

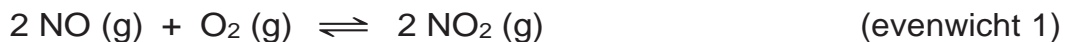
Distikstoftetraoxide ( $\text{N}_2\text{O}_4$ ) is een sterke oxidator, die onder andere wordt gebruikt in raketmotoren.  $\text{N}_2\text{O}_4$  ontstaat als bijproduct bij de productie van salpeterzuur ( $\text{HNO}_3$ ). Door de toegenomen vraag naar  $\text{N}_2\text{O}_4$  wordt onderzoek gedaan of het mogelijk is om salpeterzuurfabrieken om te bouwen naar  $\text{N}_2\text{O}_4$ -fabrieken.

Op basis van het onderzoek werd een aangepast proces voorgesteld met twee reactoren. In reactor 1 (R1) reageert ammoniak met een overmaat zuurstof tot stikstofmono-oxide en waterdamp.

4p **18** Voer de volgende opdrachten uit:

- Geef de vergelijking van de reactie die verloopt in R1.
- Bereken de reactiewarmte van deze reactie in joule per mol ammoniak.

Het gasmengsel afkomstig uit R1 wordt in scheidingsruimte 1 (S1) gebracht, waar water volledig wordt afgescheiden. Het gevormde stikstofmono-oxide reageert vervolgens in reactor 2 (R2) met zuurstof tot stikstofdioxide, waarbij zich twee evenwichten instellen.



De reactie naar rechts is voor beide evenwichten in R2 exotherm.

Onderdeel van het onderzoek was de vraag hoe het rendement van de productie van  $\text{N}_2\text{O}_4$  kan worden verhoogd door de druk en de temperatuur in R2 te variëren.

2p **19** Noteer in de tabel op de uitwerkbijlage hoe de ligging van elk evenwicht wordt beïnvloed als de druk en/of de temperatuur wordt verhoogd.

- Noteer 'links' als de reactie naar links wordt bevorderd.
- Noteer 'rechts' als de reactie naar rechts wordt bevorderd.

De uitstroom van R2 wordt in een scheidingsruimte gebracht, waar  $\text{N}_2\text{O}_4$  in vloeibare vorm wordt afgescheiden van de rest van het gasmengsel.

De onderzoekers hebben op basis van het onderzoek een mogelijk blokschema voorgesteld van een  $\text{N}_2\text{O}_4$ -fabriek.

4p **20** Maak op de uitwerkbijlage het voorgestelde blokschema compleet.

Neem aan dat in de uitstroom van R2 geen zuurstof meer aanwezig is.

- Teken ontbrekende reactoren en scheidingsruimtes.
- Teken ontbrekende pijlen en noteer ontbrekende stoffen bij alle pijlen. Houd hierbij rekening met hergebruik van stoffen.
- Neem aan dat bij het proces behalve water geen afval vrijkomt.



$\text{N}_2\text{O}_4$  kan in een raketmotor worden gebruikt als oxidator. De brandstof is hierbij bijvoorbeeld monomethylhydrazine (MMH, zie de figuur).

figuur



MMH en  $\text{N}_2\text{O}_4$  vormen een zogeheten 'hypergool mengsel'. Dat is een mengsel dat spontaan ontbrandt als de stoffen worden gemengd. Onderzoek heeft uitgewezen dat er bij contact tussen MMH en  $\text{N}_2\text{O}_4$  twee reacties verlopen. Eerst verloopt een ontstekingsreactie (reactie 1) die genoeg energie levert, zodat de uiteindelijke verbrandingsreactie (reactie 2) kan starten. In reactie 2 worden MMH en  $\text{N}_2\text{O}_4$  omgezet tot stikstof, koolstofdioxide en waterdamp.

3p **21** Geef de vergelijking van reactie 2. Gebruik hierbij molecuulformules.

Op de uitwerkbijlage zijn twee energiediagrammen onvolledig weergegeven: een voor de ontstekingsreactie (reactie 1) en een voor de uiteindelijke verbrandingsreactie (reactie 2). Beide energiediagrammen zijn op dezelfde schaal weergegeven.

2p **22** Maak op de uitwerkbijlage beide energiediagrammen compleet met de energieniveaus van de geactiveerde toestanden en van de reactieproducten. Je hoeft geen bijschriften te vermelden.

Bij onderzoek in de jaren 60 naar de ontstekingsreactie is de reactie tussen MMH en  $\text{N}_2\text{O}_4$  onderzocht bij zeer lage temperaturen. MMH is vloeibaar bij de gebruikte temperaturen terwijl  $\text{N}_2\text{O}_4$  vast is. Het smeltpunt van MMH is  $-52\text{ }^\circ\text{C}$ .

2p **23** Leg uit tussen welke temperatuurgrenzen dit onderzoek heeft plaatsgevonden. Noteer je antwoord als volgt: ... K  $\leq$  temperatuur  $\leq$  ... K. Gebruik Binas-tabel 42A of ScienceData-tabel 8.3a.



Uit dit onderzoek volgde dat meerdere isomeren van  $N_2O_4$  in het mengsel aanwezig waren en dat een van deze isomeren,  $ONONO_2$  betrokken was bij de ontstekingsreactie.

Door de koeling vonden vervolgreacties niet plaats en was men in staat de reactieproducten van de ontstekingsreactie te onderzoeken.

Op de uitwerkbijlage is het  $ONONO_2$ -isomeer weergegeven samen met het MMH-molecuul waarmee het reageert. Verder zijn de reactieproducten van de ontstekingsreactie gegeven.

3p **24** Voer de volgende opdrachten uit:

- Teken op de uitwerkbijlage links van de pijl de ontbrekende niet-bindende elektronenparen. Geef ook formele ladingen aan.
- Geef met pijlen weer hoe elektronenparen worden verplaatst tijdens de reactie.

In 1975 is er bijna een ongeluk gebeurd met een Apollo-ruimtevaartuig. Tijdens de terugkeer in de dampkring werd een luchtinlaat geopend, waardoor  $N_2O_4$  in de cabine terecht kwam. De drie aanwezige astronauten konden op tijd een zuurstofmasker opzetten.

Bij het incident is ongeveer 11 gram  $N_2O_4$  in de cabine met een volume van  $5,9 \text{ m}^3$  terecht gekomen. Gehaltes van  $N_2O_4$  boven de waarde 300 volume-ppm worden als levensgevaarlijk beschouwd.

Het molair volume van een gas is  $2,39 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3 \text{ mol}^{-1}$ .

4p **25** Voer de volgende opdrachten uit:

- Bereken het gehalte  $N_2O_4$  in de cabine in volume-ppm.  
**Geef de uitkomst in het juiste aantal significante cijfers.**
- Geef aan of het gehalte boven de grens van levensgevaar is gekomen.



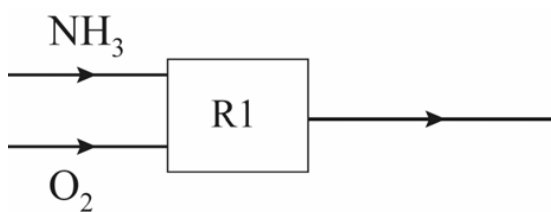
## uitwerkbijlage

Naam: .....

19

evenwicht	hogere temperatuur	hogere druk
1		
2		

20



22

