

Dit examen bestaat uit 27 vragen.
Voor elk vraagnummer is aangegeven
hoeveel punten met een goed antwoord
behaald kunnen worden.

Als bij een vraag een verklaring, uitleg of
berekening gevraagd wordt, worden aan
het antwoord meestal geen punten
toegekend als deze verklaring, uitleg of
berekening ontbreekt.

Geef niet meer antwoorden (redenen,
voorbeelden e.d.) dan er worden gevraagd.
Als er bijvoorbeeld twee redenen worden
gevraagd en je geeft meer dan twee
redenen, worden alleen de eerste twee in
de beoordeling meegeteld.

Opgave 1

Bij sommige syntheses van organische verbindingen maakt men gebruik van natriumamide (NaNH_2), opgelost in vloeibare ammoniak. Het natriumamide is in deze oplossing gesplitst in Na^+ ionen en NH_2^- ionen.

- 3p 1 ☐ Geef van NH_2^- de elektronenformule. Zet de minlading in de elektronenformule bij het juiste atoom.

Natriumamide kan worden gemaakt door natrium te laten reageren met vloeibare ammoniak. Dit is een redoxreactie waarbij, behalve opgelost natriumamide, uitsluitend waterstofgas ontstaat.

- 4p 2 ☐ Geef van de reactie tussen natrium en vloeibare ammoniak de vergelijkingen van de beide halfreacties en leid daaruit de vergelijking van de totale reactie af.

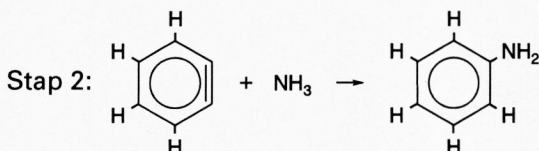
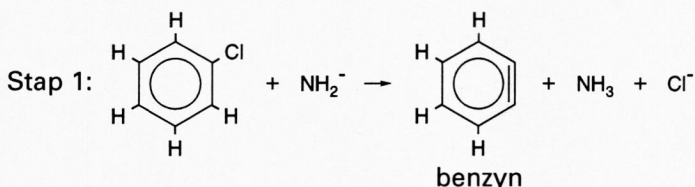
Water kan niet als oplosmiddel voor natriumamide gebruikt worden; amide-ionen kunnen in water (vrijwel) niet bestaan. Uit het gegeven dat K_b van NH_2^- veel groter is dan 1, kan afgeleid worden dat NH_2^- (vrijwel) aflopend met water reageert.

- 2p 3 ☐ Geef de vergelijking van de reactie van NH_2^- met water.

- 3p 4 ☐ Leid uit het gegeven dat K_b van NH_2^- veel groter is dan 1, af dat de reactie van NH_2^- met water (vrijwel) aflopend is. Gebruik daarbij de evenwichtsvoorwaarde met K_b .

Men gebruikt een oplossing van natriumamide in vloeibare ammoniak onder andere bij de bereiding van benzeenamine ($\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2$) uit chloorbenzeen ($\text{C}_6\text{H}_5\text{Cl}$).

Men veronderstelt dat deze reactie volgens het onderstaande mechanisme verloopt.



In de eerste stap van de reactie ontstaan molekulen benzyn. Molekulen zoals die van benzyn zijn erg reactief. Bij onderzoek van het reagerende mengsel kon benzyn dan ook niet worden aangetoond. Wel werd in het reactiemengsel een kleine hoeveelheid van een aromatische verbinding met de molekuulformule C_{12}H_8 gevonden. De structuurformule van deze stof C_{12}H_8 bleek zodanig te zijn dat het ontstaan van deze stof een ondersteuning is voor de veronderstelling dat tussentijds benzynmolekulen worden gevormd.

- 5p 5 ☐ Geef de vergelijking van de reactie volgens welke de gevonden stof C_{12}H_8 in het reactiemengsel ontstaan moet zijn. Geef de verbindingen in de vergelijking weer in structuurformules.

