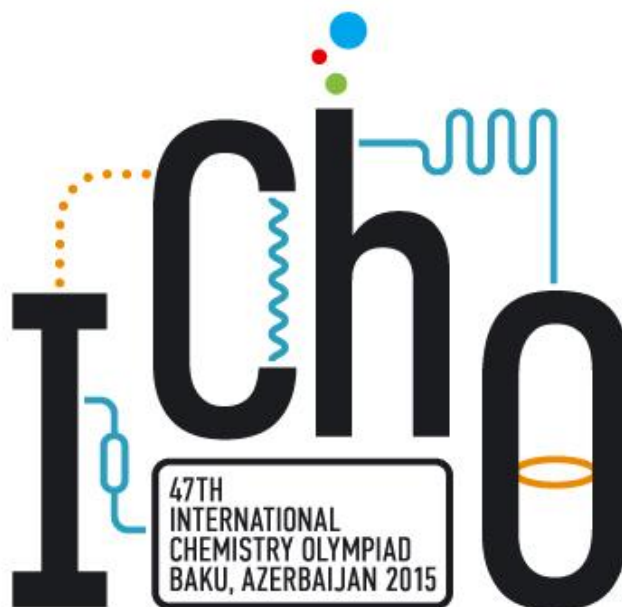


Life is a huge lab



THEORIETOETS

25 JULI 2015

BAKOE, AZERBEIDZJAN

Land:	
Naam:	
Studentcode:	
Taal:	

Algemene aanwijzingen

- Je krijgt 5 uur om alle opgaven te maken. Als je niet stopt na het STOP signaal kan dat ertoe leiden dat je geen punten krijgt voor de opgave waar je mee bezig was.
- Schrijf je antwoorden en berekeningen in de daartoe bestemde vakken. Geef, wanneer daarom gevraagd wordt, alle berekeningen en afleidingen.
- Gebruik alleen de verstrekte pen en rekenmachine.
- Als je kladpapier nodig hebt, kun je de achterkant van de bladzijden uit het opgavenboekje gebruiken. Wat daar staat, wordt niet beoordeeld.
- Het boekje bestaat uit **43** pagina's, inclusief voorblad, antwoordvakken en Periodiek Systeem.
- De officiële Engelse versie is, alleen als er onduidelijkheden in de vertaling voorkomen, op verzoek in te zien.
- Als je naar de WC wilt, steek je je hand op. Iemand begeleidt je dan daar naar toe.
- **Na het STOP signaal** doe je je boekje in de envelop (niet dichtplakken). Laat het op je tafel liggen. Je mag de zaal niet zonder toestemming verlaten.
- Je krijgt **15 minuten** extra leestijd voor de gehele toets.
- Op de volgende pagina staan gegevens die je bij het oplossen van de vragen kunt gebruiken.

Fysische constanten, eenheden, formules en vergelijkingen

Universele gasconstante	$R = 8,3145 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
Standaarddruk	$p_0 = 1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa} = 750 \text{ mm kwikdruk}$
Atmosferische druk	$1 \text{ atm} = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa} = 760 \text{ mm kwikdruk}$
Nulpunt van de celsiusschaal	273,15 K

Reversibel adiabatisch proces voor een ideaal gas	$pV^{1+R/C_V} = \text{constant}$
Arbeid verricht op een ideaal gas in een adiabatisch proces	$W = nC_V(T_2 - T_1)$
Afhankelijkheid van de inwendige energie van de temperatuur	$U(T_2) = U(T_1) + C_V(T_2 - T_1)$
Verband tussen de molaire isobare en molaire isochore warmtecapaciteit voor een ideaal gas	$C_p = C_V + R$
Gibbsenergie	$G = H - TS$
Verband tussen de evenwichtsconstante en de standaardgibbsenergie	$K = \exp\left(-\frac{\Delta G^\circ}{RT}\right)$
Afhankelijkheid van de gibbsenergie van een reactie van de concentratie of druk	$\Delta G = \Delta G^\circ + RT \ln \frac{a_{\text{prod}}}{a_{\text{reag}}},$ <p>$a = c / (1 \text{ mol L}^{-1})$ voor stoffen in oplossing en $a = p / (1 \text{ bar})$ voor gassen</p>
Verandering van de gibbsenergie per volume-eenheid in de tijd voor het systeem met twee chemische reacties 1 en 2, met snelheden r_1 en r_2	$\frac{\Delta G_{\text{Syst}}}{\Delta t} = \Delta G_1 r_1 + \Delta G_2 r_2$

Opgave 1. Moderne en bijna-vergeten koelmiddelen**(8 punten)**

Vraag	1			2			3	4				Totaal
	1.1	1.2	1.3	2.1	2.2	2.3		4.1	4.2	4.3	4.4	
Max. score	4	2	2	1	1	1	3	10	2	6	1	33

Pas tijdens de laatste eeuw kwam het probleem om een koelmiddel te zoeken voor koelkasten en airco's in de belangstelling van wetenschappers en ingenieurs. We stellen dat gedurende deze tijd er vier generaties koelmiddelen elkaar opvolgen.

Ammoniak, de eerste generatie, werd gebruikt in de oudste koeltoestellen. Het werd na een tijd vervangen door chloorfluorkoolwaterstoffen (CFK's) – derivaten van methaan en ethaan waarbij waterstofatomen vervangen zijn door fluor en chloor.

In de "Bakkonditionerfabriek" in Bakoe werden de eerste in serie geproduceerde airco's (BK-1500) gemaakt. Ze gebruikten hiervoor een koelmiddel van de tweede generatie, chloordifluormethaan (CHF₂Cl).

In deze eerste opgave vergelijken we verschillende koelmiddelen op het gebied van thermodynamica.



Eerste airco uit de Bakoefabriek in een souvenirwinkeltje in de Oude Stad ("Icheri Sheher")

Thermodynamische eigenschappen van enkele koelmiddelen

Koelmiddel	"Generatie"	$\Delta H_{\text{damp}} /$ kJ mol ⁻¹ (bij 280 K)	$C_{V(\text{gas})} /$ J K ⁻¹ mol ⁻¹
NH ₃	1	21,3	26,7
CHF ₂ Cl	2	20,0	48,8
CF ₃ CH ₂ F	3	22,1	79
CF ₃ CF=CH ₂	4	19,1	120

Hieronder is schematisch een model van een koelcyclus met 4 stappen weergegeven. De coördinaten in het schema zijn de druk (p) en de inwendige energie (U).

