

RIJKS MUSEUM



Lesbrief *Festoen van vruchten en bloemen*

Festoen van vruchten en bloemen

Jan Davidsz. de Heem, 1670

Trefwoorden: redox, oplosbaarheid, elektronenconfiguratie, oxidatietoestanden

Inleiding

Stillevens

In het stilleven *Festoen van vruchten en bloemen* (1670) van Jan Davidsz. de Heem wordt je rijkelijk getrakteerd op de prachtigste bloemen en het heerlijkste fruit. Ook krioelt het er van allerlei insecten (Figuur 1, links). Stillevens waren in de 17de eeuw een geliefd onderwerp om te schilderen, en je kunt in het museum een aantal verschillende subgenres vinden. Schilders specialiseerden zich vaak in een bepaald genre. Zo was De Heem een specialist in bloemen en vruchten. Hij werd geroemd om zijn gedetailleerde en minutieuze composities. De grote technische uitdaging voor stillevenschilders was om de kleuren, de stofuitdrukking en de oppervlaktestructuur van objecten perfect te imiteren. Je kunt hierbij denken aan het fluweelzachte huidje van een perzik, de transparantie van druiven, of de metalen glans van een zilveren drinkbeker (zie bijvoorbeeld *Stilleven met zilveren kan en porseleinen kom* (1655-1660) van Willem Kalf, Figuur 1, rechts). Bij het schilderen volgden de schilders duidelijke stilistische regels, technieken en recepten. Zo staat in het traktaat *De groote waereld in t klein geschildert* van Willem Beurs (1692) nauwkeurig en duidelijk beschreven hoe een salamander, sinaasappel, roos of druif geschilderd moet worden. Zo zou je bijvoorbeeld witte pruimen dienen te schilderen:

“De witte pruimen legt men op den dag aan met ligten oker, schijtgeel en een weinig wit, in de schaduw gebruikt men oker en meerder schijtgeel zonder wit, en in de reflexie moet oker of schijtgeel koomen: wiltgeze wat groender hebben, doet dan een weinig as onder de oker en schijt-



Figuur 1: (links) *Festoen van vruchten en bloemen*, 1660-1670, Jan Davidsz. De Heem (objectnummer SK-A-138) (rechts) *Stilleven met zilveren schenkan*, 1655-1660, Willem Kalf (objectnummer SK-A-199).



Figuur 2: (links) Detail van de witte pruim uit *Festoen van vruchten en bloemen*. (midden) Orpiment in minerale vorm. (rechts) Realgar in minerale vorm.

geel. Als de pruimen zoo verre geschildert, droog zijn, laxeert dan uwe reflexie met schijtgeel na dat het leeven medebrengh, en schommelt den dauw op dezelve, alsze wel geschildert zijn, in een witten oly, met lak, swart en wit, ligter of donkerder na 't leeven." (Figuur 2, links, detail van de witte pruim)

Ter verduidelijking, oker is een aardepigment en schijtgeel is een organische gele kleurstof die uit onrijpe bessen wordt geëxtraheerd (zie ook de lesbrief: *Het ontbijt van de kat*).

De pigmenten orpiment en realgar

Twee belangrijke pigmenten die in 17de-eeuwse stillevens veelvuldig werden gebruikt, zijn het gele *orpiment* en het rood-oranje *realgar*. Beide pigmenten zijn een vorm van arseensulfide. Orpiment werd ook wel koningsgeel genoemd vanwege zijn helder gele kleur met gouden gloed (Figuur 2, midden). De naam realgar komt van het Arabische *rahj al ghar*, dat 'mijnpoeder' betekent, omdat dit mineraal vaak aangetroffen werd in zilverbijnen (Figuur 2, rechts). Beide pigmenten worden gewonnen uit mineralen. In de oudheid werden de pigmenten verkregen door met de hand de orpiment- of realgarkristallen te selecteren van andere minerale onzuiverheden. De kristallen werden kleiner gemaakt en nat gemalen in een metaalvrije omgeving tot een fijn pigment. De metaalvrije omgeving was nodig om verkleuring van het pigment te voorkomen. Bij het malen van kristalletjes arseensulfide komt namelijk zwavel vrij. Het zwavel reageert meteen met metalen als lood, koper of zilver, wat vervolgens zwartgekleurd lood-, koper- of zilversulfide als reactieproduct geeft.

