de luminescentie, het oplichten van stoffen onder invloed van straling of scheikundige reacties.

Er is nog meer licht in de scheikunde: chemoluminescentie, bioluminescentie, electroluminescentie, fosforescentie, fotoluminescentie, indrukwekkende woorden die even indrukwekkende verschijnselen aanduiden.

Van deze reeks is bioluminescentie al het langst bekend: het spectaculaire lichten van de zee hoort daarbij, maar ook het flonkeren van vuurvliegjes in een warme zomernacht. Biologisch licht werd al beschreven in het oude China, terwijl ook de Griekse filosoof Aristoteles melding maakt van z'n verwondering over biologisch licht. Grote onderzoekers en denkers als Descartes, Shakespeare en Boyle hebben erover geschreven.





Wie voor het eerst de zee ziet lichten of vuurvliegjes ziet dansen in de nacht, is daar diep van onder de indruk.

Dit biologisch licht, bioluminescentie, komt maar in een paar hoeken van de biologie voor. De meeste voorbeelden zijn te vinden in het wat schimmige grensgebied tussen het planten- en dierenrijk: schimmels, bacteriën, algen, paddestoelen, protozoën.

Voor het lichten van de zee zijn algen verantwoordelijk. Een van de grootste lichten onder de algen is de zeevonk: zo groot als een speldenknop, met een grillig gevormd tentakel en een zweephaar. Deze rode algen drijven vaak in grote aantallen in zee rond. Overdag kunnen ze de zee een zwak rode kleur geven, een aankondiging dat er 's avonds een fantastische lichtshow wordt verzorgd. Vooral als er door beweging extra zuurstof in het water komt, geven ze lichtflikkeringen af. De branding geeft het meeste licht en verse voetafdrukken in het natte zand lichten sterk op.

De zaklantaarnvis

Dat de zee nog meer licht herbergt, is nog niet zo lang bekend. Tenminste niet bij Europeanen. Twee eeuwen geleden schreef de Nederlander Peter Boddaert vanuit Oost Indië dat hij een merkwaardige vis had ontdekt, met onder de ogen een soort lampjes. Zo'n zaklantaarnvis heeft aan beide kanten een kleine blaas gevuld met lichtgevende bacteriën. Bij gebrek aan lichtschakelaar, doet de vis met een soort ooglid als gordijntje, dit lampje uit. De zaklantaarnvis is lang niet de enige vis die met licht speelt. Geen wonder, want op diepten groter dan een kilometer komt vrijwel geen daglicht meer. Wie daar leeft moet zijn eigen licht maken. Er zwemmen bizar gevormde gedrochten rond, vreemder dan een sprookjestekenaar zou kunnen verzinnen. De helft van de vissoorten daar heeft wel een of andere vorm van licht bij de hand.

De lantaarnvis krijgt de originaliteitsprijs: uit z'n kop groeit een lange hengel, met aan het uiteinde een heus biologisch lampje. Visjes die gebiologeerd naar dat verschijnsel kijken, kunnen zo rustig door de lantaarnvis opgehapt worden. Deze diepzeegoochelaars maken gebruik van bacteriën om hun trucs uit te voeren. Die bacteriën komen ook wel 'los' voor, bijvoorbeeld in bedorven vlees en vis. Het

oplichten van een gevangen vis in het donker is dus een teken dat de vis niet echt vers meer is.

Het echtpaar Vuurvlieg-Glimworm

De hoogste diervorm die zèlf licht kan maken, zijn de insecten. Het vuurvliegje is daar de bekendste van. Het vuurvliegje is een kevertje met op het achterlijf een orgaan dat sterk geel-groen licht kan geven. Hij (want het is altijd een mannetje) kan met dat lichtje knipperen of seinen. Mevrouw vuurvlieg heeft nauwelijks ontwikkelde vleugels en kan niet vliegen. Ze wordt een glimworm genoemd, alhoewel zij helemaal niet op een worm lijkt. Haar licht is zeker zo fel als van het mannetje, en met het licht lokt ze een mannetje voor de paring die daarna discreet in het donker plaats heeft. De hele familie vuurvlieg-glimworm speelt trouwens met licht: de larven en zelfs de eieren lichten regelmatig op.