Als men 1-chloor-3-methylbenzeen laat reageren met een oplossing van natriumamide in vloeibare ammoniak, mag men het ontstaan van drie verbindingen met de formule $\text{CH}_3 - \text{C}_6\text{H}_4 - \text{NH}_2$ verwachten. Men neemt aan dat 1-chloor-3-methylbenzeen volgens hetzelfde mechanisme reageert met een oplossing van natriumamide in vloeibare ammoniak als chloorbenzeen dat doet.

- 1p **6** ☐ Geef de structuurformules van de drie verbindingen $\text{CH}_3 - \text{C}_6\text{H}_4 - \text{NH}_2$.
 5p **7** ☐ Leg aan de hand van het gegeven mechanisme uit dat alle drie verbindingen $\text{CH}_3 - \text{C}_6\text{H}_4 - \text{NH}_2$ naar verwachting zullen ontstaan als men 1-chloor-3-methylbenzeen laat reageren met een oplossing van natriumamide in vloeibare ammoniak.

Opgave 2

In de atmosfeer bevindt zich op ongeveer 25 km hoogte de zogenoemde ozonlaag. Het gemiddelde volumepercentage ozon (O_3) in deze laag is $3,3 \cdot 10^{-4} \%$. In de ozonlaag is het gemiddelde volume van $1,0 \text{ mol gas } 5,0 \cdot 10^2 \text{ dm}^3$.

- 3p **8** ☐ Bereken het gemiddelde aantal molekulen ozon per dm^3 lucht in de ozonlaag.

Ozon speelt een belangrijke rol in het absorberen van ultraviolette (UV) straling van het zonlicht. Niet alleen het ozon in de ozonlaag, maar ook het ozon uit de andere delen van de atmosfeer draagt daartoe bij.

De totale hoeveelheid ozon in een verticale luchtkolom op een bepaalde plaats op aarde wordt uitgedrukt in Dobson-eenheden. Daartoe wordt denkbeeldig alle ozon in die verticale luchtkolom samengedrukt tot een laagje (zuiver, gasvormig) ozon met een druk van $p = p_0$ en een temperatuur $T = 273 \text{ K}$.

De hoogte van dit laagje is een maat voor de totale hoeveelheid ozon in de luchtkolom op die bepaalde plaats op aarde. Eén Dobson-eenheid komt overeen met een laagje (zuiver, gasvormig) ozon ($p = p_0$, $T = 273 \text{ K}$) van $1,00 \cdot 10^{-3} \text{ cm}$.

De concentratie van ozon in dat denkbeeldige laagje is $4,5 \cdot 10^{-2} \text{ mol dm}^{-3}$.

- 2p **9** ☐ Laat met een berekening zien dat $[\text{O}_3]$ in dat laagje $4,5 \cdot 10^{-2} \text{ mol dm}^{-3}$ is.

In Nederland heeft de totale hoeveelheid ozon in een verticale luchtkolom een gemiddelde waarde van 350 Dobson-eenheden.

De extinctiecoëfficiënt ϵ van ozon voor UV straling met een golflengte van 300 nm bedraagt $2,54 \cdot 10^2 (\text{dm}^3 \text{ mol}^{-1} \text{ cm}^{-1})$.

Uit bovenstaande gegevens kan met behulp van de wet van Lambert-Beer (zie

Binas tabel 36 E) berekend worden welk deel $\left(\frac{I}{I_0}\right)$ van de UV-straling met een golflengte

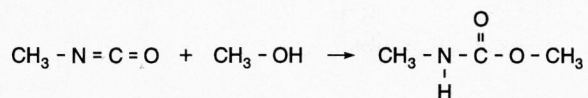
van 300 nm door de atmosfeer wordt doorgelaten (bij loodrechte instraling van het zonlicht op het aardoppervlak). Hierbij wordt aangenomen dat van alle bestanddelen uit de atmosfeer alleen ozon UV-straling met een golflengte van 300 nm absorbeert.

- 3p **10** ☐ Bereken uit bovenstaande gegevens welk deel van de UV-straling met een golflengte van 300 nm door de atmosfeer boven Nederland wordt doorgelaten (bij loodrechte instraling van het zonlicht op het aardoppervlak).