Vanaf de 14de eeuw werd er synthetisch orpiment gemaakt via een 'droge procedure'. Er zijn verschillende methodes waarop de droge procedure uitgevoerd werd. In de 14de en 15de eeuw werd dit gedaan door sublimatie van het ruwe mineraal met of zonder toevoeging van zwavel. In de 17de eeuw ging men uit van een mengsel van arseenoxide en zwavel. Pas in de 19de eeuw werd orpiment gesynthetiseerd volgens de 'natte procedure' waarbij H_2S gas geleid wordt door een zoutzuuroplossing met arseentrioxide. Vanwege de hoge giftigheid van arseen werden orpiment en realgar in de 19de eeuw vervangen door cadmium- en chromaathoudende pigmenten. Tegenwoordig weten we echter dat ook die vervangende pigmenten niet bepaald gezond zijn.

Arseenvergiftiging

Dat arseen zeer giftig is, is voor veel mensen geen verrassing meer. Blootstelling aan een hoge dosis arseen kan directe dood tot gevolg hebben. Door het *cumulatieve effect* van arseen (oftewel, het wordt niet uitgescheiden maar hoopt op in het lichaam), kan regelmatige blootstelling aan een lage dosis arseen leiden tot huidandoeningen, zenuwziekten, diabetes en kanker. De giftigheid van arseen wordt toegeschreven aan de hoge affiniteit van arseen met thiol-groepen (-SH) in eiwitten, waardoor de activiteit van enzymen verstoord wordt. Het is dan ook niet



Figuur 3: Detail van de gele Egelantiersroos uit *Stilleven met bloemen en een horloge*, ca. 1660 - ca. 1679, Abraham Mignon (objectnummer: SK-A-268).

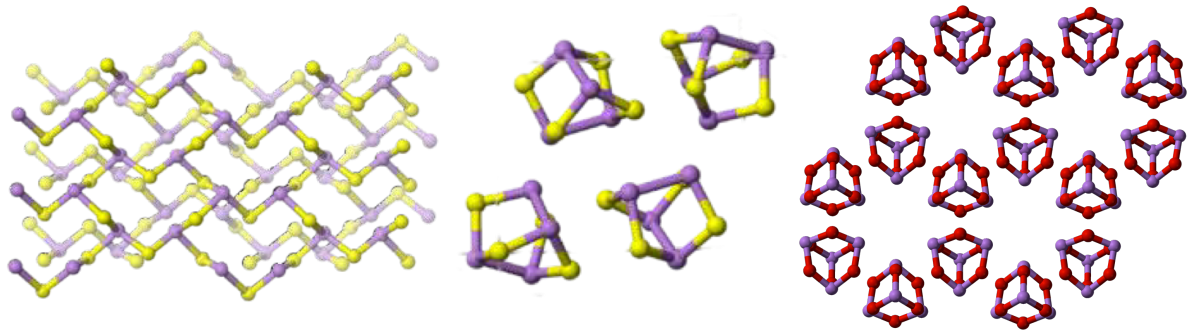
verwonderlijk dat de lichamelijke gebreken van kunstenaars, zoals Cézanne's diabetes, Monets blindheid en neurologische problemen van Van Gogh, gedeeltelijk toegeschreven werden aan het gebruik in de 19de eeuw van het arseenhoudende pigment Veronesegroen of Schweinfurtergroen (koperacetoarseniet, $\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 3\text{Cu}(\text{AsO}_2)_2$).

Hoewel het nog steeds controversieel is, wordt ook de dood van Napoleon Bonaparte soms toegeschreven aan arseenvergiftiging. Vermoed wordt dat Napoleon het arseen binnen heeft gekregen via arseendampen die onder invloed van vocht afkomstig waren van het groene behang in zijn residentie.

