

Laser ziet vervalsers

De laser is een van de meest krachtigste instrumenten die de mensheid kent. Het wordt gebruikt in de geneeskunde, de landbouw, de industrie, de kunst en de wetenschap. In de wetenschap wordt de laser gebruikt om de structuur van moleculen te onderzoeken. Dit wordt gedaan door de laser te richten op een molecuul en de verstrooide lichtstralen te meten. Dit proces wordt bekend als Raman-scattering. Het is een zeer nauwkeurige methode om de structuur van moleculen te bepalen. Het wordt gebruikt om de structuur van kleine moleculen te bepalen, maar ook om de structuur van grote moleculen te bepalen. Het wordt gebruikt om de structuur van kleine moleculen te bepalen, maar ook om de structuur van grote moleculen te bepalen.

Een Spoor van Licht

De wetenschap van de lichtstraling is een van de meest fascinerende gebieden van de natuurkunde. Het wordt gebruikt om de structuur van moleculen te onderzoeken. Dit wordt gedaan door de laser te richten op een molecuul en de verstrooide lichtstralen te meten. Dit proces wordt bekend als Raman-scattering. Het is een zeer nauwkeurige methode om de structuur van moleculen te bepalen. Het wordt gebruikt om de structuur van kleine moleculen te bepalen, maar ook om de structuur van grote moleculen te bepalen.

Chemie van het licht

De wetenschap van de lichtstraling is een van de meest fascinerende gebieden van de natuurkunde. Het wordt gebruikt om de structuur van moleculen te onderzoeken. Dit wordt gedaan door de laser te richten op een molecuul en de verstrooide lichtstralen te meten. Dit proces wordt bekend als Raman-scattering. Het is een zeer nauwkeurige methode om de structuur van moleculen te bepalen. Het wordt gebruikt om de structuur van kleine moleculen te bepalen, maar ook om de structuur van grote moleculen te bepalen.

De wetenschap van de lichtstraling

De wetenschap van de lichtstraling is een van de meest fascinerende gebieden van de natuurkunde. Het wordt gebruikt om de structuur van moleculen te onderzoeken. Dit wordt gedaan door de laser te richten op een molecuul en de verstrooide lichtstralen te meten. Dit proces wordt bekend als Raman-scattering. Het is een zeer nauwkeurige methode om de structuur van moleculen te bepalen. Het wordt gebruikt om de structuur van kleine moleculen te bepalen, maar ook om de structuur van grote moleculen te bepalen.

2005 • Een Spoor van Licht

Vuurvliegjes sporen gif op

De wetenschap van de lichtstraling is een van de meest fascinerende gebieden van de natuurkunde. Het wordt gebruikt om de structuur van moleculen te onderzoeken. Dit wordt gedaan door de laser te richten op een molecuul en de verstrooide lichtstralen te meten. Dit proces wordt bekend als Raman-scattering. Het is een zeer nauwkeurige methode om de structuur van moleculen te bepalen. Het wordt gebruikt om de structuur van kleine moleculen te bepalen, maar ook om de structuur van grote moleculen te bepalen.

Betalen met europium

De wetenschap van de lichtstraling is een van de meest fascinerende gebieden van de natuurkunde. Het wordt gebruikt om de structuur van moleculen te onderzoeken. Dit wordt gedaan door de laser te richten op een molecuul en de verstrooide lichtstralen te meten. Dit proces wordt bekend als Raman-scattering. Het is een zeer nauwkeurige methode om de structuur van moleculen te bepalen. Het wordt gebruikt om de structuur van kleine moleculen te bepalen, maar ook om de structuur van grote moleculen te bepalen.

De wetenschap van de lichtstraling

De wetenschap van de lichtstraling is een van de meest fascinerende gebieden van de natuurkunde. Het wordt gebruikt om de structuur van moleculen te onderzoeken. Dit wordt gedaan door de laser te richten op een molecuul en de verstrooide lichtstralen te meten. Dit proces wordt bekend als Raman-scattering. Het is een zeer nauwkeurige methode om de structuur van moleculen te bepalen. Het wordt gebruikt om de structuur van kleine moleculen te bepalen, maar ook om de structuur van grote moleculen te bepalen.