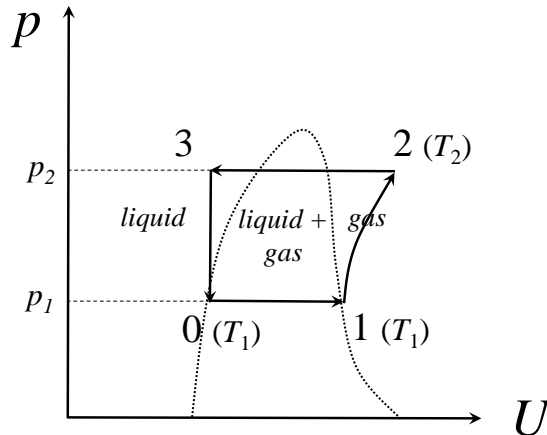


Diagram 1 (De gebogen stippellijn (puntjes) geeft de fasegrenzen aan.)

Tijdens de eerste stap van de cyclus (lijn 0-1 in diagram 1) kookt een vloeibaar koelmiddel bij een constante druk p_1 en temperatuur T_1 (kooktemperatuur) tot het volledig verdampt is. Tijdens deze stap zal het koeltoestel warmte uit de omgeving opnemen. Tijdens de tweede stap ondergaat het koelmiddel een adiabatische compressie en warmt op tot een temperatuur T_2 (lijn 1-2). Hierna wordt het koelmiddel afgekoeld in een condenser bij constante druk p_2 (lijn 2-3) en keert daarna terug tot zijn begintoestand (lijn 3-0).

We gaan ervan uit dat:

- tijdens de cyclus 1 mol koelmiddel deze veranderingen ondergaat;
- op het beginpunt (punt 0) is het koelmiddel volledig vloeibaar;
- $T_1 = 280 \text{ K}$, $T_2 = 380 \text{ K}$;
- de damp van elk koelmiddel zich als een ideaal gas gedraagt.

De thermodynamische eigenschappen van de koelmiddelen staan vermeld in de tabel op de vorige pagina.

1.1. Bereken voor ammoniak en voor chloordifluormethaan de hoeveelheid warmte Q die wordt opgenomen door het koeltoestel tijdens de warmte-uitwisseling (lijn 0-1) en de arbeid W die nodig is om de damp adiabatisch samen te drukken (lijn 1-2).

Berekeningen:

Ammoniak

$Q =$

$W =$

Chloordifluormethaan

$Q =$

$W =$

1.2. Welke grootheid (grootheden) blijft (blijven) constant tijdens de stap met de adiabatische compressie? Omcirkel deze grootheid (grootheden).

U H S G V

Om de energie-efficiëntie tijdens deze koelcyclus te kunnen vergelijken met verschillende parameters en verschillende koelmiddelen wordt het begrip prestatiecoëfficiënt (*COP*, coefficient of performance) gebruikt. Dit wordt gedefinieerd als de verhouding tussen de warmte onttrokken aan het afgekoeld systeem en de arbeid verricht door de compressor: $COP = Q/W$.

1.3. Bereken de *COP*-waarden voor ammoniak en chloordifluormethaan in een cyclus met de hierboven beschreven parameters.

Berekeningen:

Ammoniak

$COP =$

Chloordifluormethaan

$COP =$

2.1. Waarom werd ammoniak vervangen door CFK's in koeltoestellen voor huishoudelijk gebruik? (Geef slechts één keuze in het antwoordvak.)

- om de energie-efficiëntie van de koelcyclus te verhogen
- omdat bij gelijke omstandigheden de dichtheid van ammoniak kleiner is dan de dichtheid van lucht
- voor de veiligheid van de gebruiker

CFK's kunnen onherstelbare schade veroorzaken aan de beschermende ozonlaag in de atmosfeer. Toen dit bekend was, werd naar alternatieve koelmiddelen gezocht om de CFK's te vervangen. De derde, ozonvriendelijke, generatie koelmiddelen werd ontwikkeld. Typische voorbeelden hiervan zijn fluoralkanen.

2.2. Waarom veroorzaken CFK's schade aan de ozonlaag? (Geef slechts één keuze in het antwoordvak.)

- a) Ozonmoleculen binden gemakkelijk aan een C–F binding.
- b) C–F bindingen worden gemakkelijk verbroken door straling. Dit leidt tot de vorming van vrije radicalen.
- c) Ozonmoleculen binden gemakkelijk aan een C–Cl binding.
- d) C–Cl bindingen worden gemakkelijk verbroken door straling. Dit leidt tot de vorming van vrije radicalen.

Maar in het Kyoto Protocol van 1997 staat dat fluoralkanen eveneens vervangen moeten worden omdat ze zich in de atmosfeer ophopen en gemakkelijk infrarode straling absorberen. Hierdoor wordt de temperatuur van de atmosfeer (broeikaseffect) verhoogd. Koelmiddelen van de vierde generatie zoals 2,3,3,3-tetrafluorpropeen ($\text{CF}_3\text{CF}=\text{CH}_2$) komen in beeld. Deze worden meer en meer gebruikt.

2.3. Waarom heeft deze verbinding ($\text{CF}_3\text{CF}=\text{CH}_2$) minder invloed op het broeikaseffect dan fluoralkanen? (Geef slechts één keuze in het antwoordvak.)

- a) Het is reactiever en ontbindt gemakkelijker.
- b) Het reageert gemakkelijker met ozon.
- c) Het is beter oplosbaar in water.

3. Bereken de *COP*-waarden in een koelcyclus zoals hierboven beschreven voor twee koelmiddelen van de derde en vierde generatie: $\text{CF}_3\text{CH}_2\text{F}$ en $\text{CF}_3\text{CF}=\text{CH}_2$. Geef voor elk van deze stoffen aan of de energie-efficiëntie in vergelijking met CHF_2Cl wordt verhoogd. Kies telkens “Ja” of “Neen”.