Bij forensisch onderzoek uitgevoerd op het skelet van de Italiaanse kunstschilder en architect Giotto (1276-1337) werden arseen en zware metalen als lood aangetroffen. Je kunt je goed voorstellen dat in een schildersatelier, zeker in die tijd, het maken van verf met giftige pigmenten en het schilderen niet onder de veiligste condities gebeurden. Giotto zal vast en zeker wel eens zijn kwast tussen zijn lippen hebben gehad om er een goed puntje van te maken.

Verkleuring

Orpiment en realgar zijn geen stabiele pigmenten en kunnen uit elkaar vallen onder invloed van licht. Als je bijvoorbeeld goed kijkt naar de citroen in het midden bij *Festoen met vruchten en bloemen*, zie je dat deze een beetje een bruine kleur heeft. Oorspronkelijk zal deze citroen helderder geel geweest zijn. De veranderingen in verven met orpiment zijn ook heel goed zichtbaar in de gele Egelantiersroos in het midden in het schilderij *Stilleven met bloemen en een horloge* (ca. 1660 - ca. 1679) van Abraham Mignon (Figuur 3). De egelantiersroos is geheel vlak van kleur geworden; de bloemblaadjes en het hart zijn moeilijk te onderscheiden. Voor scheikundigen zijn hier de interessante vragen: welke chemische processen hebben hier plaatsgevonden, en hebben de reacties hun eindstadium al bereikt of gaat het schilderij nog verder veranderen?



Figuur 4: (links) Gelaagde structuur van As-S ketens in orpiment. (midden) Moleculaire kooi-achtige eenheden van As-S in realgar. (rechts) De structuur van arseentrioxide. Zwavel is geel, zuurstof is rood, en arseen is paars.

Beschrijving van relevante chemische onderwerpen

Arseen

Arseen heeft de elektronenconfiguratie $[\text{Ar}] 3d^{10} 4s^2 4p^3$, waarmee arseen zich in groep 15 van het periodiek systeem bevindt (onder stikstof). Elementair arseen is een zeer reactieve stof die met zowel organische en anorganische stoffen kan reageren vanwege zijn vijf valentie-elektronen (twee elektronen in de 4s schil en drie in de 4p schil). Eenmaal gecombineerd met andere elementen kan arseen bestaan in vier oxidatietoestanden: -3, 0, +3 en +5 waarbij arseniet (+3) en arsenaat (+5) de meest belangrijke oxidatietoestanden zijn.

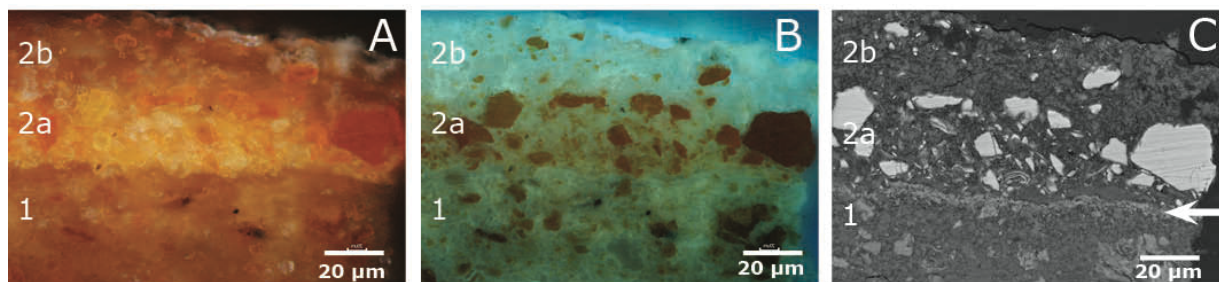
Orpiment en realgar

Orpiment (As_2S_3) en realgar (AsS of As_4S_4) zijn beide arseensulfiden, maar hun stoichiometrie, structuur en oxidatietoestand zijn anders. In orpiment is het As^{3+} -ion verbonden met drie S-atomen in een trigonale geometrie. Elk S-atoom is gebonden aan twee As-atomen. Hierdoor ontstaat er een gelaagde structuur van As-S ketens (Figuur 4, links). De atomen zijn covalent met elkaar verbonden, terwijl de ketens door Van der Waalskrachten bij elkaar gehouden worden.