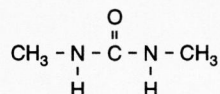
Opgave 3

Organische verbindingen waarbij in de molekulen een $-N=C=O$ groep voorkomt, heten isocyanaten. Een voorbeeld hiervan is methylisocyanaat ($CH_3-N=C=O$). Een isocyanaat kan reageren met elke verbinding waarvan de molekulen OH groepen bevatten; hierbij vindt additie plaats.

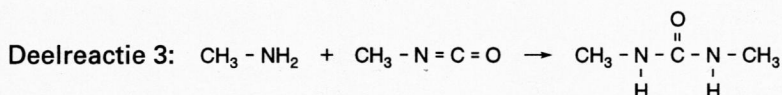
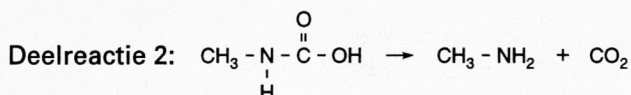
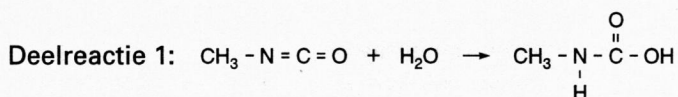
Zo reageert methylisocyanaat als volgt met methanol:



Een isocyanaat reageert ook met water. Bij toevoeging van voldoende methylisocyanaat aan water ontstaat een verbinding met de volgende structuurformule:



Bij de vorming van één molecuul van deze verbinding zijn twee molekulen $CH_3-N=C=O$ betrokken. Daarbij treden achtereenvolgens de volgende deelreacties op:

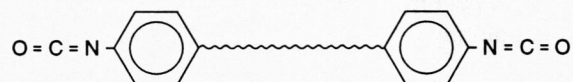


Bij een proef voegde men 1,0 mol methylisocyanaat toe aan 0,7 mol water. Na afloop van het experiment was geen methylisocyanaat en geen water meer aanwezig.

- 3p **11** ☐ Leid af hoeveel mol $CH_3-\underset{\text{H}}{\underset{|}{N}}-\overset{\text{O}}{\overset{||}{C}}-\underset{\text{H}}{\underset{|}{N}}-CH_3$ bij deze proef is ontstaan.

Een bepaalde soort houtlijm bestaat uit een polymeer waarvan de molekulen aan de uiteinden  $-N=C=O$ groepen bevatten.

Zo'n diisocyanaatmolecuul kan als volgt worden weergegeven:

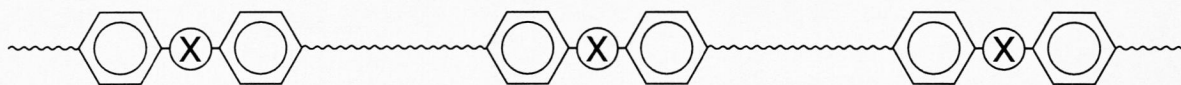


De gemiddelde grootte van de polymereermolekulen is zodanig dat de houtlijm onder normale omstandigheden een stroperige vloeistof is. Enige tijd nadat de houtlijm is aangebracht, wordt deze vast.

Hout bestaat voor een groot deel uit cellulose, $(C_6H_{10}O_5)_n$ (zie voor de structuurformule Binas tabel 67 A3). Bij het lijmen reageren cellulosemolekulen die zich aan het oppervlak van het hout bevinden, met molekulen van de houtlijm. Men neemt aan dat bij het tot stand komen van zo'n reactie telkens één van de $-N=C=O$ groepen van een diisocyanaatmolecuul betrokken is.

- 3p **12** ☐ Leg op grond van gegevens in deze opgave en in Binas uit hoeveel diisocyanaatmolekulen uit de lijn theoretisch maximaal met één cellulose-eenheid $C_6H_{10}O_5$ kunnen reageren.