De wetenschap van de lichtstraling

De wetenschap van de lichtstraling is een van de meest fascinerende gebieden van de natuurkunde. Het wordt gebruikt om de structuur van moleculen te onderzoeken. Dit wordt gedaan door de laser te richten op een molecuul en de verstrooide lichtstralen te meten. Dit proces wordt bekend als Raman-scattering. Het is een zeer nauwkeurige methode om de structuur van moleculen te bepalen. Het wordt gebruikt om de structuur van kleine moleculen te bepalen, maar ook om de structuur van grote moleculen te bepalen.

CSI

Het is een bekend beeld voor wie vaak naar TV-series kijkt als *Crime Scene Investigation*. Onderzoekers die op zoek zijn naar sporen, kruipen door een kamer en vernevelen uit een spuitbus een vloeistof op verdachte plekken. Na enkele seconden verschijnt er in het schemerdonker plotseling een helder groen-blauw lichtgevende vlek. Veelbetekenend kijken de onderzoekers elkaar aan, en de kijker weet: er zijn bloedsporen gevonden.

Het moet voor een TV-ploeg een hele truc zijn om deze scène levensecht te brengen. Het licht dat een bloedspoor geeft, is meestal maar erg zwak en is helemaal niet te zien met felle TV-lampen aan. Het is het beste als het aardedonker is, maar dan is niet te zien waar je moet spuiten met het reagens. Bijlichten met een rode lamp is mogelijk als je zelf door een blauw stuk glas kijkt. Blauw glas houdt rood licht tegen maar laat het groen-blauwe schijnsel door. Dat is de reden dat onderzoekers vaak een gekleurde bril op hebben of door gekleurd glas kijken.

Het oplichten van bloedsporen is het gevolg van een chemische reactie. Het reagens dat de onderzoekers gebruiken, bevat luminol, een stof met de bijzondere eigenschap dat de energie die ontstaat bij reactie met waterstofperoxide, niet als warmte maar als licht vrijkomt. De reactie zelf is erg traag, zodat de hoeveelheid licht die per seconde wordt uitgezonden te gering is om waar te nemen. De reactie is echter wel zichtbaar als er een katalysator toegevoegd wordt. Een heel goede katalysator is ijzer zoals dat voorkomt in hemoglobine in bloed. Ijzer is zo'n goede katalysator, dat zelfs sporen die niet met het blote oog te zien zijn, het luminol laten oplichten.

Een nadeel is dat luminol vrij snel uitgereageerd is: na een paar minuten dooft het licht. Verder kan het spuiten met de vloeistof andere sporen uitwisen. In de praktijk gaat het bloedsporenonderzoek dan ook iets minder gemakkelijk dan bij *Crime Scene Investigation*.

De luminolreactie is ook te gebruiken om fraaie proeven in het laboratorium of op school te doen. Op bijgaande foto gieten twee leerlingen twee vloeistoffen bij elkaar. De ene vloeistof bevat een luminol/waterstofperoxide mengsel, hetzelfde mengsel dat onderzoekers gebruiken. De andere vloeistof bevat een oplossing van een ijzerzout als vervanger van bloed. Als

de vloeistoffen samenkomen in de trechter, begint de lichtgevende reactie, en stroomt er een spectaculaire straal vloeibaar licht in de kolf.

Een reactie waarbij licht vrijkomt, is een vrij zeldzaam verschijnsel in de scheikunde. Bijna altijd wordt een overschot aan energie bij een reactie omgezet in warmte. Als er heel veel warmte vrijkomt, zoals bij een verbranding, kan de stof gaan gloeien, en daardoor licht uitstralen. Maar bij oplichtende bloedsporen is iets anders aan de hand: het blijft koud. Bij de reactie van luminol met waterstofperoxide wordt in eerste instantie een stof gevormd waarbij één elektron in de nieuwe verbinding niet goed zit. Als dat elektron daarna plotseling naar de juiste plek schiet (zonder dat de stof zelf verandert), straalt het de overtollige energie uit als licht.