Berekeningen:

$\text{CF}_3\text{CH}_2\text{F}$

COP =

Ja **Neen**

$\text{CF}_3\text{CF}=\text{CH}_2$

COP =

Ja **Neen**

In tegenstelling tot huishoudelijke toepassingen wordt in industriële koelsystemen nog vaak gebruik gemaakt van ammoniak. Het draagt niet bij tot het broeikaseffect, noch vernietigt het de ozonlaag. Industriële installaties kunnen een grote omvang hebben en een hoge kostprijs. Voorafgaand aan de bouw moeten ze ontworpen worden waarbij met veel verschillende factoren rekening moet worden gehouden. In een reëel systeem is een deel van het koelmiddel bij de start van de warmte-uitwisseling met de omgeving in de dampfase (punt 0 in het diagram hieronder) en aan het einde (punt 1) is de temperatuur gestegen tot boven het kookpunt.

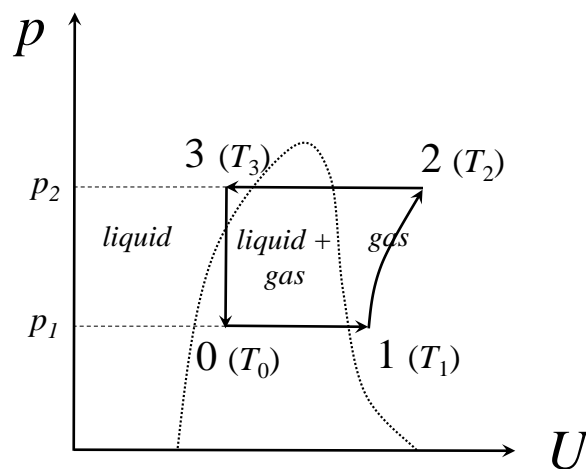


Diagram 2 (De gebogen stippellijn (puntjes) geeft de fasegrenzen aan.)

Beschouw een cyclus met 1 mol ammoniak. De thermodynamische eigenschappen zijn als volgt: verdampingsenthalpie $\Delta H_{\text{damp}} = 23,35 \text{ kJ mol}^{-1}$ bij $T_{\text{damp}} = 239,8 \text{ K}$ (kooktemperatuur bij een druk van 1 bar). De warmtecapaciteit van de vloeibare fase $C_{V(l)} = 77 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$, die van de gasfase $C_{V(\text{gas})} = 26,7 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$. Neem aan dat de warmtecapaciteiten temperatuuronafhankelijk zijn en de damp zich gedraagt als een ideaal gas. De verandering van de verzadigde dampdruk van ammoniak met de temperatuur kan worden beschreven met volgende empirische vergelijking:

$$\log(p/\text{bar}) = 4,87 - 1114 / (T/\text{K} - 10,4)$$

Tijdens de eerste stap van de cyclus (lijn 0-1 in diagram 2), neemt het evenwichtsmengsel van vloeibaar koelmiddel en zijn damp warmte op van de omgeving bij een constante druk: $p_1 = 3,0 \text{ bar}$. Het koelmiddel verdampt volledig en zijn temperatuur loopt op tot $T_1 = 275 \text{ K}$ (oververhitting). Aan het begin van het proces (punt 0) is de molaire fractie van gasvormig ammoniak: $x = 0,13$.

4.1. Bereken de begintemperatuur van het koelmiddel T_0 , zijn volumeverandering ΔV en de hoeveelheid warmte Q die door de koelinstallatie wordt opgenomen tijdens deze stap. Houd er rekening mee dat de afhankelijkheid van ΔH_{damp} met de temperatuur **niet** verwaarloosd kan worden.

Berekening:

$$T_0 =$$

$$\Delta V =$$

$$Q =$$

Het koelmiddel wordt daarna reversibel en adiabatisch samengedrukt. Het warmt op tot een temperatuur van $T_2 = 393$ K (lijn 1-2).

4.2. Bereken de arbeid W die nodig is voor de compressie en de COP van het systeem. Indien je in vraag 4.1 geen waarde kon berekenen voor Q , neem je $Q = 20,15$ kJ.

Berekening:

$$W =$$

$$COP =$$

In de volgende stap (die overeenkomt met lijn 2-3 in het diagram) wordt het samengedrukte koelmiddel afgekoeld in een condenser bij constante druk. Hierna keert het door een adiabatische expansie terug naar zijn begintoestand (arbeid = 0, lijn 3-0).

4.3. Het koelmiddel wordt gekoeld in een condenser tot temperatuur T_3 bij punt 3. Bereken deze temperatuur.

Berekening:

$$T_3 =$$

Bij de bouw van koeleenheden moet je ook rekening houden met klimaatfactoren. Als de condenser afgekoeld wordt door de buitenlucht zal de temperatuur T_3 toenemen als de temperatuur van de buitenlucht toeneemt.

4.4. Hoe zal de waarde van COP veranderen als T_3 wordt verhoogd en T_0 , T_1 , T_2 dezelfde waarde als hierboven behouden? (Geef je keuze in het antwoordvak.)

- a) verhogen
- b) gelijk blijven
- c) afnemen

--

Opgave 2. Koppeling van chemische reacties**(7 punten)**

Vraag	1			2		3	Totaal
	1.1	1.2	1.3	2.1	2.2		
Max. score	4	6	4	3	6	2	25



I. Prigogine (links)



N. Shilov



W. Ostwald

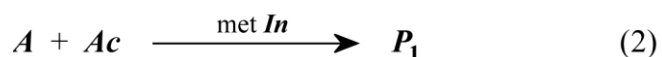
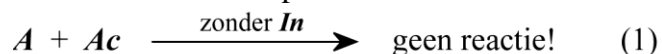
Als in een systeem de ene reactie het mogelijk maakt dat een andere reactie verloopt, dan zeggen we dat deze reacties gekoppeld zijn. Ilya Prigogine, winnaar van de Nobelprijs voor scheikunde in 1977, beschrijft het concept van ‘gekoppelde reacties’ uitgebreid in zijn boeken. Koppeling van reacties is een essentieel kenmerk van levende systemen, inclusief het menselijk lichaam.