In realgar zijn tweemaal twee As-atomen covalent met elkaar gebonden. Dit resulteert in twee As-As verbindingen met elk een effectieve lading van +4. Deze lading wordt gecompenseerd met vier S^{2-} -ionen tot een neutraal complex. De vier S-atomen en vier As-atomen vormen moleculaire kooi-achtige eenheden (Figuur 4, midden). De As_4S_4 -moleculen worden bij elkaar gehouden door Van der Waalskrachten en gerangschikt in een zigzag patroon, waardoor ook weer een gelaagd systeem ontstaat.

Degradatie onder invloed van licht

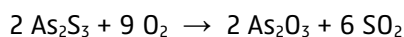
De verkleuring die we zien in de citroen en de anemoon in de 17de eeuwse stillevens zijn te verklaren doordat het arseensulfide in de pigmenten onder invloed van licht omgezet wordt naar de witte stof arseentrioxide (As_2O_3 , Figuur 4, rechts). Dit is heel goed te zien in een minuscuul verfmonstertje dat genomen is uit een abrikoos van het schilderij *Stilleven met vijf abrikozen* (1704) van Adriaen Coorte uit het Mauritshuis, Den Haag. In Figuur 5a en b zie je microscopopnames genomen bij 500x vergroting en belicht met wit licht en ultraviolet licht (365 nm). Hierop is een dwarsdoorsnede van de verf te zien, die de verflagen zichtbaar maakt waarmee de abrikoos geschilderd is. De onderste laag (1) is de grondering. De laag daarop (laag 2) bevat orpiment en realgar. Deze laag lijkt uit twee delen te bestaan, maar is oorspronkelijk als een enkele laag geschilderd. Onder invloed van licht zijn de pigmentdeeltjes in de bovenkant van de verflaag verdwenen. Het arseensulfide is uit elkaar gevallen en de producten (As_2O_3) zijn gaan migreren door de verflagen heen. Dat de pigmentdeeltjes weg zijn is ook heel goed te zien met *elektronenmicroscopie* (Figuur 5c). Het contrast dat je ziet in de afbeelding ontstaat doordat de elektronen met verschillende intensiteiten teruggekaatst ('verstrooid') worden wanneer ze met de



Figuur 5: Microscopie-afbeeldingen van een verfmonster dat genomen is uit een abrikoos van het schilderij *Stilleven met vijf abrikozen*, 1704, Adriaen Coorte, Mauritshuis, Den Haag. Om microscopisch onderzoek te kunnen doen wordt er uit het schilderij een minuscuul verfmonster genomen. Dit verfmonster wordt ingebed in een synthetisch hars en gepolijst totdat de opbouw van de verflagen in het monster zichtbaar is. De microscopische beelden zijn genomen onder normaal licht (A) en onder belichting met ultraviolet licht (B). In de opname gemaakt met elektronenmicroscopie (C) ontstaat contrast door verschillen in atoomgewicht. Zware elementen geven meer signaal dan lichte, en veroorzaken de witte plekken in de afbeelding. In dit geval komen de witte plekken overeen met arseen en de donkere plekken met lichtere elementen als koolstof. Dit verfmonster laat twee verflagen zien, een eerste gele grondlaag bestaande uit gele en rode aardepigmenten (laag 1) en een tweede lichtoranje verflaag die bestaat uit een mengsel van realgar, orpiment en gips. Het lijkt of laag 2 uit twee verschillende lagen bestaat (2a en 2b), maar dat is zeker niet het geval. Het orpiment en realgar in laag 2b is onder invloed van licht uit elkaar gevallen. Het elektronenbeeld (C) laat goed zien dat in de bovenste laag ook nauwelijks pigmentdeeltjes meer zitten, in tegenstelling tot de onderkant van de verflaag (2a).

atomen botsen. Zwaardere elementen verstrooien elektronen beter dan lichte elementen, en geven dus het meeste signaal. In de afbeelding kleuren zwaardere elementen wit, en de lichtere elementen blijven donker. In Figuur 5c zijn in de bovenkant van de laag (laag 2b) geen pigmentdeeltjes aanwezig, in tegenstelling tot de onderkant van deze laag (laag 2a).