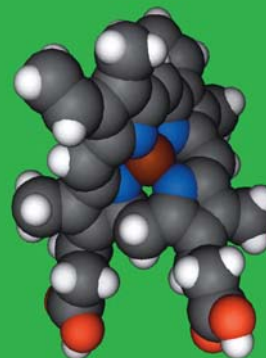
Voor scheikundigen is licht de belangrijkste manier om stoffen te zoeken of te onderzoeken. Er is met licht onvoorstelbaar veel mogelijk. Stoffen kunnen licht uitstralen, licht absorberen of opvallend licht op een andere manier weer uitstralen. Haast elke stof speelt op een eigen manier met licht en verraadt zich zo aan de scheikundige die op zoek is naar dit spoor van licht.

Ook bij bloedsporenonderzoek, het opsporen van vergiftigingen, valse bankbiljetten en valse checks speelt licht een hoofdrol.

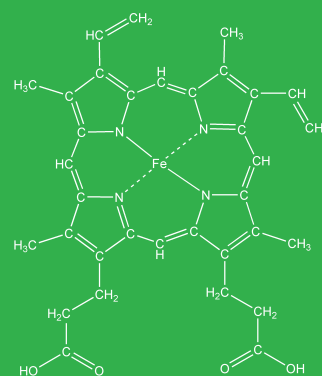
Vuurvliegjes sporen gif op

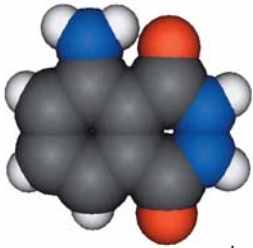
Eind 2004 leverden verkiezingen in de Oekraïne een nieuwe president op: Victor Joesjtsjenko. Deze nieuwe president had een erg gehavend en opgezwollen gezicht, iets wat tijdens de verkiezingscampagne nog niet zo was. Lang was onduidelijk waaraan het pokdalige uiterlijk van Joesjtsjenko te wijten was, maar uiteindelijk gaf een test van het Amsterdams bedrijf BioDetection Systems B.V. de uitslag. Het bedrijf, dat geleid wordt door Bram Brouwer, hoogleraar aan de VU, kwam door een lichtgevende reactie op het spoor van een giftig dioxine. Joesjtsjenko was dus vergiftigd!

De reactie lijkt op de reactie van luminol op bloedsporen, maar in plaats van luminol is de lichtgevende stof nu luciferine, de stof die vuurvliegjes gebruiken om 's avonds licht te geven. En in plaats van ijzer-ionen als katalysator, is het enzym nu luciferase, dat vuurvliegjes gebruiken om het licht aan en uit te schakelen. Er zijn meer verschillen. Bij het onderzoek naar dioxine wijst het op-

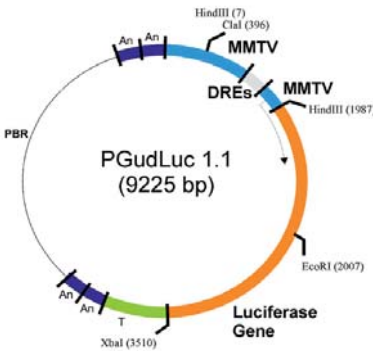
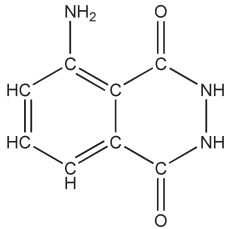


Hemoglobine





Luminol



gloeiende licht niet de stof zelf aan, maar laat alleen zien dat een cel last heeft van een stof. Het lijkt een beetje op middeleeuwse voorproevers. Net zoals tegenwoordig personen die zich bedreigd voelen bodyguards hebben, had de heersende klasse vroeger voorproevers in dienst. De taak van een voorproever is niet om te proeven welk gif in het voedsel zit, maar of er gif in zit. Het gaat de voorproever en zijn werkgever niet om het aantonen van één bepaalde giftige stof, maar om het effect van het eten van de maaltijd. Voorproever was dus een riskant beroep, en het is te begrijpen dat het beroep inmiddels is uitgestorven.

Op dezelfde manieren kun je dioxine opsporen. Je kunt langdurig en duur onderzoek doen om een bepaald gif aan te tonen (er zijn heel veel verschillende gifstoffen), maar je kunt ook een lichaamscel gebruiken om net als een voorproever snel alarm te slaan. Dat is de manier die een groep onderzoekers in Wageningen heeft ontwikkeld en nu door het bedrijf van Bram Brouwer toegepast wordt.