Hoe kan een reactie het mogelijk maken dat een andere verloopt? In deze opgave gaan we een aantal mogelijke koppelingsmechanismen bekijken.

(I) “Chemische koppeling”

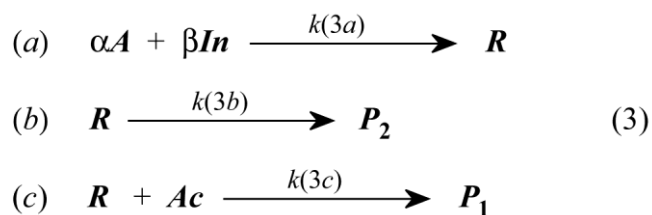
“On Chemical coupling” was de titel van het proefschrift van de Russische scheikundige N. Shilov in 1905. N. Shilov is afgestudeerd bij de beroemde professor W. Ostwald. Dr. Shilov beschreef de onderstaande set reacties.

Stof A reageert niet met Ac . In aanwezigheid van een derde reagens (inductor genoemd), In , vindt de reactie van A met Ac wel plaats:



In is geen katalysator! De concentratie van In neemt af tijdens de reacties.

In overeenstemming met het schema dat voorgesteld is door Shilov, reageert Ac niet met A zelf, maar met het intermediair R dat ontstaat na de reactie van A met In . Er is een andere concurrerende reactie waarbij R omgezet wordt tot P_2 .



α en β zijn stoichiometrische coëfficiënten. Alle andere stoichiometrische coëfficiënten en **ordes van de drie reacties met betrekking tot alle reactanten zijn gelijk aan 1**.

Bij Shilov's experimenten neemt de verhouding van de verbruikte hoeveelheden Ac en In , $I = \frac{\Delta n_{Ac}}{\Delta n_{In}}$, toe tot een constante waarde met toenemende beginconcentratie $[Ac]_0$ en $[In]_0 = \text{const}$.

1.1. Wat is deze constante waarde van I bij $[Ac]_0 \rightarrow \infty$ en $[In]_0 = \text{const}$?

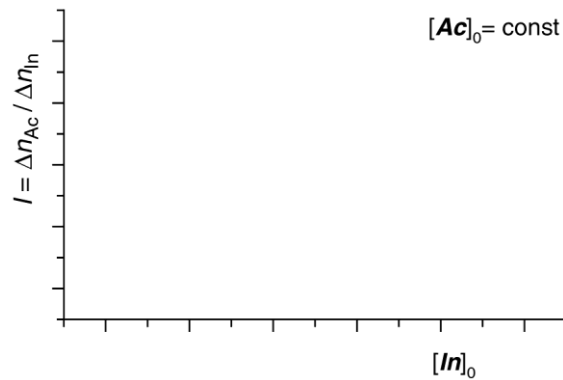
Korte uitleg:

$$I_\infty =$$

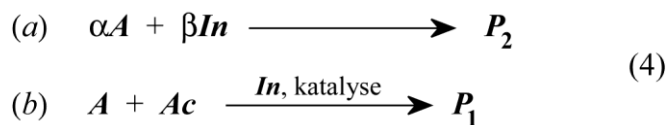
1.2. Leid een uitdrukking af voor I . Gebruik daarbij, indien nodig, de steady-state benadering. Teken de grafiek van I tegen $[In]_0$ bij $[Ac]_0 = \text{const}$. Neem aan dat In volledig opgebruikt wordt en dat Ac in overmaat aanwezig is.

Afleiding:

Grafiek



Wat zou het geval zijn als Shilov's mechanisme niet van toepassing is en In een gewone katalysator voor reactie (2) is? In dat geval reageert In tegelijkertijd met A (reactie a in onderstaand schema). De concentratie van In neemt daardoor af. Het reactieschema wordt in dit geval als volgt weergegeven; zie schema (4):



1.3. Wat is de uiteindelijke waarde van I indien dit reactieschema van toepassing is en waarbij geldt dat $[Ac]_0 \rightarrow \infty$ en $[In]_0 = \text{const}$?

Korte uitleg:

$$I_\infty =$$

(II) “Kinetische Koppeling”

De standaard gibbsenergie van de reactie in de gasfase



is positief, $\Delta G^\circ(5) = 66 \text{ kJ mol}^{-1}$ bij $T = 600 \text{ K}$.

2.1. Bereken de verhouding van de reactiesnelheden van de heen- en teruggaande reacties, $\frac{s_5}{s_{-5}}$, bij

deze temperatuur en standaarddruk van H_2 en HBr en $[\text{H}] = [\text{Br}]$?

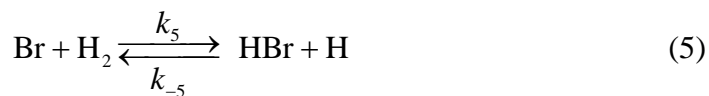
Berekening:

$$\frac{s_5}{s_{-5}} =$$

Indien je deze vraag niet kunt beantwoorden, gebruik dan bij verdere berekeningen de waarde

$$\frac{s_5}{s_{-5}} = 3,14 \cdot 10^{-7}.$$

Reactie (5) loopt af naar rechts als gevolg van reactie (6) die gelijktijdig verloopt in dit gekoppelde systeem:



k_5 , k_{-5} , k_6 zijn de reactiesnelheidsconstanten voor de heen- en teruggaande reactie (5) respectievelijk de heengaande reactie (6).

Dit is de zogenoemde *kinetische koppeling* van twee reacties.

Neem nu aan dat stoffen bestaande uit neutrale moleculen in dit geval de standaarddruk houden, $p(\text{H}_2) = p(\text{Br}_2) = p(\text{HBr}) = 1 \text{ bar}$, en de stoffen bestaande uit radicalen een druk hebben die in de steady-state bereikt wordt. De reactiesnelheidsconstante k_6 is 10 keer zo groot als k_{-5} .