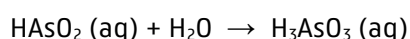
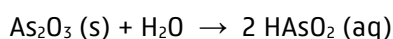
De omzetting van realgar naar arseentrioxide kent allerlei tussenstructuren (bijvoorbeeld para-realgar (As_4S_4 , met andere kristalstructuur) en uzonite (As_4S_5)), maar het eindproduct is altijd As_2O_3 (Figuur 9). In het geval van orpiment wordt gedacht dat de degradatie direct naar As_2O_3 leidt:



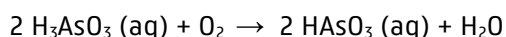
Het is waarschijnlijk dat het zwavel als zeer reactief radicaal vrijkomt en in een omgeving vol organische moleculen kan reageren tot organozwavelverbindingen, of met zuurstof reageert tot SO_2 .

Redoxreacties van arseen in de verf

Recent onderzoek heeft aangetoond dat er in olieverfschilderijen die orpiment of realgar bevatten niet alleen As^{3+} aanwezig is, maar dat er ook veel As^{5+} te vinden is. Het opmerkelijke is dat het arseen niet alleen in de verflagen zit waar orpiment of realgar aanwezig is, maar ook in omringende verflagen. As^{5+} is zelfs aangetroffen in de vernis (de bovenste beschermende transparante laag op een schilderij) en in het hout van het paneel (gebruikt als drager van het schilderij). Dit betekent dat het As^{3+} oxideert naar As^{5+} . De huidige gedachte is dat As_2O_3 gedeeltelijk op kan lossen in vocht dat in het schilderij aanwezig is en kan reageren tot een oplosbare vorm van As^{3+} :



Vervolgens kan het arseen oxideren naar As^{5+} , en migreren of afgezet worden in andere verflagen, vernis of hout:



Suggesties voor experimenten

Experiment 1

Synthese van geel ZnS pigment

Vanwege de giftigheid, is het niet verstandig te experimenteren met arseen in de klas. Zink biedt een mooi alternatief. In dit experiment kan het gele pigment ZnS gemaakt worden, dat samen met bariumsulfaat het witte pigment lithopoon vormt (ZnS.BaSO_4). In gronderingen van vele schilderijen van Van Gogh zit lithopoon. In dit experiment wordt maar een kleine hoeveelheid ZnS gevormd, en het is daarom niet erg geschikt als demonstratieproef.

Veiligheid: verdund zoutzuur, ZnCl_2 , NaS, H_2S . Werk in de zuurkast.

Uitvoering:

- Doe een beetje zinkpoeder en een reageerbuis en voeg 5 druppels verdund zoutzuur toe. Wanneer voorzichtig verwarmd wordt, vormt er ZnCl_2 .
- Wanneer het meeste zink gereageerd heeft, verdun de oplossing met 5 druppels water.
- Decanteer de oplossing in een andere reageerbuis.
- Neutraliseer de oplossing met een verdunde ammonia (gebruik pH-papier om te controleren dat de pH op 7 uitkomt).
- Druppel een 10% oplossing van NaS in water toe tot er geen neerslag meer vormt (let op: er komt hierbij H_2S vrij).

Experiment 2

Diffusie en neerslag van ionen

In de verf op schilderijen is veel iontransport aan de gang. Ionen uit pigmenten, bijvoorbeeld As^{5+} of metaalionen, kunnen heel langzaam door de verf heen bewegen en reageren met andere ionen in de verf tot onoplosbare zouten. In dit eenvoudige experiment kun je zo'n migratie- en neerslagproces nabootsen.

Uitvoering:

- Zet een petrischaaltje op een zwart A4-papier op tafel en doe er een heel klein laagje gedestilleerd water in.
- Leg aan de ene kant van het petrischaaltje een paar korreltjes calciumnitraat, en aan de andere kant een paar korreltjes natriumcarbonaat.
- Na enige tijd is een neerslagreactie waar te nemen in het midden van het petrischaaltje.