Voor je zo'n methode kunt bedenken moet je eerst weten wat in het lichaam met dioxine-moleculen gebeurt. Vooral in levercellen zijn opsporingseiwitten actief die op zoek zijn naar verdachte moleculen. Ons voedsel bestaat van nature uit een enorm aantal verschillende stoffen. Sommige daarvan zijn schadelijk en moeten snel door de lever worden afgebroken. Het opsporingseiwit bindt zo'n verdacht molecuul, en gaat er mee naar de celkern. Daar schakelt het eiwit een gen in met het juiste recept om de schadelijke stof om zeep te brengen. Er zijn veel verschillende opsporingseiwitten, elk voor een eigen groep schadelijke stoffen en in staat om het goede recept voor afbraak van die stoffen te vinden. Ook voor gifstoffen als dioxine is een opsporingseiwit. Het opsporingseiwit pakt het molecuul, en gaat er mee naar de celkern. In de celkern wordt het gen afgelezen met het recept voor de afbraak van de meegebrachte gifstof.

Met deze kennis is het mogelijk om de aanwezigheid van dioxine-achtige stoffen aan te tonen. Daarvoor worden speciaal geprepareerde levercellen van een rat gebruikt, compleet met opsporingseiwitten voor dioxine-achtige schadelijke stoffen. In die levercellen zit het gen met het recept voor de afbraak van deze gifstoffen.

Maar er zit meer in. Achter dat gen (blauw op de afbeelding) is een ander gen ingebouwd dat vuurvliegjes gebruiken om licht te geven (oranje op de afbeelding).

Als een beetje van een lichaamsvloeistof dat dioxine bevat, op deze speciale levercellen wordt gedruppeld, zet het opsporingseiwit niet alleen het gen aan voor de aanval op de schadelijke stof, maar automatisch ook het gen dat luciferase maakt. Na het toevoegen van vuurvliegjes-luciferine lichten de cellen op die luciferase hebben gemaakt. Daarmee geven ze een duidelijk signaal dat die cellen last hebben van een schadelijke stof.

Op deze manier zijn snel grote aantallen vloeistoffen te meten. De vloeistoffen die na de behandeling oplichten bevatten een schadelijke stof. Dat kan dioxine zijn, maar ook een andere schadelijke stof waarvan het molecuul op dioxine lijkt. Daarna moeten de vertrouwde nauwkeurige scheikundetechnieken eraan te pas komen, om uit te zoeken of het inderdaad om dioxine gaat en om welk dioxine.

In het geval van Joesjtsjenko zette het licht van het luciferine de onderzoekers snel en duidelijk op het spoor van een vergiftiging met een dioxine-achtige stof. Blijft de vraag waarom de daders juist dioxine hebben gebruikt voor hun daad. Vermoedelijk hebben ze gehoopt dat de oorzaak niet snel gevonden zou worden, omdat dioxine in tegenstelling tot bijvoorbeeld arsenicum geen onderdeel vormt van standaard giftesten. Die gedachte was juist: wekenlang hebben laboratoria gezocht naar bekende gifstoffen en vonden niets.

Ze hadden zich waarschijnlijk niet gerealiseerd dat dioxine een vrijwel onafbrekbare verbinding is die maar heel langzaam wordt uitgescheiden, zodat de stof ook na lange tijd nog kan worden aangetoond.

Hun grootste blunder was echter dat ze niet wisten hoe schadelijk dioxine eigenlijk is: de stof staat al lang als buitengewoon giftig in de boeken, maar er is onder mensen nog nooit een dodelijk slachtoffer gevallen door directe dioxinevergiftiging.

Alle gegevens komen van dieren die door dioxine vergiftigd zijn. De acute giftigheid van dioxine is kennelijk overschat door de daders, daardoor kon Joesjtsjenko de vergiftiging overleven.