2.2. Bereken $\Delta G(5)$ en $\frac{s_5}{s_{-5}}$ bij deze omstandigheden.

Berekening:

$$\Delta G(5) =$$

$$\frac{s_5}{s_{-5}} =$$

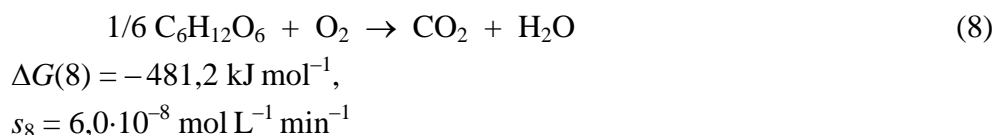
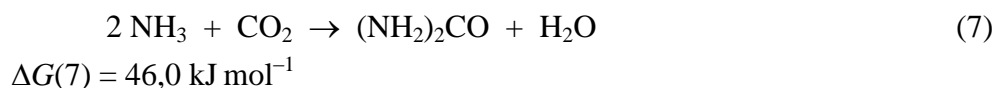
(III) “De tweede hoofdwet van de thermodynamica beperkt de koppeling”

Als gevolg van de tweede hoofdwet van de thermodynamica, kunnen twee reacties alleen gelijktijdig verlopen als de gibbsenergie van het systeem G_{syst} afneemt, $\frac{\Delta G_{\text{syst}}}{\Delta t} < 0$.

Eén van de twee reacties kan een positieve gibbsenergie hebben en toch naar rechts verlopen vanwege de koppeling met de andere reactie. De andere (tweede) reactie moet dan een negatieve gibbsenergie hebben zodat toch voldaan kan worden aan de eis van de tweede hoofdwet.

Beschouw het volgende voorbeeld.

Onder bepaalde omstandigheden is de synthese van ureum (reactie 7) gekoppeld aan de volledige oxidatie van glucose (reactie 8) bij dezelfde omstandigheden.



Dit is een vereenvoudigd reactieschema; andere (neven)reacties zijn buiten beschouwing gelaten.

3. Bereken de maximale snelheid van reactie (7), die toegestaan is op grond van de tweede hoofdwet, ervan uitgaande dat reactie (7) en reactie (8) gekoppeld zijn.

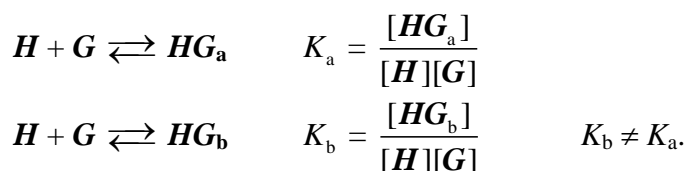
Berekening:

$$s_7(\text{max}) =$$

Opgave 3. Twee bindingscentra – competitie of samenwerking?**(7 punten)**

Vraag	1		2				Totaal
	1.1	1.2	2.1	2.2	2.3	2.4	
Max. score	3	2	8	3	6	6	28

In levende organismen gebeuren vele chemische reacties waarbij gastheer–gastcomplexen (**Host-Guest** complexen) gevormd worden. Het gastheermolecuul bindt reversibel aan één of meerdere gastmoleculen. Beschouw een gastheermolecuul **H** met twee bindingscentra (*a* en *b*). Deze centra hebben een verschillende affiniteit voor de gastmoleculen **G**:



HG_a en **HG_b** stellen een complexe verbinding voor waarbij het gastmolecuul respectievelijk is gebonden aan het centrum *a* en het centrum *b*. K_a en K_b zijn de bindingsconstanten (evenwichtsconstanten) voor de centra *a* en *b*, de vierkante haakjes stellen molaire concentraties voor.

De binding van een molecuul **G** aan **H** kan de bindingsaffiniteit van het tweede centrum veranderen. Deze verandering wordt beschreven door de “interactiefactor” β . Deze geeft de invloed weer van het ene centrum op het andere centrum. Hij wordt gedefinieerd als volgt:



HG₂ hier is de voorstelling van het volledige complex.

1.1. Bepaal het bereik (range) van de waarden van β (of één waarde indien van toepassing) dat overeenkomt met de drie mogelijke manieren van interactie tussen de bindingscentra:

- samenwerking (binding aan één centrum vergemakkelijkt de volgende binding);
- competitie (de eerste binding bemoeilijkt de tweede binding);
- onverschillig (geen interactie).

Samenwerking:

Competitie:

Onverschillig:

1.2. Geef de uitdrukking van de evenwichtsconstante voor het proces $HG_b + G \rightleftharpoons HG_2$ in termen van bindingsconstante(n) en interactiefactor.

Berekening:

$$K =$$

2.1. De oplossing werd bereid met de beginconcentraties $[H]_0 = 1 \text{ mol L}^{-1}$ and $[G]_0 = 2 \text{ mol L}^{-1}$. Na afloop van de reacties is de concentratie van H met een factor 10 afgenomen en die van G met een factor 4. Voor deze gastheer- en gastmoleculen geldt $K_b = 2 K_a$. Bepaal de concentraties van alle andere deeltjes in de oplossing en bereken de bindingsconstante K_a en de factor β .

Berekening:

