

## Vonkremmers

Bij hoogspanningsschakelaars en windturbines ontstaan er soms grote vonken als de stroom wordt in- en uitgeschakeld. Deze vonken geven storingen op het elektriciteitsnet en kunnen apparatuur beschadigen. Daarom zitten de contactpunten van dergelijke schakelaars in een behuizing die gevuld is met een vonkremmend gas.

Een vonkremmend gas heeft een hoge doorslagspanning, dat is de spanning waarbij geleiding optreedt (bij bepaalde druk).

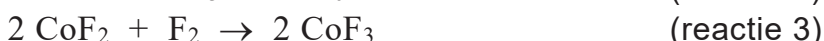
De geleiding treedt op omdat bij hoge spanning gasmoleculen (X) bij de contactpunten geïoniseerd raken volgens  $X(g) + e^- \rightarrow X^+(g) + 2e^-$ . Bij lage druk is de doorslagspanning groot.

- 2p **20** Leg uit dat bij lage druk de doorslagspanning groot is. Gebruik hierbij begrippen uit het botsende-deeltjes-model.

Een veel toegepast vonkremmend gas is zwavelhexafluoride ( $SF_6$ ). Dit gas wordt industrieel geproduceerd uit de elementen zwavel en fluor (proces 1).

Fluor ( $F_2$ ) is een giftig en agressief gas. Onderzoekers hebben daarom een andere syntheseroute ontwikkeld (proces 2). De reacties van proces 2 verlopen bij aanzienlijk lagere temperatuur dan bij proces 1.

In proces 2 treden drie reacties op:



In proces 2 wordt netto geen  $CoF_3$  verbruikt.

De vormingswarmte van  $SF_6$  is  $-12,25 \cdot 10^5 \text{ J mol}^{-1}$ .

- 4p **21** Voer de volgende opdrachten uit:
- Geef de totaalvergelijking van proces 2.
  - Bereken de reactiewarmte van proces 2 per mol  $SF_6$ .

In een brochure staat: "Dit alternatieve proces voldoet beter aan de uitgangspunten van groene chemie dan het standaard industriële proces."

- 2p **22** Geef één argument vóór en twee argumenten tégen deze stelling. Noteer je antwoord als volgt:
- Voor: ...
- Tegen: ...
- Tegen: ...

Zwavelhexafluoride is niet giftig, maar het is wel een sterk broeikasgas. Het is mogelijk om zwavelhexafluoride in hoogspanningsschakelaars te vervangen door andere stoffen, zoals Novec™ 4710 (C<sub>4</sub>F<sub>7</sub>N). Deze stof wordt in enkele stappen gemaakt. In het totale proces zijn de beginstoffen hierbij methylpropaanzuur, HF en NH<sub>3</sub>. De andere stoffen die worden gevormd, zijn waterstof en water. Bij de omzettingen blijft het koolstofskelet gelijk, maar wordt de COOH-groep omgezet tot een CN-groep.

- 4p 23 Geef de vergelijking voor deze vorming van Novec™ 4710. Gebruik hierbij structuurformules voor de koolstofverbindingen.

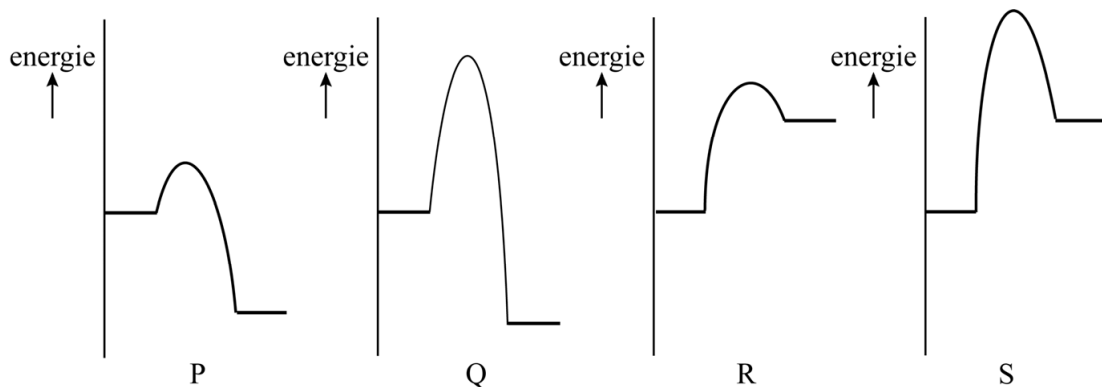
In experimenten met zuiver Novec™ 4710 werd de spanning op de contactpunten zo hoog opgevoerd, dat er toch een elektrische ontlading plaatsvond in de schakelaar.

Het bleek dat hierbij ontleding van Novec™ 4710 tot de elementen optreedt. Deze reactie treedt pas op bij zeer hoge waarden van de toegevoerde energie.

De vormingswarmte van Novec™ 4710 is  $-33 \cdot 10^5 \text{ J mol}^{-1}$ .

In de figuur zie je enkele mogelijke energiediagrammen van deze omzetting.

**figuur**



- 2p 24 Leg uit welk energiediagram het best past bij de ontleding van Novec™ 4710 tot de elementen.

Een standaard schakelaar bevat 60 kg zuiver SF<sub>6</sub>. In een praktijkproef konden vergelijkbare vonkremmende resultaten worden bereikt door een gasmengsel van stikstof en Novec™ 4710 te gebruiken met daarin 20,8 kg Novec™ 4710.

De mate waarin een stof bijdraagt aan het versterkt broeikaseffect wordt uitgedrukt in de GWP (global warming potential). De GWP van een stof is gedefinieerd als het opwarmingsvermogen van 1,0 kg van de stof in vergelijking met 1,0 kg CO<sub>2</sub>, berekend over een periode van 100 jaar.

Om te berekenen welke winst er wordt gehaald met het oog op het broeikaseffect, gaat men uit van een situatie waarbij alle gas uit de schakelaar ontsnapt. Hierbij wordt de bijdrage aan het broeikaseffect omgerekend naar overeenkomende massa CO<sub>2</sub>-uitstoot. De GWP-waarde van SF<sub>6</sub> is 22 800 terwijl Novec™ 4710 een GWP-waarde van slechts 2100 heeft.

- 2p 25 Bereken met hoeveel procent de bijdrage aan het broeikaseffect daalt in de praktijkproef.

---

**Bronvermelding**

*Een opsomming van de in dit examen gebruikte bronnen, zoals teksten en afbeeldingen, is te vinden in het bij dit examen behorende correctievoorschrift.*