Vals geld

Niet alleen bloedvlekken laten een spoor van licht achter voor een onderzoeker, ook een vervalst bankbiljet verradt zich door licht. Wie achter de kassa ooit een bankbiljet heeft bekeken onder een UV-lamp, weet dat. De energie voor het lichtgevende effect komt nu niet van een scheikundige reactie, maar door de energierijke bestraling met UV-licht. In bijna alle soorten papier zit een witmaker: een stof die in staat is om ultraviolet licht (van bijvoorbeeld de zon of TL-verlichting) op te nemen en blauw licht uit te zenden. Dit blauwe schijnsel compenseert de normale lichtgele kleur van papier waardoor het helder wit lijkt. Een gekopieerd bankbiljet licht onder een UV-lamp direct helder op omdat kopieerpapier altijd witmaker bevat. Echte bankbiljetten zijn gemaakt van papier zonder witmakers en lichten dus niet op. Gewone thuiskopieerders lopen dus direct tegen de (UV)-lamp bij controle. Je moet al een echte crimineel zijn om aan papier zonder witmakers te kunnen komen.

Betalen met europium

Wie een bankbiljet onder UV-licht bekijkt, ziet het papier dus niet oplichten, maar ziet wel andere sporen van licht. De vlag en de kaart van Europa blijken gedrukt met een lichtgevende (fluorescerende) inkt en in het papier zitten kleine vezeltjes waarvan sommige met een rood-fluorescerende inkt behandeld zijn. Ook een aantal gele sterren op het bankbiljet licht fel rood op onder UV licht.

Voor die rood fluorescerende inkt heeft de Europese Centrale Bank een toepasselijke stof gekozen. Enkele Utrechtse scheikundigen hebben het rode licht bestudeerd dat een eurobiljet uitzendt na bestraling met UV-licht. Zij kwamen tot de conclusie dat deze kleur zeer waarschijnlijk te danken is aan een europium-complex. Europium (atoomnummer 63) is een van de zeldzame aardmetalen, een serie elementen die apart onderaan het Periodiek Systeem staat, en daar meestal de lanthaniden genoemd worden.

Europium (vaak in de vorm van een zout met Eu_2O_3) wordt, net als enkele andere lanthaniden, gebruikt in TL-buizen en TV-schermen. Daar zetten ze energie van UV-licht of elektroden om in zichtbaar licht.

In bankbiljetteninkt is zo'n zout met europium niet handig, omdat dit slecht oplosbaar is in inkt. Maar in de vorm van een oplosbaar complex werkt europium ook uitstekend. Dit

complex lijkt op het ijzer-complex in hemoglobine: koolstofverbindingen die met zuurstof of stikstof-atomen aan een metaal-ion gebonden zijn.

De exacte samenstelling van de europiumverbinding op de eurobiljetten wil de Europese Centrale Bank uiteraard niet prijsgeven. Maar het zou kunnen dat de bank de samenstelling van het europium-complex van de crime scene heeft afgekeken. Daar wordt een europiumcomplex soms gebruikt bij het aantonen van vingerafdrukken. Het vocht van 'moeilijke' vingerafdrukken kan vastgelegd worden met damp van secondenlijm. Daarmee is de vingerafdruk nog niet zichtbaar. Dat gebeurt pas na besproeien met een europiumcomplex, en belichten met een UV-lamp. De vingerafdruk licht dan fel rood op, met dezelfde kleur als de vezels in een eurobiljet.

Laser ziet de vervalsers

Bankbiljetten zijn van veel echtheidskenmerken voorzien, en de meeste vervalsingen zijn daardoor vrij gemakkelijk op te sporen. Veel lastiger wordt het als het om een cheque gaat. De cheque (foto op blz 139) werd enkele jaren geleden aangeboden bij een Schotse bank. De cheque zelf is echt, maar zijn het cijfer één en het woord 'one' ook echt? Of zijn ze er later bijgezet, zodat de cheque honderd pond meer opleverde dan bedoeld was? Deze vragen vormden een uitdagende puzzel voor het scheikundig laboratorium dat moest proberen om dit uit te zoeken. Voorwaarde hierbij was dat de cheque niet beschadigd mocht raken en dat de inkt er niet afgehaald mocht worden. Dit laatste leverde een probleem op, want een stof die je er wel af mag halen en kunt oplossen in een vloeistof, is veel gemakkelijker te onderzoeken.