$$[HG_a] =$$

$$[HG_b] =$$

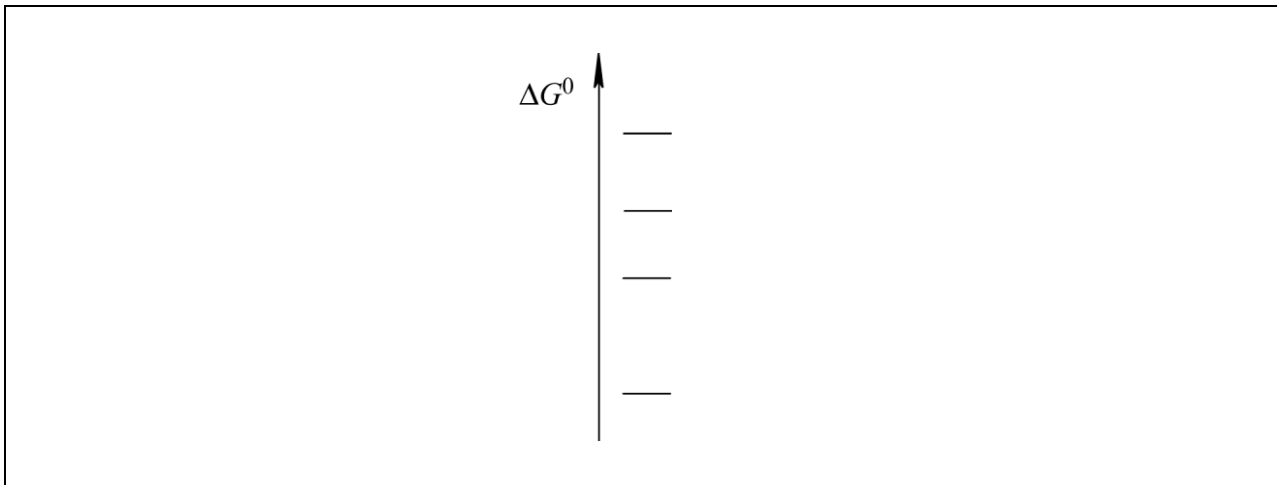
$$[HG_2] =$$

$$K_a =$$

$$\beta =$$

Indien je geen antwoord vindt voor deze vraag gebruik dan voor verdere berekeningen de waarden: $K_a = 3,14$ en $\beta = 2,72$.

2.2. Rangschik de standaard molaire gibbsvormingsenergie voor de gastheer **H** en alle gastheer-gast-complexen van **H** and **G**. Schrijf de overeenkomstige formule naast elke lijn in onderstaand schema.



2.3. Een hoeveelheid **G** werd toegevoegd aan 1 mol **H**. Het mengsel werd opgelost in water tot een volume van 1 liter. Het aantal van de volledig gebonden moleculen **HG₂** in de oplossing is gelijk aan het totaal aantal enkelvoudig gebonden moleculen **HG**. Bereken de beginhoeveelheid **G** (in mol). De constanten K_a en K_b en de factor β zijn dezelfde als in vraag 2.1.

Berekening:

$$n_0(G) =$$

2.4. Geef de uitdrukking van de evenwichtsconstante van de oplossing als: a) $\beta = 0$; b) β is zeer groot ($\beta \rightarrow \infty$). Neem voor de constanten K_a en K_b en de beginconcentraties van **H** en **G** dezelfde waarden als in vraag 2.1.

$$\beta = 0$$

Berekening:

$$\begin{array}{llll} [H] = & [G] = & [HG_a] = & [HG_b] = \\ [HG_2] = & & & \end{array}$$

$$\beta \rightarrow \infty$$

Berekening (of argumentatie):

$$\begin{array}{llll} [H] = & [G] = & [HG_a] = & [HG_b] = \\ [HG_2] = & & & \end{array}$$

Opgave 4. Het ene gele poeder leidt tot het andere: een ‘simpele’ anorganische puzzel**(6 punten)**

Vraag	1	2	3	4	Totaal
Max. score	8	8	3	5	24

X₁ is een zogenoemde binaire verbinding: in de moleculen komen twee atoomsoorten voor. **X**₁ is een geel poeder. Een bepaalde hoeveelheid **X**₁ werd, onder verwarming, volledig opgelost in geconcentreerd salpeterzuur. Er ontstond een gas waarvan de dichtheid 1,586 keer zo groot was als de dichtheid van lucht.

Aan de ontstane oplossing werd overmaat bariumchloride toegevoegd. Daarbij ontstond een neerslag van een witte vaste stof **X**₂. Het neerslag werd afgefiltreerd.

Aan het filtraat werd overmaat zilversulfaatoplossing toegevoegd. Hierbij ontstond een neerslag van twee vaste stoffen **X**₂ en **X**₃. Deze stoffen werden ook door middel van filtratie verwijderd.

Aan het nieuwe filtraat werd druppelsgewijs een oplossing van natriumhydroxide toegevoegd tot de oplossing vrijwel neutraal was (pH ongeveer 7). Op dat moment ontstond een neerslag van een geel poeder, **X**₄, met 77,31 massa% Ag. De massa van **X**₄ is bijna 2,4 keer zo groot als de massa van het aanvankelijk ontstane **X**₂.

1. Bepaal de formules van **X**₁ – **X**₄.

Berekening:

X₁ =

X₂ =

X₃ =

X₄ =

2. Bepaal door middel van een berekening de formule van het gas en geef vergelijkingen voor alle opgetreden reacties.

Berekening:

Formule van het gas: _____

Oplossen van \mathbf{X}_1 :

Vorming van \mathbf{X}_2 :

Vorming van \mathbf{X}_2 en \mathbf{X}_3 :

Toevoegen van NaOH en vorming van \mathbf{X}_4 :

3. In de ruimtelijke structuur van een molecuul \mathbf{X}_1 nemen alle atomen van één element equivalente posities in. Teken de ruimtelijke structuur van een molecuul \mathbf{X}_1 .

4. Voorspel welke producten ontstaan als:

- a) X_1 reageert met overmaat zuurstof (dizuurstof);
- b) X_1 reageert met overmaat warm geconcentreerd zwavelzuur;
- c) X_1 reageert met vast $KClO_3$, waarbij beide poeders worden samengewreven.

Geef de reactievergelijkingen.

a)

b)

c)

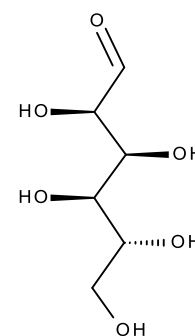
Opgave 5. Onmisbaar glucose**(8 punten)**

Vraag	1						2					Totaal
	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	
Max. score	2	3	6	4	6	1	2	2	4	2	2	34

Koolhydraten zijn de belangrijkste energieleveranciers voor levende cellen. Het monosaccharide glucose is de energiebron voor levende cellen. Glucose kan echter gevaarlijk zijn voor diabetes patiënten. Een hoge glucoseconcentratie kan leiden tot cardiovasculaire ziekten en zelfs de dood. Om deze reden vermijden mensen de consumptie van te veel koolhydraten en glucose.