Experiment 3

Op zoek naar pigmenten (demonstratie)

Bij dit demonstratiepracticum wordt er gezocht naar alternatieve pigmenten voor de giftige arseenhoudende pigmenten zoals orpiment, realgar en het 19de eeuwse Schweinfurtergroen (koperacetoarsenaat).

Doel: Vaststellen welke (kleur)stof gevormd wordt.

Benodigdheden:

- koper(II)chlorideoplossing
- ijzer(III)chlorideoplossing
- kaliumjodideoplossing
- magnesiumkorrels
- zetmeeloplossing
- reageerbuizen en rekje
- trechter en filter
- pasteurpipetten

Onderdeel 1: Experiment

- A. Voeg aan een oplossing van CuCl_2 met een pasteurpipet KI-oplossing toe. Filtreer de oplossing nadat er een zichtbare verandering is opgetreden. Voeg vervolgens nog enkele druppels zetmeeloplossing toe aan zowel het residu als het filtraat. Noteer de waarnemingen
- B. Voeg aan een oplossing van FeCl_2 met een pasteurpipet KI-oplossing toe. Nadat er een zichtbare verandering is opgetreden, voeg enkele druppels zetmeeloplossing toe. Noteer de waarnemingen
- C. Voeg enkele magnesiumkorrels toe aan een oplossing van CuCl_2 . Noteer de waarnemingen

Onderdeel 2: Vragen bij het experiment

1. Geef de reactievergelijkingen die de waarnemingen verklaren (bij redoxreacties ook halfreacties) wanneer de kaliumjodideoplossing bij de koper(II)chlorideoplossing wordt gevoegd.
2. Geef de namen en de kleuren van de stoffen zie bij A zijn gevormd.
3. Geef een verklaring voor de waarneming van de aantonningsreactie met behulp van de zetmeeloplossing voor zowel het residu als het filtraat bij A.
4. Geef de reactievergelijkingen die de waarnemingen verklaren (bij redoxreacties ook halfreacties) wanneer de kaliumjodideoplossing bij de ijzer(III)chlorideoplossing wordt gevoegd.
5. Geef de namen en de kleuren van de stoffen zie bij B zijn gevormd.
6. Geef een verklaring voor de waarneming van de aantonningsreactie met behulp van de zetmeeloplossing bij B.
7. Geef de elektronenconfiguratie van het ijzerion nadat de reactie heeft plaatsgevonden.
8. Geef de vergelijkingen die de waarnemingen verklaren (bij redoxreacties ook halfreacties) wanneer de koper(II)chlorideoplossing bij de magnesiumkorrels wordt gevoegd.
9. Leg uit of je aan de hand van de waarnemingen met grote waarschijnlijkheid kunt vaststellen dat er sprake is van een verandering in de oxidatietoestand van het koper-ion nadat de koper(II)chlorideoplossing aan magnesium werd toegevoegd.

Demonstratiefilmpje synthese arseen-houdende pigmenten

Online staat een illustratief filmpje waar drie verschillende arseen-houdende pigmenten (Schweinfurter groen, orpiment en koperarsenaat) gesynthetiseerd worden: <https://practicum.melscience.com/experiments/arsenic-based-pigments.html>

Voorbeeldvragen

Vraag 1

1. Teken het model van Bohr voor een zwavelatoom en geef de elektronenconfiguratie van zwavel.
2. Teken de Lewis structuur van orpiment (As_2S_3).
3. Wat is de systematische naam van orpiment?