Het vast worden van de houtlijm wordt niet alleen veroorzaakt door de hechting van de lijm aan het hout. Ook de rest van de houtlijm, die niet in aanraking is met het hout, wordt na enige tijd vast. In de ontstane vaste lijm hebben zich tevens gasbelletjes gevormd. Men neemt aan dat de vorming van de gasbelletjes en de vorming van de vaste lijm een gevolg zijn van reacties van watermolekulen, afkomstig uit het (vochtige) hout, met diisocyanaatmolekulen. Door die reacties zijn lange molekulen ontstaan die als volgt kunnen worden weergegeven:



Hierin stelt (X) een nieuw gevormde atoomgroep voor.

- 2p **13** ☐ Geef aan hoe met de gegevens in deze opgave de vorming van de gasbelletjes is te verklaren.
- 4p **14** ☐ Geef de atoomgroep (X) in een structuurformule weer.

Opgave 4

In een oplossing van waterstoffluoride heeft zich het volgende evenwicht ingesteld:



In deze oplossing is $[\text{H}_3\text{O}^+]$ niet gelijk aan $[\text{F}^-]$. Dit komt omdat een deel van de F^- ionen in de oplossing is gebonden aan HF molekulen:



In een waterstoffluoride-oplossing van 298 K met $\text{pH} = 1,52$ is $[\text{HF}] = 1,0 \text{ mol l}^{-1}$. In deze oplossing is $[\text{F}^-]$ veel kleiner dan $1,0 \text{ mol l}^{-1}$.

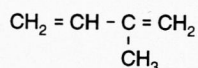
- 3p **15** ☐ Bereken voor deze oplossing $[\text{F}^-]$ in mol l^{-1} .
- 4p **16** ☐ Bereken de waarde van de evenwichtsconstante K van evenwicht 2 bij 298 K.

In 100 ml van een waterstoffluoride-oplossing met $\text{pH} = 1,52$ lost men enkele grammen van het zout KHF_2 op. Dit zout splitst zich in K^+ ionen en HF_2^- ionen.

- 17** ☐ Leg aan de hand van de evenwichten 1 en 2 uit of de pH van de dan verkregen oplossing lager dan 1,52, gelijk aan 1,52 of hoger dan 1,52 zal zijn. Hierbij mag worden aangenomen dat het volume van de oplossing door het oplossen van het KHF_2 niet verandert.

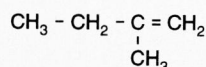
Opgave 5

Bij het kraken van aardolie ontstaan onder andere onverzadigde verbindingen. Eén van die verbindingen is isopreen (C_5H_8). De structuurformule van isopreen is:



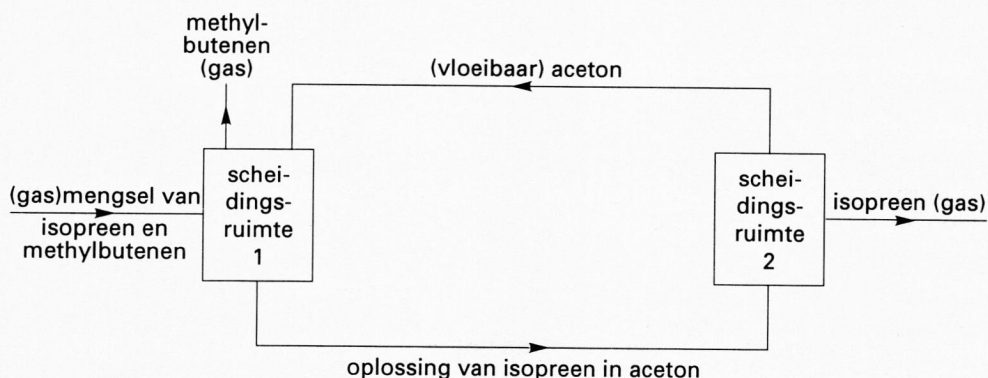
Bij de bereiding van isopreen in de industrie wordt na een aantal bewerkingen uitgaande van aardolie een mengsel verkregen dat, behalve isopreen, ook methylbutenen (C_5H_{10}) bevat.

Er zijn verscheidene soorten methylbutenen. Eén van de methylbutenen heeft de volgende structuurformule:



2p **18** ☐ Geef de systematische naam van deze verbinding.

Om isopreen te scheiden van de methylbutenen wordt een continu proces toegepast dat als volgt in een blokschema is weer te geven.