Licht uit de prehistorie

Bioluminescentie, het licht geven door levende organismen, is een spectaculair gezicht. Verscheidene biochemici hebben er hun levenswerk van gemaakt om uit te zoeken hoe die vuurvliegjes, algen en bacteriën dat voor elkaar krijgen. De stof die bijna steeds een belangrijke rol speelt, is zuurstof. Voor de rest verschillen de reacties nogal. Dat voor de lichtgevende reactie zuurstof nodig is, heeft geleid tot een aardige theorie die probeert te verklaren waarom bacteriën licht geven. Voor de meeste andere organismen is wel een nuttige reden voor het licht geven te bedenken (het paren bij de vuurvliegjes, het prooi zoeken van diepzeevissen) maar voor bacteriën lijkt licht geven volkomen nutteloos.

Er zijn veel bacteriën die absoluut niet tegen zuurstof kunnen, bijvoorbeeld de bacteriën die in de darm leven. Mogelijk kunnen andere bacteriën daar eigenlijk ook niet tegen, en laten zij met de lichtgevende reactie die vervelende zuurstof weg reageren. Deze eigenschap zou dan misschien herinneren aan een zéér ver verleden, toen de eerste planten begonnen met het produceren van zuurstof op aarde. Licht geven was toen een van de manieren om dit dodelijke gas te overleven.

Een natuurlijke lasershow

Op wolkenloze winternachten kun je



soms een vreemd verschijnsel aan de hemel zien: een bleekgroen, rose of wit schijnsel, in de vorm van langzaam bewegende vlekken of strepen. Het is poollicht, in Europa ook wel Noorderlicht genoemd. Op onze breedte komt het maar een paar keer per jaar voor, maar verder naar het noorden is het bijna elke (winter)nacht te zien. Bij onbewolkte hemel zie je dan een spectaculaire lichtshow van helder groene of roze lichtgordijnen die soms helderder zijn dan de volle maan.

Net als het lichten van de zee, is poollicht 'koud' licht, luminescentie. Beide verschijnselen hebben te maken met zuurstof. Bij de bioluminescentie van de eencelligen in de zee is het zuurstof die onder oplichten door enzymen wordt weggevoerd. Bij poollicht zorgt de zonnewind voor het oplichten. De zon is een erg slordige lichtbron. Niet alleen licht, maar ook allerlei soorten straling en deeltjes komen er vandaan, onder andere elektronen. Als zo'n vlaag elektronen botst met de zuurstof hoog in de atmosfeer van de aarde, licht de zuurstof op, en ontstaat poollicht. Dat deze vorm van koud licht elektroluminescentie heet, ligt dus voor de hand.

Een bliksembuis

Behalve deze spectaculaire vorm van elektroluminescentie, is er ook een heel gewone vorm. Die kun je zien in TL-buizen en spaarlampen. Het heeft deze keer niet met zuurstof te maken, maar met kwik. Dat blijkt nog veel gevoeliger voor botsingen met snelle elektronen. Een TL-buis is een gedeeltelijk luchtledig gezogen buis, met wat kwikdamp en een restje vloeibaar kwik. Tussen de uiteinden kan zo'n hoge spanning gezet worden dat het in de buis gaat bliksemen. En net als bij een gewone bliksem bestaat deze ontlading uit snelle elektronen. In de buis kunnen die botsen met kwik-atomen, dat wil zeggen met de elektronen die de buitenkant van het kwik-atoom vormen. Die kwik-elektronen krijgen zo'n klap van hun snelle soortgenoten, dat ze op een heel verkeerde plaats in het atoom terecht komen of zelfs uit het atoom getikt worden. Na enige tijd komen ze wel terug naar hun oude plek, maar voordat ze weer rustig op hun plaats zitten, moeten ze hun overvloedige energie kwijt. Dat kan door het uitstralen van licht.