Vraag 2

De productie van orpiment en realgar

Noteer de kloppende reactievergelijking van de onderstaande chemische reacties:

1. realgar (AsS) + lood \rightarrow loodsulfide + arseen

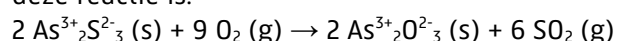
Productie in de 17de eeuw:

2. arseenoxide (As_2O_3) + zwavel \rightarrow realgar (As_2S_3) + zwaveldioxide

Productie in de 19de eeuw:

3. arseenoxide (As_2O_3) + waterstofsulfide + zoutzuur (HCl) \rightarrow orpiment (AsS) + water + chloor

Orpiment kan door reactie met zuurstof omgezet in arseen(III)oxide. De reactievergelijking van deze reactie is:



4. Leg uit waarom er hier sprake is van een redoxreactie
5. Noteer de halfreacties van de oxidator en de reductor.

Het arseen(III)oxide kan zich (langzaam) verplaatsen in een schilderij door te reageren met twee moleculen water (dat ook aanwezig is in het schilderij). Het zout dat ontstaat is oplosbaar in water en kan zich hierdoor verplaatsen.

6. Noteer de kloppende reactievergelijking van de bovenstaande reactie

Het H_3AsO_3 kan zich verplaatsen in het schilderij en kan vervolgens met zuurstof reageren tot HAsO_3 .

7. Noteer de halfreacties van deze redoxreactie.

Vraag 3

Arseen is vergif

De ADI waarde van arseen is $2 \cdot 10^{-3}$ mg per kg lichaamsgewicht. De ADI is de aanvaardbare dagelijkse inname, uitgedrukt in mg per kg lichaamsgewicht. Als een kunstschilder vroeger verf aan zijn handen had of zijn penseel in zijn mond hield, dan liep deze een flink risico.

De dichtheid van arseen is 5.7 g cm^{-3} .

1. Bereken hoeveel mm^3 arseen een schilder van 70 kg per jaar binnen mag krijgen.

Vraag 4

Atoombouw van arseen en zijn ionen

1. Beschrijf het atoom arseen volgens het model van Bohr.
2. Beschrijf het As^{3+} ion volgens het model van Bohr.
3. Noteer de elektronenconfiguratie van Ar en Ar^{5+} .

Vraag 5

Niveau: klas 3

Onderwerp: chemische reacties / reactievergelijkingen / massaverhoudingen

De citroen van Festoen met vruchten en bloemen

Jan Davidz. De Heem (1670) was gespecialiseerd in stillevens van bloemen en vruchten. De schilders deden hun uiterste best om een zo perfect mogelijke weergave te schilderen. Dat maakt het des te opmerkelijker dat de citroen van het schilderij *Festoen met vruchten en bloemen* geen gele maar een bruine kleur heeft. De Heem heeft voor zijn verf een geel pigment gebruikt, namelijk orpiment.

In orpiment is het element arseen aanwezig. Er zijn meer pigmenten die arseen bevatten, zoals het 19de eeuwse Veronesegroen of Schweinfurtergroen (koperacetoarseniet). Arseen en arseenverbindingen zijn zeer giftig.

1. Leg uit dat er bij de citroen op het schilderij *Festoen met vruchten en bloemen*, sprake is van een chemische reactie waarbij orpiment reageert.
2. Orpiment is giftig. Leg uit of de bruine kleur nog steeds giftige stoffen bevat.

Orpiment heeft de formule: As_2S_3 . Het reageert met zuurstof tot arseenoxide en één andere gasvormige stof.

3. Geef de kloppende reactievergelijking voor de reactie van orpiment met zuurstof.
4. Met welk reagens kan het gasvormige reactieproduct worden aangetoond. Geef ook de waarnemingen.

De olie verf die De Heem gebruikte bevatte alleen orpiment en lijnzaadolie. De citroen heeft een oppervlak van 27 cm^2 en de verf een laagdikte van 1.30 mm. De dichtheid van de verflaag is 5.2 g/mL en bevat 70 massaprocent arseenoxide.

De massaverhouding waarin orpiment en zuurstof met elkaar reageren is 2.64:1.00. Orpiment en arseenoxide reageren in de massaverhouding 2.64:1.37.