1. Bepaling van reducerende suikers in vruchtensappen.

Eén van de technieken om reducerende suikers in verschillende monsters te bepalen, maakt gebruik van het fehling's reagens. Bij zo'n bepaling wordt 10,00 mL van een vruchtensap (neem aan dat het monster in het begin alleen glucose en fructose bevat) wordt overgebracht in een erlenmeyer (titratiekolf) waaraan fehling's reagens wordt toegevoegd. Fehling's reagens wordt gemaakt door 50,00 mL 0,04000 M kopersulfaat (oplossing A) te mengen met een oplossing van kaliumnatriumtartraat en natriumhydroxide (oplossing B). Oplossing C die dan ontstaat, wordt verwarmd waarbij een rood neerslag ontstaat.



Glucose

1.1. Geef de vergelijking van de reactie die plaatsvindt tijdens het verwarmen van oplossing C. Gebruik Cu^{2+} voor de koperoplossing.

Vervolgens wordt 10 mL van een 10% oplossing van kaliumjodide en 1 M zwavelzuur aan de erlenmeyer toegevoegd. De erlenmeyer wordt afgedekt met een horlogeglas en in het donker gezet.

De overmaat jood wordt door middel van een titratie bepaald. Om het equivalentiepunt te bereiken, is 11,87 mL 0,05078 M natriumthiosulfaatoplossing nodig.

1.2. Geef de vergelijkingen van alle reacties die in de erlenmeyer optreden.

1.3. Bereken het totale gehalte van de suikers (in g L^{-1}) in het vruchtensap. Neem aan dat alle fructose is omgezet tot glucose onder de gegeven reactieomstandigheden. $M = 180,16 \text{ g mol}^{-1}$.

Berekening:

Totale gehalte =

Aan een nieuwe hoeveelheid van 10,00 mL van hetzelfde vruchtensap wordt 10,00 mL van een aangezuurde 0,01502 M kaliumjodaatoplossing en 10 mL van een 10% kaliumjodideoplossing toegevoegd. Op het moment dat het mengsel bruin kleurt, wordt een overmaat van een natriumhydroxideoplossing toegevoegd. De erlenmeyer wordt afgedekt met een horlogeglas en in het donker gezet. Daarna wordt de oplossing aangezuurd en getitreerd met een 0,01089 M natriumthiosulfaatoplossing. Om het equivalentiepunt te bereiken, is 23,43 mL nodig. Let op, de fructose wordt onder deze omstandigheden niet omgezet tot glucose.

1.4. Geef de vergelijkingen van alle optredende reacties.

1.5. Bereken het gehalte van elke suiker afzonderlijk (in g L^{-1}) in het vruchtensap.

Berekening:

Massagehalte van glucose =

Massagehalte van fructose =

1.6. Eén brood-uitwissel-eenheid (BUE) komt overeen met 12 g verteerbare koolhydraten in het product. Hoeveel BEU bevat één glas (200 mL) vruchtensap?

2. Diagnose van ziekten.

Een derivaat van glucose, 2-deoxy-2- (^{18}F) fluor-D-glucose (FDG), is de meest gebruikte radioactieve stof voor de diagnose van kanker met behulp van positron-emissie-tomografie. De eerste stap in de bereiding van FDG is de productie van radionucleotiden F-18 door een kernreactie in een cyclotron. De volgende stap is een radiochemische synthese waarbij een atoom F-18 door een nucleofiele substitutiereactie in het D-glucosemolecuul wordt geïntroduceerd. Als 2-deoxy-2- (^{18}F) fluor-D-glucose bij een patiënt wordt ingespoten, hoopt de stof zich op in de tumorcellen. Tijdens dit proces vervalt F-18 als β^+ emitter: de atoomkern zendt een positron (anti-elektron) uit. Het positron reageert met een elektron waarna annihilatie plaatsvindt die kan worden gedetecteerd. Op deze manier kan precies de grootte en de aard van de tumor worden vastgesteld.

2.1. Hieronder staan vier onvolledige vergelijkingen van kernreacties met verschillende fluorisotopen. Maak ze af.

- | |
|--|
| a) $^{18}\text{O} + \frac{1}{1}\text{H} \rightarrow \dots + ^{18}\text{F}$ |
| b) $\dots + \frac{2}{1}\text{D} \rightarrow ^{18}\text{F} + \alpha$ |
| c) $^{19}\text{F} + \frac{2}{1}\text{D} \rightarrow ^{20}\text{F} + \dots$ |
| d) $^{16}\text{O} + \dots \rightarrow ^{18}\text{F} + \frac{1}{1}\text{H} + n$ |

2.2. Het radioactieve vervalproces van instabiele lichte atoomkernen hangt af van de verhouding tussen het aantal neutronen en het aantal elektronen. Een atoomkern vertoont β^- verval als deze verhouding groter is dan in de stabiele isotoop en vertoont β^+ verval als deze verhouding kleiner is dan in de stabiele isotoop.

Bepaal het type verval voor de atoomkernen in de volgende tabel:

atoomkern	^{11}C	^{20}F	^{17}F	^{14}C
verval				

Wanneer kernreactie a (zie boven) wordt gebruikt om F-18 te bereiden, wordt water gebruikt waaraan H_2^{18}O is toegevoegd. De aanwezigheid van het normale H_2^{16}O leidt tot een nevenreactie met ^{16}O die uiteindelijk leidt tot de vorming van F-17.

2.3. Het is bekend dat vijf minuten na het beëindigen van de bestraling van een monster de radioactiviteitsverhouding tussen ^{18}F en ^{17}F de waarde 10^5 heeft. Neem aan dat de bestralingstijd kort is en dat de radioactiviteit van iedere isotoop evenredig is met de molfractie van de reagerende atoomkernen in het bestraalde monster en met het rendement van de optredende kernreacties. Bereken de massafractie H_2^{18}O in het monster.

Gegeven: - $t_{1/2}(^{18}\text{F}) = 109,7$ minuten, $t_{1/2}(^{17}\text{F}) = 65$ seconden:

- de verhouding tussen de rendementen van de kernreacties: $\frac{\eta_{^{18}\text{O} \rightarrow ^{18}\text{F}}}{\eta_{^{16}\text{O} \rightarrow ^{17}\text{F}}} = 144,7$.