Jammer genoeg is dat 'kwiklicht' voor het grootste deel ultraviolet licht, en dus bijna onzichtbaar. Alleen een restje paarsblauw licht verraadt dat de lamp aan is. Het is het licht dat je ziet bij caissières die een kwiklamp hebben om bankbiljetten te controleren, en het vreemde licht van de 'black light' lampen in de disco.

Dat een gewone TL-lamp heel ander licht uitstraalt, is te danken aan weer een ander proces. Na bioluminescentie en elektroluminescentie kunnen we nu fotoluminescentie aan onze koudlichtverzameling toevoegen. Dat betekent zoveel als: het uitzenden van licht door bestralen met licht.

Kleurverschuivers

Wie wel eens nauwkeurig een TL-lamp bekeken heeft, zal het misschien zijn opgevallen dat het licht niet uit het binnenste van de lamp komt, maar uit het glas van de buis lijkt te komen. Dat klopt, aan de binnenkant van de buis zit een dun laagje van een speciale stof die gevoelig is voor het ultraviolette licht van het stralende kwik. De elektronen in deze stof nemen de energie van dat licht op, en gaan met die extra energie 'op stap', buiten hun normale plaats. Na een tijdje komen ze echter weer terug op die plaats en dan moeten ze ook de extra energie weer inleveren. Als er verder niets gebeurt, is dat precies de energie die ze ook opgenomen hadden, dus precies dezelfde kleur ultraviolet licht. Maar de stof die in TL-buizen wordt gebruikt, doet iets bijzonders. De elektronen van deze stof zijn, voordat ze hun extra energie weer inleveren bij terugkeer naar hun juiste plaats, een beetje van die energie kwijtgeraakt. Daardoor is het licht dat ze uitstralen bij terugkomst minder energierijk dan ultraviolet: het is veranderd in zichtbaar licht.

Er komt heel wat scheikunde aan te pas om stoffen te vinden die precies die speciale eigenschappen hebben. Het zout $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{FCl}$ werd veel gebruikt. Deze stof gaat pas zichtbaar licht uitzenden als een paar calcium-ionen zijn vervangen door mangaan en antimoon-ionen. De eigenschappen van een zout hangen namelijk samen met alle ionen die in een kristalletje van het zout zitten, ook van ionen die maar heel weinig voorkomen. Door een slimme samenstelling van de fo-





pinpassen vertonen allerlei verrassende fluorescerende afbeeldingen onder UV licht



Een bankbiljet onder gewoon en UV licht. Duidelijk lichten de fluorescerende vezels op.



toluinescerende stoffen op de wand van TL-buizen, kan de lampenfabrikant het ultraviolette kwiklicht omzetten in elke gewenste kleur. Van warm-geel tot helder daglicht.

Inmiddels worden in TL-buizen zouten gebruikt die metaal-ionen bevatten uit onbekende uithoeken van het periodiek systeem. In elk scheikunde-lokaal hangt zo'n periodiek systeem, met onderaan twee rijen elementen die in het scheikundeboek niet of nauwelijks besproken worden. In de bovenste van die twee onderste rij staan de zogenoemde zeldzame-aard-metalen met schilderachtige namen als gadolinium (Gd), europium (Eu), cerium (Ce), terbi-um (Tb) en samarium (Sm). Onbekende elementen, die rustig hun lichtend werk doen in vrijwel alle TL-buizen.

Black light

Het blijft een fascinerend gezicht, het oplichten van (witte) kleren onder de 'black lights' van een disco. Niet alleen je kleren lichten op, ook papier wordt schitterend wit. En wie zich heeft opgeschilderd met speciale inkt, geeft zelfs in allerlei kleuren licht.