Uit het blokschema is af te leiden op welke verschillen in eigenschappen tussen de betrokken stoffen de scheiding in ruimte 1 en de scheiding in ruimte 2 berusten.

2p **19** ☐ Op welk verschil in eigenschappen tussen isopreen en methylbutenen berust de scheiding in ruimte 1?

2p **20** ☐ Op welk verschil in eigenschappen tussen isopreen en aceton berust de scheiding in ruimte 2?

Methylbutenen worden in een reactor door verhitting onder invloed van een katalysator omgezet in isopreen en waterstof. Daarbij stelt zich in de reactor het volgende evenwicht in:



Deze reactie is naar rechts endotherm. Men kan met gegevens uit tabel 58 van Binas de enthalpieverandering ΔH van deze reactie bij $T = 298 \text{ K}$ en $p = p_0$ berekenen.

5p **21** ☐ Bereken van reactie 1 naar rechts ΔH in joule per mol $C_5H_{10}(g)$.

Behalve reactie 1 vindt in de reactor ook de volgende reactie plaats:



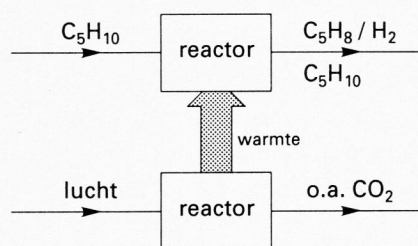
Ook reactie 2 is endotherm. Omgerekend naar $T = 298 \text{ K}$ en $p = p_0$ geldt voor reactie 2:

$$\Delta H = +0,44 \cdot 10^5 \text{ joule per mol } \text{C}_5\text{H}_{10}(\text{g}).$$

Van elke 100 mol methylbutenen die reageren, worden 85 mol volgens reactie 1 en 15 mol volgens reactie 2 omgezet.

Door het optreden van reactie 2 vindt verkoling plaats. Daardoor vervuult de katalysator zo sterk dat deze na enige tijd niet meer goed werkzaam is. Om ervoor te zorgen dat de katalysator goed werkzaam blijft, moet de ontstane koolstof op gezette tijden verwijderd worden: men spreekt dan van regeneratie van de katalysator. Daartoe wordt het productieproces in de reactor enige tijd gestopt. De regeneratie vindt plaats door in die tijd lucht door de reactor te blazen, waardoor de koolstof volledig wordt omgezet in koolstofdioxide. Tijdens de regeneratie vinden in de reactor geen andere reacties plaats. In de praktijk gebruikt men steeds twee reactoren naast elkaar: in de ene reactor vinden de reacties 1 en 2 plaats, in de andere reactor vindt regeneratie van de katalysator plaats. Elke 15 minuten wordt de invoer van C_5H_{10} in de ene reactor en de invoer van lucht in de andere reactor gewisseld. De warmte die bij de regeneratie vrijkomt, wordt gebruikt voor de reacties die in de andere reactor optreden.

Schematisch kan dit (half-)continue proces als volgt worden weergegeven:



- 5p **22** ☐ Laat met een berekening zien of in dit (half-)continue proces, omgerekend naar $T = 298 \text{ K}$ en $p = p_0$, de warmteopbrengst van de regeneratie voldoende groot is voor het laten verlopen van de reacties 1 en 2, zoals ze in de andere reactor optreden. Maak bij de berekening onder andere gebruik van de uitkomst van vraag 21 (neem, als bij vraag 21 eventueel geen uitkomst is verkregen, een uitkomst aan).

Uit het verkregen mengsel van isopreen, waterstof en overgebleven methylbutenen wordt het isopreen afgescheiden. Isopreen wordt onder andere gebruikt bij de productie van butylrubber; dit is het materiaal waaruit binnenbanden van bijvoorbeeld fietsen bestaan. Butylrubber is een zogenoemd copolymeer. Een copolymeer bestaat uit lange ketens, opgebouwd uit meer dan één soort monomeren. Butylrubber is opgebouwd uit twee soorten monomeren, namelijk isopreen en methylpropeen. Bij het maken van butylrubber wordt meer methylpropeen dan isopreen gebruikt.

