

Elektrolyse met kobalt

Waterstof kan door middel van elektrolyse gevormd worden uit water. De materiaalkeuze voor de positieve elektrode (anode) vormt daarbij een lastig probleem. Platina is geschikt, maar veel te duur en daarom onbruikbaar op industriële schaal. Metalen zoals ijzer zijn ongeschikt omdat een anode van ijzer tijdens de elektrolyse wordt aangetast.

- 2p **6** Geef aan wat in dit verband wordt bedoeld met het woord 'aangetast' en leg uit waarom dit probleem zich niet bij de negatieve elektrode voordoet.
- 1p **7** Geef aan waarom een positieve elektrode van platina niet wordt aangetast.

In het vakblad 'Science' is een artikel verschenen over een onderzoek naar het gebruik van een alternatief elektrodemateriaal. De in het onderzoek gebruikte elektrodes bevatten aan het oppervlak een dunne laag van het materiaal indiumtinoxide ITO. ITO bestaat voor 90% uit indiumoxide en 10% tin(IV)oxide. Afgaand op de soort stoffen waaruit ITO bestaat, is het niet vanzelfsprekend dat deze vaste stof de elektrische stroom geleidt.

- 2p **8** Leg uit op microniveau (deeltjesniveau) dat het niet te verwachten is dat ITO elektrische stroom geleidt.

De onderzoekers maakten een oplossing van kaliumfosfaat in water. Ze brachten de oplossing door toevoeging van nog één andere soort stof op $\text{pH} = 7,00$. De fosfaationen worden hierbij geheel omgezet tot twee andere ionen.

- 2p **9** Leg uit welke soort stof de onderzoekers hebben toegevoegd om de pH van de oplossing op 7,00 te brengen.
- 3p **10** Ga met een berekening na van welke soort ionen, ontstaan uit de fosfaationen, de concentratie het grootst is bij $\text{pH} = 7,00$ (298 K).

Aan de gevormde oplossing werd kobalt(II)nitraat toegevoegd tot een concentratie van $5,0 \cdot 10^{-4}$ M. In deze oplossing plaatsten de onderzoekers twee ITO-elektrodes. Toen de stroom werd ingeschakeld, ontstond een zwart steenachtig laagje van kobalt(III)fosfaat op het oppervlak van de ITO-anode. Tevens werd aan de anode zuurstof gevormd en aan de kathode (negatieve elektrode) waterstof.

De onderzoekers veronderstellen dat op en aan de ITO-anode de volgende reacties verlopen:

reactie 1: Co^{2+} ionen worden omgezet tot Co^{3+} ionen.

reactie 2: De Co^{3+} ionen reageren met fosfaationen tot kobalt(III)fosfaat, dat zich als een vaste stof afzet op de elektrode.

reactie 3: Een deel van de Co^{3+} ionen uit het kobalt(III)fosfaat wordt omgezet tot Co^{4+} ionen; deze ionen blijven gebonden aan de elektrode.

reactie 4: De ontstane Co^{4+} ionen reageren aan het oppervlak van de elektrode met watermoleculen, onder vorming van Co^{2+} ionen en losse zuurstofatomen.

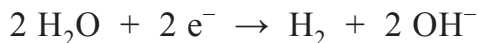
reactie 5: De losse zuurstofatomen verenigen zich tot zuurstofmoleculen.

De Co^{2+} ionen die in reactie 4 ontstaan, komen weer in de oplossing. De Co^{2+} ionen treden dus op als katalysator bij deze elektrolyse.

- 2p 11 Geef aan welke van de reacties 1, 2 en 3 halfreacties zijn. Licht je antwoord toe. Geef je antwoord als volgt weer:
reactie 1: dit is wel/niet een halfreactie want ...
reactie 2: dit is wel/niet een halfreactie want ...
reactie 3: dit is wel/niet een halfreactie want ...

- 2p 12 Geef de vergelijkingen van de beide halfreacties van reactie 4 en de totale vergelijking.

De vergelijking van de halfreactie voor de vorming van waterstof aan de kathode is hieronder weergegeven.



De onderzoekers hebben een stroomdichtheid gemeten van $0,10 \text{ mA cm}^{-2}$ aan de elektrodes.

- 3p 13 Bereken hoeveel mL waterstof ($T = 298 \text{ K}$, $p = p_0$) aan de kathode in een uur wordt geproduceerd per cm^2 .
Gebruik onder andere de volgende gegevens:
– $1 \text{ A} = 1 \text{ C s}^{-1}$;
– de lading van 1 mol elektronen bedraagt $9,64853 \cdot 10^4 \text{ C}$;