Onder bestraling met UV-licht uit de 'black lights' komt aan het licht dat kleding en papier vaak is behandeld met lichtgevende stoffen met dezelfde werking als die in TL-buizen. Bij kleren gaat het om optische witmakers die aan wasmiddelen worden toegevoegd om gewassen kleding witter te laten lijken dan het eigenlijk is. Optische witmakers zijn net als de stoffen in een TL-buis, kleurverschuivers. De witmakers absorberen niet-zichtbaar ultraviolet licht uit het zonlicht, en zetten dat om in zichtbare kleuren, vooral blauw. Samen met de kleur van een beetje vergeeld textiel geeft dat in zonlicht de indruk van schitterend helder wit. "Goed gewassen" denk je, en die gedachte was nu net de bedoeling van de wasmiddelenfabrikant. Zonder zonlicht, maar met het ultraviolette licht van 'black light' lampen van een disco, zie je alleen het heldere blauwe licht van de optische witmakers. Vrijwel alle wasmiddelen kleuren wasgoed bij met deze witmakers. Ze hechten meestal goed aan textiel en voordat je ze er echt uit hebt, moet je het textiel vaak gewassen hebben in een wasmiddel zonder witmaker. Je kunt gemakkelijk controleren dat

deze stoffen inderdaad uit de wasmiddelen komen, neem maar eens een klein beetje waspoeder mee naar een disco of bekijk op school zo'n wasmiddel onder de ultraviolette-lamp. Ook zou je eens kunnen proberen of een zonnebrandmiddel (met een zo hoog mogelijke beschermingsfactor) op een wit kledingstuk zoveel ultraviolet licht absorbeert dat het niet meer oplicht met 'black light'.

Valsemunters met zonnebrand

Er zijn nogal wat winkels waarbij na ontvangst van een bankbiljet, het biljet even onder een ultraviolette-lamp wordt gehouden. Gewoon papier licht dan direct helder wit op, 'echt' bankbiljettenpapier niet. In bijna alle gewone papiersoorten zijn optische witmiddelen verwerkt, vergelijkbaar met de witmakers in waspoeder. Gewoon papier is van nature een beetje geel, en met optische witmakers is dat mooi wit te krijgen.

In bankbiljettenpapier wordt als uitzondering geen witmaker gebruikt. Als een bankbiljet oplicht, is er een oplichter aan het werk.

Wie tot nu toe goed heeft begrepen hoe de optische witmakers in papier werken, zou op het idee kunnen komen om valse bankbiljetten in te smeren met zonnebrandmiddel, zodat ze net als echte biljetten, niet meer oplichten bij de kassa. Geldmakers hebben rekening gehouden met deze zonnebrandtruc. Daarom zitten er allemaal kleine vezeltjes in die wel met witmakers zijn behandeld. Die fijne vezeltjes lichten bij de caissière helder op. Als bij het biljet waarmee je betaalt, geen lichte vezeltjes zijn te zien, heb je dus heel wat uit te leggen.

Merkstiften

Het zal nu niet meer verbazen dat een merkstift met z'n heldere kleuren op hetzelfde fotoluminescentie-principe berust. Net als bij witmakers in kleding, of de poeders in een TL-buis, verschuift een stof in de inkt van merkstiften het licht naar een andere kleur, meestal geel of groen. Een gewone gele viltstift absorbeert blauw uit het daglicht, en kaatst de overblijvende kleuren terug. Samen lijken die dan geel. De gele kleur kan dus nooit helderder zijn dan het witte licht dat er op valt. Maar een goede merkstift kan méér geel licht uitstralen dan op de

inkt valt, doordat ultraviolet en blauw licht omgezet wordt in extra geel licht. Dat zo'n merkstift schijnt op te lichten is dus geen gezichtsbedrog. Ze zijn geler dan geel. En omdat het oog het meest gevoelig is voor geel, valt zo'n kleur extra op.

Er zijn ook nep-merkstiften te koop die alleen een licht-gekleurde inkt bevatten, zonder echte 'kleurverschui-vers'. Voor wie het zeker wil weten, een black light of een UV lamp geeft op een overtuigende manier het antwoord: een 'echte' merkstift licht dan fel op, de kleur van een 'nep'merkstift verdwijnt helemaal.