- 5p **23** ☐ Geef van butylrubber een gedeelte uit het midden van een molecuul in structuurformule weer. Dit gedeelte dient te zijn opgebouwd uit vier monomeereenheden in de volgorde methylpropeen, isopreen, methylpropeen, methylpropeen.

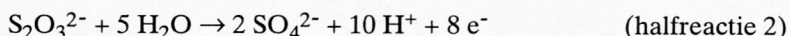
Let op: de laatste vragen van dit examen staan op de volgende pagina.

Opgave 6

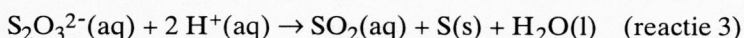
Oplossingen van natriumthiosulfaat ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) kunnen reageren met een halogeen. Daarbij reageert $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ op een manier die afhangt van het gebruikte halogeen. Bij de reactie met jood (I_2) wordt thiosulfaat omgezet in tetrathionaat:



Bij de reactie met chloor (Cl_2) wordt thiosulfaat omgezet in sulfaat:



Bij een proef voegt men een overmaat chloor in oplossing toe aan een natriumthiosulfaatoplossing. Er wordt een troebeling waargenomen. Men schrijft die troebeling toe aan het ontstaan van zwavel als gevolg van het optreden van de volgende reactie:



Deze reactie treedt niet op als de proef herhaald wordt met jood in plaats van chloor.

- 3p **24** ☐ Geef de oorzaak van het feit dat deze reactie niet optreedt bij samenvoegen van oplossingen van jood en natriumthiosulfaat.

Bij de proef waarbij een overmaat chloor in oplossing wordt toegevoegd aan een natriumthiosulfaatoplossing wordt onder andere SO_4^{2-} gevormd. Aangenomen mag worden dat geen HSO_4^- gevormd wordt. Als men veronderstelt dat bij deze proef de verhouding waarin $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ ionen volgens halfreactie 2 en volgens reactie 3 reageren, 9 : 1 is, mag men verwachten dat uit 10 mmol $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ 19 mmol SO_4^{2-} zal ontstaan: behalve de 18 mmol SO_4^{2-} die in dat geval (volgens halfreactie 2) uit 9 mmol $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ zal ontstaan, zal namelijk nog 1 mmol SO_4^{2-} extra gevormd worden. De vorming van 1 mmol SO_4^{2-} extra is het gevolg van een andere reactie die heeft plaatsgevonden; van deze reactie zijn gegevens in Binas te vinden.

- 4p **25** ☐ Leg uit hoe de vorming van 1 mmol SO_4^{2-} extra verklaard moet worden.

Als oplossingen van broom (Br_2) en natriumthiosulfaat worden samengevoegd kan het thiosulfaat zowel volgens halfreactie 1 als volgens halfreactie 2 reageren.

Bij een bepaling wordt in een erlenmeyer aan 0,120 mmol broom in oplossing 0,188 mmol natriumthiosulfaat in oplossing toegevoegd. De toegevoegde hoeveelheid thiosulfaat is een overmaat. Tijdens het samenvoegen van de oplossingen wordt goed geroerd. Men neemt aan dat het broom volledig wordt omgezet. Vervolgens wordt het thiosulfaat dat niet met broom heeft gereageerd, teruggetitreerd met een joodoplossing. Hiervoor blijkt 0,0458 mmol jood nodig te zijn.

Men neemt aan dat bij deze bepaling een deel van het thiosulfaat volgens halfreactie 1 en het andere deel volgens halfreactie 2 met broom heeft gereageerd. Omdat bij de bepaling geen troebeling wordt waargenomen, mag worden aangenomen dat reactie 3 niet heeft plaatsgevonden.

- 2p **26** ☐ Bereken voor deze bepaling het totale aantal mmol thiosulfaat dat met broom heeft gereageerd.
- 5p **27** ☐ Bereken voor deze bepaling hoeveel mmol thiosulfaat met broom heeft gereageerd volgens halfreactie 1. Stel dit aantal mmol thiosulfaat bij de berekening op x.

Einde