Om het vervalsen van eurobiljetten nog moeilijker te maken, gebruikt een bankbiljettendrukkerij niet alleen oplosbare inkt zoals de inkt die gebruikt wordt door een inkjetprinter. In een inkjetprinter worden druppeltjes inkt door heel nauwe openingen geperst. Dat gaat alleen goed als de inkt een oplossing is, en geen suspensie. Als de inkt een suspensie bevat, verstopten die openingen direct.

Een drukkerij kan echter ook drukken met een pigment-inkt, dat is een inkt die een niet-oplosbare kleurstof bevat en dus een suspensie is. De pigment-inkt is op een bankbiljet goed te voelen aan de waardecijfers als een laagje bovenop het papier. Vanaf het 50 eurobiljet is dat waardecijfer bovendien gedrukt met een heel bijzondere inkt: optisch variabele inkt. Dit betekent dat de kleur verandert als je het biljet kantelt. Optisch variabele inkt bevat een suspensie van uiterst kleine schilfertjes die het opvallende licht op verschillende manieren kunnen weerkaatsen. Optisch variabele inkt wordt door één bedrijf in Zwitserland gemaakt. Het is ontzettend duur, en het bedrijf levert alleen aan drukkerijen van waardepapieren.



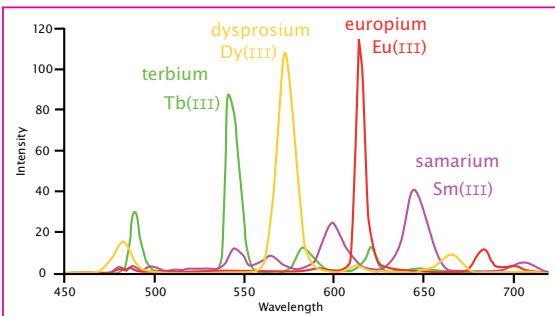
Biljetten in gewoon licht en onder UV-licht. Welke is vals?



Land	Landcode	Checksum
Belgie	Z	9
Griekenland	Y	1
Duitsland	X	2
Spanje	V	4
Frankrijk	U	5
Ierland	T	6
Italie	S	7
Nederland	P	1
Oostenrijk	N	3
Portugal	M	4
Finland	L	5
Luxemburg	R	8

Symbol element met elementen

Periodiek systeem der elementen

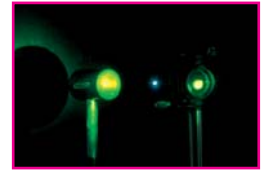


Kenmerkende fluorescentie-kleuren van Terbium, Dysprosium, Europium en Samariumverbindingen.

Bankbiljettenpapier is heel bijzonder papier. Eigenlijk zou je het eerder textiel moeten noemen dan papier want bankbiljetten zijn gemaakt van katoen, en niet van houtpulp.

Er is een eenvoudig scheikundeprøefje waarmee iedereen dat gemakkelijk kan aantonen. Voor het maken van gewoon papier is stijfjesel nodig om het stevig genoeg te maken. In katoenen bankbiljetten zit geen stijfjesel. Dat is gemakkelijk aan te zien met een beetje joodwater: wie een dun lijntje zet met joodwater op gewoon papier, ziet direct de voor stijfjesel of zetmeel karakteristieke blauw-zwartkleuring. Maar op een bankbiljet gebeurt er niets. Als het een echte is....

Naast al deze chemische en natuurkundige trucs om vervalsers het leven zuur te maken, zijn er ook nog een paar cijferproblemen waar criminele drukkers rekening mee moeten houden. Op elk biljet staat een letter voor het volgnummer. Die letter geeft het land aan dat dit biljet heeft laten drukken. Voor Nederland is dat een P. De cijfers van het biljetnummer daarachter moeten kloppen met de letter van het land. Daarvoor is de optelcontrole. Alle cijfers moet je bij elkaar optellen. Stel je krijgt dan 46. Dan tel je die twee cijfers op, dat levert 10. Ook die tel je op, dan krijg je 1. Dat is het controlegetal (checksum) dat bij de landletter moet passen (zie ook de lijst hiernaast). Dat betekent dat valsemunten niet gewoon opvolgende nummers kunnen drukken, maar moeten nadenken welke reeks dit is.