Fluor en fluorescentie

Fluorescerende kleuren worden ze vaak genoemd, die helder oplichtende kleuren. Je zou verwachten dat dit woord fluorescentie afgeleid is van fluor, het element dat in fluoride tegen tandbederf gebruikt wordt. Dat is niet zo, maar de woorden hebben wel iets met elkaar te maken. Ze zijn allebei vernoemd naar een stof die al eeuwenlang gebruikt wordt als vloeimiddel om het smeltpunt van glas bij het glasblazen omlaag te brengen. Vloeispaat heet die stof, en tegenwoordig weten we dat het calciumfluoride CaF_2 is. De wetenschappelijke naam van vloeispaat is fluoriet (van fluere, vloeien). Toen het ruim 100 jaar geleden lukte om het in elementen te ontleden, koste het niet veel moeite om een naam te vinden: fluor, het element uit het vloeimiddel fluoriet. Behalve dat je er fluor-gas van kunt maken, hebben kristallen vloeispaat nog een heel andere eigenschap: als ze met blauw of UV-licht bestraald worden, lichten ze helder geel op. Fluoriet-kristallen waren lang het beste voorbeeld van kleurverschuiving, het oplichten met een andere kleur dan waarmee ze bestraald werden. Zodat het voor de hand lag om deze eigenschap te vernoemen naar fluoriet: fluorescentie.

Lichtdrager fosfor

Naast fluor is er nog een element waarvan de naam iets te maken heeft met lichtgeven. Oplichtende stoffen werden al in de middeleeuwen fosforen genoemd. De naam fosfor betekent namelijk licht-drager. Veel van die lichtgevendende stoffen blijken achteraf fosforverbindingen te zijn. Toen het element zelf in 1669 werd ontdekt,

kreeg het de naam fosfor. Het begrip fosforescentie wordt nu gebruikt voor een verschijnsel dat je wel kent van die lichtgroene lichtknopjes, plaatjes en stickers: ze geven licht in het donker, lang nadat het licht uitgedaan is. Lang wil in dit verband zeggen een paar tellen tot soms wel een kwartier.

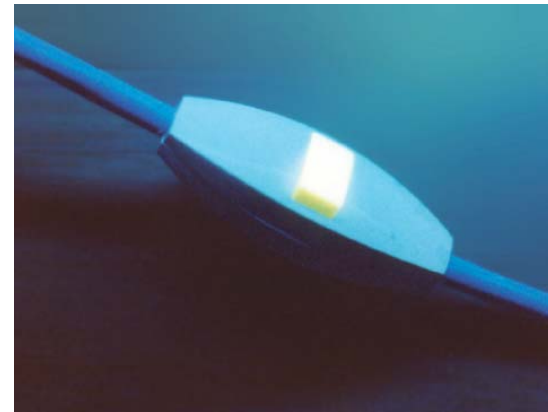
Als het licht de hele nacht blijft gloeien, zit er meestal iets anders achter. Dan zorgt een chemische reactie (het lichten van de zee) of een radioactieve stof (radium werd vroeger in horlogewijzers gebruikt) voor de licht-energie.

Dat is een heel overzichtelijke indeling: fluorescentie (kleurverschuiving tijdens belichten) en fosforescentie (nalichten), als er niet een onderzoeker was geweest die in een publicatie dat middeleeuwse woord fosforen gebruikte voor de fluorescerende stoffen die hij gemaakt had voor TL-buizen. Dat was niet slim, het was natuurlijk veel logischer geweest om die stoffen fluoroforen te noemen. En omdat het nog nooit rechtgezet is, zitten we nu met fluorescerende fosforen. Als er ooit TL-buizen komen die gewoon licht blijven geven nadat je ze hebt uitgedaan, dan heten de stoffen die daarvoor zorgen, pas terecht fosforen.

Stralende postzegels

De goedkoopste fosforescerende plaatjes zijn te koop bij het postkantoor: alle postzegels zijn tegenwoordig fosforescerend. Postzegelhobbyisten kennen het trucje al lang: in een donkere kamer of kelder houd je de zegels (of een brief met een postzegel) vlak onder een felle lamp terwijl je je ogen dichthoud. Dan doe je de lamp uit en je ogen open. Duidelijk zie je de postzegels in het donker stralen.