5. Laat met een eenvoudige berekening zien in welke massaverhouding het gasvormige product ontstaat. Geef je antwoord als orpiment:gasvormig product is 2,64: ...
6. Laat met een berekening zien hoeveel arseenoxide er ontstaat als er 30 mg orpiment volledig heeft gereageerd met zuurstof.
7. Leg uit of het schilderij zwaarder of lichter wordt of gelijk blijft in gewicht door het verkleuren van de citroen.
8. Bereken het volume van de verflaag van de citroen in mL.
9. Bereken de massa arseenoxide in de bruine citroen in mg. Heb je het antwoord op vraag 8 niet ga er dan vanuit dat het 0.05 mL is (dit is niet het juiste antwoord).

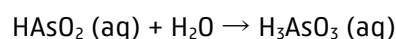
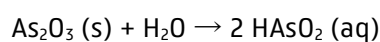
Vraag 6

Niveau: klas 4
Onderwerp: Lading ionen

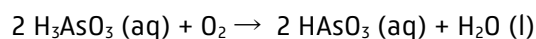
Arseenverbindingen in de citroen van Festoen met vruchten en bloemen

1. Laat zien wat de lading is van het arseenion in orpiment (As_2S_3).
2. Geef de reactievergelijking voor de omzetting van orpiment in As_2O_3 .
3. Geef de reactievergelijking voor de omzetting van realgar in As_2O_3 .

In schilderijen blijkt het As_2O_3 omgezet te worden volgens de volgende reacties:



Vervolgens kan arseen weer worden omgezet en migreren of afzetten in andere verflagen, vernis of hout, waarbij de volgende reactie optreedt:



4. Laat zien wat de lading van het arseenion in HAsO_2 is.
5. Laat zien wat de lading van het arseenion in H_3AsO_3 is.
6. Laat zien wat de lading van het arseenion in HAsO_3 is.

Vraag 7

Niveau: klas 4
Onderwerp: Elektronenconfiguratie

Arseenverbindingen in de citroen van Festoen met vruchten en bloemen

1. Geef de elektronenconfiguratie van arseen.
2. Leg met behulp van de elektronenconfiguratie en BINAS 99 uit waarom er zowel een 3+, een 5+ als een 3- lading bij As mogelijk is.
3. Geef de bouw van As in de verbinding H_3AsO_3 volgens Rutherford.

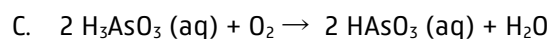
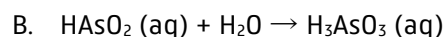
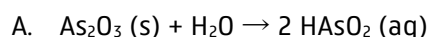
Vraag 8

Niveau: klas 5

Onderwerp: Redox

Arseenverbindingen in de citroen van *Festoen met vruchten en bloemen*

De volgende reacties kunnen optreden wanneer arseenoxide gevormd wordt in schilderijen zoals het *Festoen met vruchten en bloemen* van De Heem:



1. Laat zien wat de lading is van As in de beginstof en het product van reactie A en geef indien er sprake is van een ladingswijziging de halfreacties.
2. Laat zien wat de lading is van As in de beginstof en het product van reactie B en geef indien er sprake is van een ladingswijziging de halfreacties.
3. Laat zien wat de lading is van As in de beginstof en het product van reactie C en geef indien er sprake is van een ladingswijziging de halfreacties.

Bronnen

- Algemene informatie over de AsS-pigmenten:
Artists' Pigments. A Handbook of Their History and Characteristics, Vol. 3: E.W. Fitzhugh (Ed)
Oxford University Press 1997, p. 47-79
<https://www.nga.gov/content/dam/ngaweb/research/publications/pdfs/artists-pigments-vol3.pdf>
- Artikel over degradatie van arseenhoudende pigmenten en migratie van het arseen door schilderij:
<https://doi.org/10.1186/s40494-016-0078-1>
- Artikel over de schildertechniek van De Heem, waarbij een macro-XRF scanner gebruikt is:
<https://doi.org/10.1186/s40494-017-0151-4>

Disclaimer

Hoewel het onderwijsmateriaal met zorg is samengesteld, is het mogelijk dat deze onjuistheden en/of onvolledigheden bevatten. Het Rijksmuseum aanvaardt derhalve geen enkele aansprakelijkheid voor direct of indirecte schade, voortkomend uit het gebruik van dit materiaal.