Freek Ariese, docent analytische chemie en toegepaste spectroscopie aan de VU, legt uit hoe je toch op het spoor kunt komen van een mogelijke vervalsing.

"Een scheikundige weet dat veel stoffen in oplossing zich verraden als er licht door de oplossing gaat. Van kleurstoffen is dat direct duidelijk. Een groene kleurstof krijgt die kleur omdat de stof de andere kleuren zoals blauw en rood relatief sterk absorbeert en het overgebleven licht er daardoor groen uitziet. Een onderzoeker zoekt de precieze golflengten op van het verdwenen licht, en komt zo op het spoor van de kleurstof. De grafiek die aangeeft hoeveel licht er geabsorbeerd wordt bij iedere golflengte, heet een absorptiespectrum. Deze benadering is echter bij een cheque niet erg geschikt omdat de vervalsers natuurlijk geprobeerd heeft om een inkt te gebruiken waarvan de kleur (en dus ook de golflengten waarbij licht wordt geabsorbeerd) zoveel mogelijk overeenkomt met het origineel. Er zijn echter veel verschillende chemische kleurstoffen met vrijwel dezelfde kleur, dus is de kans groot dat de 'valse' inkt toch een andere chemische samenstelling heeft. We hebben dus een meer specifieke analysetechniek nodig, die informatie kan verschaffen over het molecuulskelet van de te onderzoeken verbinding.

Gelukkig is door C.V. Raman in 1928 al een techniek bedacht die wel is toe te passen. De methode was in eerste instantie zo ongevoelig dat hij behalve een Nobelprijs voor de heer Raman, niet veel opleverde. Dat was de situatie tot de toepassing van krachtige, nauwkeurige lasers. Belangrijke voordelen van lasers zijn dat heel intens licht op een klein oppervlak kan worden gericht en dat de kleur van het licht (de golflengte) heel nauwkeurig vastligt. Samen met nog enkele verbeteringen is de Raman-methode met lasers gevoelig genoeg om de echtheid van de cheque aan te tonen.

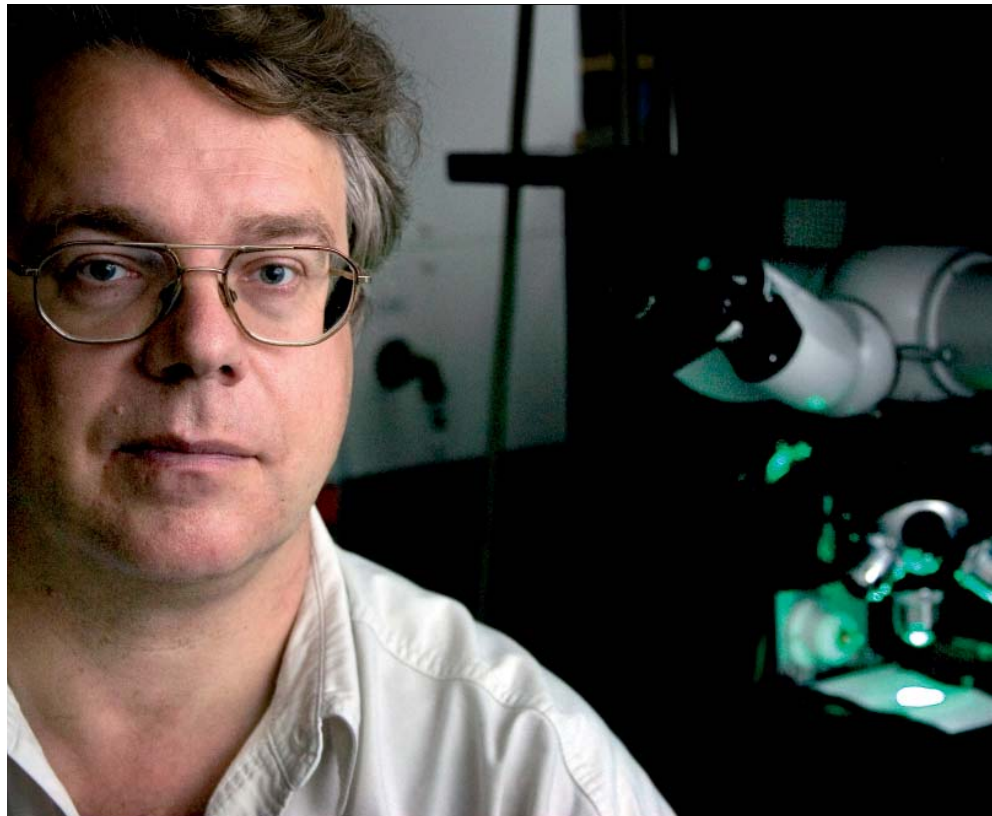
Bij Raman-spectroscopie richt de onderzoeker een laser op het voorwerp. Licht wordt weerkaatst, en het weerkaatste licht wordt opgevangen, op golflengte gescheiden en gedetecteerd. Het meeste licht heeft precies dezelfde kleur als het laserlicht, op een heel klein gedeelte na. Dat heeft een iets andere kleur gekregen omdat atomen in de moleculen van de bestraalde stof een beetje energie hebben gebruikt om harder te gaan trillen. Dit weerkaatste Raman-licht heeft dus altijd iets minder fotonenergie (langere golflengte) dan het laserlicht.