Dat de TPG een bedoeling heeft met nalichtende zegels, is duidelijk. Brieven worden daarmee gesorteerd: ze passeren een felle lamp, en even verderop kijkt een lichtgevoelige cel waar de brief nalicht. Een niet-nalichtende brief moet achterstevoren gedraaid worden, een brief die in de linksonderhoek nalicht, moet ondersteboven gezet. Als de brief met de postzegel rechtsboven staat, is ook de vermoedelijke plaats van de postcode bekend. Andere lichtgevoelige cellen proberen die postcode te vinden, te lezen (en als je niet al te beroerd schrijft, lukt dat meestal wel) en te vertalen in een soort streepjescode die daarna met



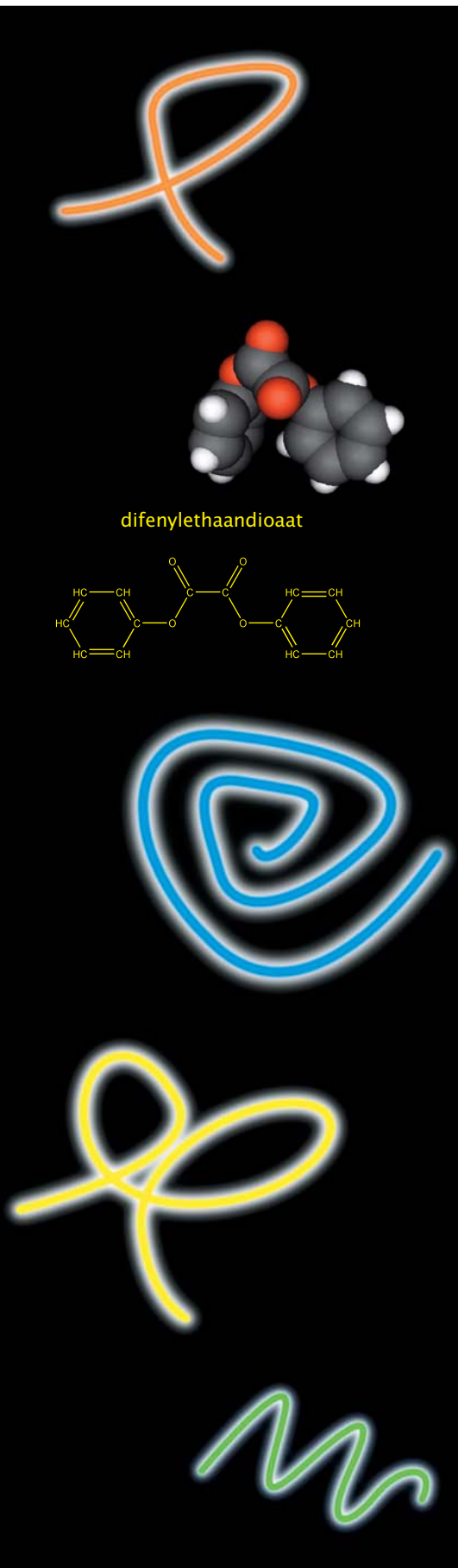
Een fosforescerend lichtknopje



Postzegels zijn fosforescerend



Een fluorescerende postcode



difenylethaandioaat

oranje inkt onderaan de brief wordt gespoot. Dat die inkt fluorescerend is, zie je zo. Daarmee is een brief een mooi voorbeeld van de beide soorten foto-luminescentie: een fosforescerende (nalichtende) postzegel en een fluorescerende postcode.

Verboden licht

De verklaring van fosforescentie is wat lastiger dan van fluorescentie. Ook nu wordt een elektron uit een molecuul van z'n vaste plek gewipt. Soms is de energie van gewoon licht al voldoende, en is niet eens energie-rijk UV-licht nodig. Dat elektron wil na wat omzwervingen weer terug naar z'n plaats. Helaas is het elektron bij z'n uitstapje iets ernstigs overkomen. Om dat goed te kunnen invoelen stellen we ons voor dat een elektron een soort tolletje is dat om z'n as draait. Die losgeslagen elektronen in een fosforescerende stof zijn, na de klap die ze van opvallend lamplicht gekregen hebben, precies andersom gaan tolleren. Bijvoorbeeld rechtsom in plaats van linksom. En passen daarvoor niet meer op hun oude plek, want daar hoort de oude toldraaiing bij.

