

Tenzij anders vermeld, is er sprake van standaardomstandigheden:

$T = 298 \text{ K}$ en $p = p_0$.

Cadmiumgeel

In de negentiende en begin twintigste eeuw werden door de chemische industrie veel nieuwe pigmenten ontwikkeld, zoals cadmiumgeel (cadmiumsulfide, CdS). Cadmiumgeel werd onder andere gemaakt door de reactie van cadmiumcarbonaat met zwavel (S). Bij deze reactie ontstaan behalve cadmiumsulfide ook zwaveldioxide en koolstofdioxide.

2p 1 Geef de vergelijking van deze vorming van cadmiumsulfide uit zwavel en cadmiumcarbonaat.

3p 2 Bereken de massa in gram zwavel die minimaal nodig is om 1,0 kg cadmiumcarbonaat volledig om te zetten tot cadmiumsulfide.

Geef de uitkomst in het juiste aantal significante cijfers.

Bij deze productie werd zwavel in overmaat toegevoegd. De overgebleven zwavel kon na afloop van de reactie gemakkelijk worden gescheiden van de gevormde cadmiumsulfide door het verkregen mengsel te verwarmen. Hierbij verdampt de zwavel maar de cadmiumsulfide niet.

2p 3 Leg uit dat zwavel bij een lagere temperatuur verdampt dan cadmiumsulfide. Neem hier aan dat zwavel bestaat uit deeltjes S_8 .

- Gebruik hierbij begrippen op microniveau.
- Benoem de bindingstypes in beide stoffen.

Helaas bleek cadmiumgeel op de lange termijn niet chemisch stabiel. Op verschillende schilderijen zijn drie opeenvolgende aantastingen van cadmiumgeel waargenomen:

- verbleking door de vorming van cadmiumsulfaat.
- de vorming van kleine witte vlekken waarin vooral cadmiumsulfaat-monohydraat aanwezig is.
- verkleuring door onder andere de vorming van lood(II)sulfaat $PbSO_4$. Deze verkleuring trad alleen op nadat vernis was aangebracht op een al aangetast schilderij.

De omzetting van cadmiumgeel met zuurstof tot cadmiumsulfaat-monohydraat treedt alleen op in vochtige lucht.

2p 4 Geef de vergelijking van de omzetting van cadmiumgeel tot cadmiumsulfaatmonohydraat.

Behalve cadmiumsulfaatmonohydraat ontdekte men in de witte vlekken een ander zout. In dit zout zijn cadmiumionen en sulfaationen in de molverhouding 2 : 3 aanwezig. Behalve deze ionen is er nog één andere ionsoort aanwezig. Op grond van de gevonden samenstelling van het zout vermoedden de onderzoekers dat een van de schilderijen ooit met een oplossing van ammoniak is schoongemaakt.

- 2p **5** Geef een mogelijke verhoudingsformule van het gevonden zout.

Tijdens periodes met hoge luchtvochtigheid lossen de zouten die in een verflaag aanwezig zijn enigszins op. Dit wordt veroorzaakt doordat zich dan bijvoorbeeld het evenwicht $\text{CdSO}_4 \rightleftharpoons \text{Cd}^{2+} + \text{SO}_4^{2-}$ kan instellen in de verflaag. De gehydrateerde ionen kunnen vervolgens door verf- en vernislagen heen bewegen.

Voor het evenwicht $\text{CdSO}_4 \rightleftharpoons \text{Cd}^{2+} + \text{SO}_4^{2-}$ geldt $K_s = [\text{Cd}^{2+}][\text{SO}_4^{2-}]$. K_s is het zogenoemde oplosbaarheidsproduct. De waarden van K_s van enkele stoffen zijn in de tabel gegeven.

tabel

stof	formule	$K_s = \dots$	waarde van K_s
cadmiumsulfaat	CdSO_4	$[\text{Cd}^{2+}][\text{SO}_4^{2-}]$	$5,3 \cdot 10^{-1}$
lood(II)sulfaat	PbSO_4	$[\text{Pb}^{2+}][\text{SO}_4^{2-}]$	$1,7 \cdot 10^{-8}$
lood(II)ethanoaat	$\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$	$[\text{Pb}^{2+}][\text{CH}_3\text{COO}^-]^2$	$2 \cdot 10^1$

Op een schilderij waar het cadmiumgeel al deels was omgezet tot cadmiumsulfaat is in het verleden een laag vernis aangebracht. De gebruikte vernis bevatte als enige loodverbinding lood(II)ethanoaat ($\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$). Zowel in de verflaag als in de vernislaag is door de onderzoekers vast lood(II)sulfaat (PbSO_4) aangetroffen.

- 3p **6** Leg uit, onder andere met behulp van evenwichtsbeschouwingen, dat lood(II)sulfaat aanwezig is in de vernislaag als gevolg van periodes met hoge luchtvochtigheid.
Neem aan dat de waarden in de tabel ook gelden onder de omstandigheden in een verflaag tijdens periodes van hoge luchtvochtigheid.