Hoeveel energie de moleculen precies kunnen opnemen, hangt sterk af van de bindingen waarmee de atomen in de moleculen aan elkaar gebonden zijn en van de atoommassa's. Deze trillingsenergie is voor een C-O binding anders dan voor een C=O of een C-C binding. Iedere stof geeft dus zijn eigen patroon van weerkaatste kleuren: het Raman-spectrum kan dienen als een moleculaire vingerafdruk. Om de identiteit van de stof te achterhalen zijn er gecomputeriseerde databases. Echter: anders dan bij gewone vingerafdrukken (waaruit je niets kunt afleiden over het uiterlijk van de persoon) kun je bij een onbekend spectrum dat nog niet in de database zit wel beredeneren of berekenen om wat voor stof het zou kunnen gaan.

Bij de cheque hoeft je niet zover te gaan, het gaat de bank er alleen maar om of alles met dezelfde soort inkt is geschreven, of niet. Welk soort inkt is gebruikt, is voor de bank niet belangrijk, dat is werk voor de onderzoeker die dit spoor naar de oplichter moet volgen."

Over het onderzoek naar de Schotse cheque die hierboven werd genoemd verteld Freek Ariese:

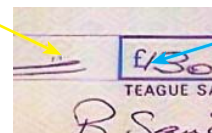
"Laser-deskundigen hebben bij het



onderzoek een groene laserstraal heel nauwkeurig gericht op een stukje van de geschreven tekst op de cheque. In het weerkaatste licht verschenen naast het intense laserlicht, heel zwak een paar kleuren die iets naar een langere golflengte waren verschoven: het Raman-spectrum. Het geschreven getal drie leverde zo een spectrum op, en het getal één ook. Duidelijk was te zien dat beide spectra verschillend waren. Dat betekent dat beide cijfers uit andere stoffen bestaan, en dus met een andere inkt zijn geschreven. De cheque is dus vervalst".



origineel



vervalsing

Chandrasekhara Vendata Raman (1888-1970) is een van de beroemdste Indiase wetenschappers van de 20^{ste} eeuw. Op school was hij al de beste leerling in de exacte wetenschappen en ook op de universiteit blonk hij uit. Omdat een wetenschappelijke carrière niet veel op zou leveren, werd hij manager op het Indiaas ministerie van financiën. Toch kon hij zijn interesse in natuurverschijnselen niet onderdrukken, en nam een baan aan als wetenschappelijk medewerker en later als hoogleraar. Hij vroeg zich af waarom het water van de zee blauw is. De gangbare gedachte daarover was dat de kleur weerkaatst blauw licht van de lucht is. Hij toonde aan dat dit niet juist is, en dat ook opgeloste stoffen in water niet de hoofdoorzaak zijn. Het heeft te maken met trillingen in het molecuul water zelf. Hij ging door met onderzoek naar breking en weerkaatsing van licht, en in 1928 ontdekte hij het verschijnsel dat later naar hem werd genoemd. Al twee jaar later kreeg hij daarvoor de Nobelprijs voor natuurkunde.