Het vanzelf omdraaien van de tolrichting is net zo onlogisch als dat een gewone tol van rechtsom plotseling linksom gaat draaien. Wetenschappers noemen zo'n (vrijwel) onmogelijke gebeurtenis 'verboden'. Gelukkig overtreedt een elektron dat verbod wel eens, vaak binnen een paar seconden, soms pas na minuten. Dan draait ineens zijn draairichting om, en kan hij eindelijk naar z'n plaats terug met uitzending van de licht-energie die hij nog over had. Het nalichten van een fosforescerende stof is dus eigenlijk 'verboden' licht. Bovendien is de kleur, net als bij fluorescentie, verschoven. Het verschil tussen fluorescentie en fosforescentie zie je pas als je het licht uitdoet: fluorescentie gaat tegelijk met het licht uit, maar fosforescentie blijft gewoon aan.

Lightsticks

In de meeste campingwinkels zijn ze wel te koop, lightsticks of breekstaafjes. En soms worden ze op braderieën en kermissen verkocht door mensen die behangen met grote, lichtgevende ringen de aandacht trekken. Wie, nieuwsgierig geworden, zo'n lightstick koopt en naar lampjes, batterij-

tjes of schakelaars zoekt, vindt niets daarvan.

Zo'n lightstick bestaat uit een stevig stuk doorzichtige slang, dat je voor gebruik een beetje moet buigen totdat er binnenin de slang een langwerpige, dun glazen buisje breekt. Op dat moment begint de vloeistof in de slang helder te gloeien, met een blauw, geelgroen of rood licht. Urenlang houdt dat licht aan, maar dan begint het langzaam uit te doven. Het is een chemische reactie, en als die afgelopen is, kan de lightstick weggedaan worden. Hoeft niet eens bij het schadelijk afval, de stoffen zijn niet giftig. Wat niet op de verpakking staat, dat je de lightstick voor speciale effecten nog best kunt gebruiken, namelijk met het black light in de disco. Dan komt de dode lightstick plotseling weer enthousiast tot leven, en begint te stralen met de oorspronkelijke kleur alsof er niets aan de hand is.

Voor een scheikundige die begrijpt wat er precies gebeurt bij een lightstick is dit niet zo'n verrassing. In de lightstick zit een fluorescerende stof, die onder UV-licht sterk oplicht. Hoe je zo'n stof kunt laten lichtgeven zonder UV-bestraling, hebben we van de vuurvliegjes geleerd. Er zijn een paar exotherme reacties die de overvloedige energie niet zoals 'normale' reacties, in warmte omzetten. In plaats daarvan geven ze de energie door aan een fluorescerende stof, die daarmee gaat lichtgeven alsof er een UV-lamp in de buurt is. Chemiluminescentie heet dat: lichtgeven als gevolg van een chemische reactie.

Als het glazen buisje in de lightstick breekt komen twee stoffen bij elkaar, beginnen te reageren, geven energie af en zetten daarmee de fluorescerende stof aan het werk. Maar als de reactie afgelopen is, is die fluorescerende stof nog steeds aanwezig, en begint direct weer met helder op te lichten onder UV-licht.

Niet te snel weggooien dus, die gebruikte lightsticks.

Lichtgevende muizen en andere toepassingen

Helder lichtgroen stonden ze op de foto en waren ze te zien op TV. Muisen die duidelijk oplichtten onder UV-bestraling. In het bijbehorende commentaar werd hoog opgegeven over de wetenschappelijke prestatie,

maar het aantal zinvolle toepassingen is voorlopig nogal beperkt.

Eigenlijk maar één. Daarbij gaat het om de inbouw van een nieuw gen met een nieuwe eigenschap in een cel. Bijvoorbeeld een gen dat een aardappel bestand moet maken tegen één of ander ongedierte. Het is soms erg moeilijk om vast te stellen dat zo'n nieuwe eigenschap inderdaad is ingebouwd en ook werkt. Dat is met een fluorescentie-gen mooi te controleren. Dat gen zelf geeft geen licht: het bevat alleen het recept hoe de cel de fluorescerende stof in elkaar moet zetten. In het geval van de muizen hadden de onderzoekers het recept gehaald uit een lichtgevende wallensoort.

Dit gen kan vastgemaakt worden aan het andere gen dat ingebouwd moet worden, en gaat samen een celkern in. Als het organisme dat uit die cel groeit, (bijvoorbeeld een aardappel) gaat lichtgeven onder UV-licht, is het recept voor het lichtgevende eiwit goed overgekomen, en zal ook het recept tegen het ongedierte wel uitgevoerd zijn.

Of lichtgevende aardappels onschadelijk zijn is nog niet uitgezocht. Je hoeft in elk geval niet bang te zijn dat je zelf gaat licht geven nadat je dit soort aardappels hebt gegeten. Het lichtgevende eiwit wordt zoals alle eiwitten netjes in de maag afgebroken. Het is wat anders als in de toekomst een gen ingebouwd wordt bij iemand tegen een enge ziekte, en het ziekenhuis wil op dezelfde manier weten of het gen inderdaad aanslaat. Zo iemand maakt het natuurlijk helemaal in een discotheek.

Lichtgevende muizen zijn iets van de laatste tijd, maar al 100 jaar geleden gebruikte een Franse onderzoeker kolven met lichtgevende éencelligen om een grote hal op de wereldtentoonstelling te verlichten. Het moet een spectaculair gezicht geweest zijn, maar dit 'levende' licht heeft elektrisch licht niet kunnen verdringen. Steeds als het licht zwakker wordt, moet er een spateltje visvoer of iets dergelijks in de lamp, en moet er lucht in de vloeistof geschud worden. Een lichtschaakelaar is dan handiger.

In de huiskamer is het 'levend' licht geen doorslaand succes geworden, maar in het laboratorium worden de reacties die organismen gebruiken

om licht te maken, volop gebruikt. Een van de onderzoekers die veel hiermee werkt, is Cees Gooijer, die scheikundig onderzoek doet aan de Faculteit der Exacte Wetenschappen van de VU.

Hij vertelt: "Fluorescentie wordt veel in de scheikunde toegepast. Er zijn heel veel fluorescerende stoffen, die zijn helemaal niet zeldzaam. Zo gauw je een benzeenring hebt met een aminogroep, een methoxygroep of iets dergelijks, of je hebt een paar benzeenringen aan elkaar, dan fluoresceert dat al prima. Vooral het kunnen aantonen van moleculen met meerdere benzeenringen aan elkaar kan belangrijk zijn, want die stoffen zijn vaak kankerverwekkend.

We kunnen die vanzelfsprekend met een UV-lamp aantonen, want dan gaan ze paars, blauw of groen oplichten. Maar hoe nauwkeuriger je wilt werken, hoe meer je last krijgt van die felle UV-lamp die er naast staat om de stof te belichten. Je hebt altijd een beetje strooilicht, en je krijgt het nooit echt donker.

Veel beter gaat dat met het mengsel dat in lightsticks zit, dus met chemiluminescentie: een beetje waterstofperoxide met difenylxalaat. Dat reageert exotherm met elkaar en geeft de energie af aan fluorescerende stoffen, als die in de buurt zijn.

Dat oplichten gebeurt nu in het absolute donker, en dat betekent dat je een gigantische gevoeligheid kunt bereiken.

Diezelfde gevoeligheid heb je in principe ook bij het aantonen van waterstofperoxide, want die stof is nodig voor de exotherme reactie die het oplichten in gang zet.

Kijk, waterstofperoxide in haarbleekmiddelen kunnen we wel op een andere manier aantonen, maar heel lage concentraties waterstofperoxide bij enzymreacties, dat gaat heel mooi met chemiluminescentie. In de cel wordt waterstofperoxide gemaakt door sommige enzymen, als tussenstap tijdens de verbranding van voedingsstoffen met zuurstof. Die hoeveelheden zijn zo klein, dat ze eigenlijk alleen met chemiluminescentie goed te zien zijn. Voor het bestuderen en leren begrijpen van processen in cellen zoals in ons eigen lichaam, zijn reacties die lichtgeven echt belangrijk."