Berekening:

2.4. Bereken de opbrengst η van het labelen van D-glucose met F-18 als de beginwaarde van de radioactiviteit van F-18 600,0 MBq bedraagt en de radioactiviteit van het gevormde 2-deoxy-2-(¹⁸F)fluor-D-glucose 528,2 MBq bedraagt. De synthese nam 3,5 minuten in beslag.

$\eta =$

2.5. De biologische halveringstijd (voor de uitscheiding bijvoorbeeld via urine) van 2-deoxy-2-(¹⁸F)fluor-D-glucose is 120,0 minuten. Bereken de radioactiviteit in de patiënt 10 uur na injectie van FDG met een beginradioactiviteit van 450,0 MBq.

Berekening:

Opgave 6. De lucht van brood**(8 punten)**

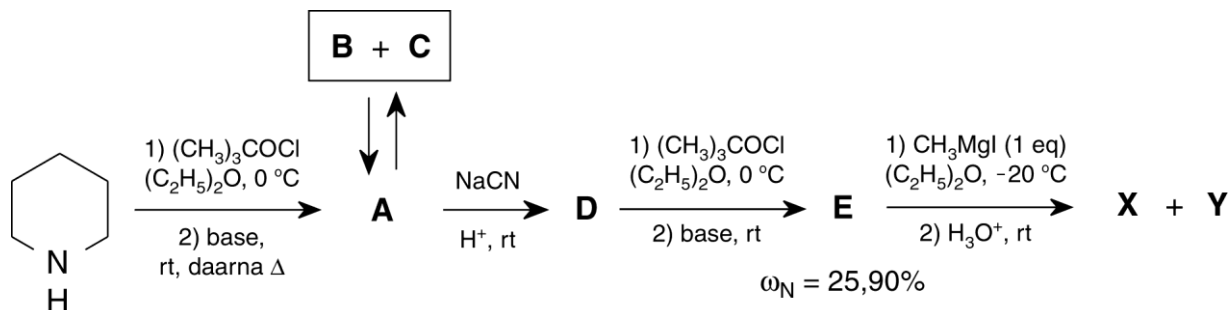
Vraag	1	2	3	Totaal
Max. score	28	4	8	40

Als je langs een bakkerij loopt, word je getroffen door de geur van vers gebakken brood. Iemand heeft daarvan ooit gezegd: „Als jij me zegt dat dit niet perfect is, ben je voor altijd mijn vijand.” In 1969 is ontdekt dat een verbinding **X** de belangrijkste verbinding is die de geur van brood teweegbrengt. Deze verbinding is in een evenwicht met een verbinding **Y**. In dit evenwicht komen beide verbindingen voor in de verhouding 2 : 1. Helaas zijn beide verbindingen instabiel, zodat na een paar uur het brood niet meer zo'n aangenaam aroma heeft.



Het tautomere mengsel van **X** en **Y** is in 1993 uitgaande van piperidine gesynthetiseerd via een aantal elkaar opvolgende reacties, weergegeven in schema 1 (rt is roomtemperatuur, kamertemperatuur).

Schema 1



Verbinding **B**, waarvan de moleculen een drievoudige symmetrie-as bezitten (dat betekent dat je een molecuul krijgt dat identiek is aan het origineel als je het molecuul over 120° draait,) komt voor in evenwicht met zijn diastereomeer **C**. De omzetting tussen deze twee vormen verloopt via het intermediair **A**. **A** is ook intermediair in de vorming van **B** en **C** evenals in de omzetting van deze beide verbindingen tot verbinding **D**. De verbindingen **A**, **B** en **C** hebben allemaal dezelfde massapercentages C, H en N: $\omega_{\text{C}} = 72,24\%$, $\omega_{\text{H}} = 10,91\%$ en $\omega_{\text{N}} = 16,85\%$.

1. Geef de structuurformules van de verbindingen **A** – **E**, **X** en **Y**.

A	B	C
D	E	X
Y		

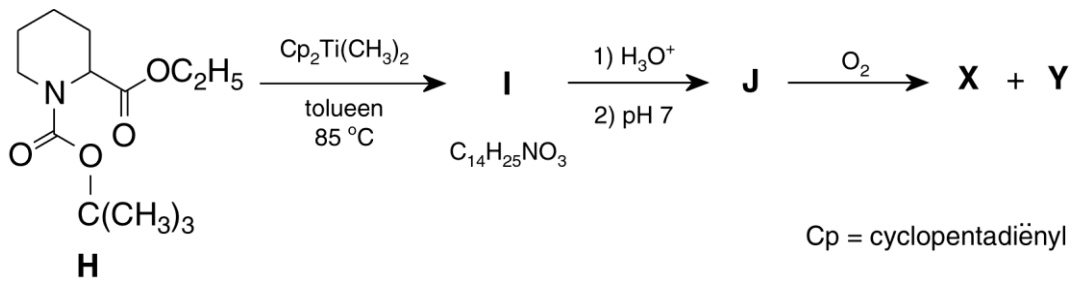
Men heeft ook geprobeerd **X** en **Y** te bereiden door verbinding **E** bij 0 °C te behandelen met het MeLi.LiBr complex in Et₂O. Dit is niet gelukt. In plaats van **X** en **Y** ontstond in eerste instantie een geel neerslag van verbinding **F**. Verdere opwerking van dit neerslag in waterig milieu leidde tot de vorming van **E** en zijn tautomeer **G**.

2. Geef de structuurformules van de verbindingen **F** en **G**.

F	G
----------	----------

Een andere poging om verbinding **X** te maken, is gebaseerd op het gebruik van verbinding **H**, een derivaat van pipercolinezuur. Het bleek dat **X** kan worden gesynthetiseerd in een aantal elkaar opvolgende reacties; zie schema 2.

Schema 2



3. Geef de structuurformules van de verbindingen **I** en **J**.

I	J

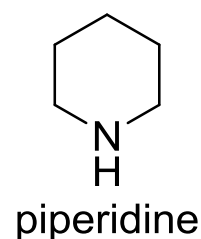
Opgave 7. Niet bij brood alleen
(8 punten)

Vraag	1	2	3	4	Totaal
Max. score	8	24	2	16	50

In Azerbeidzjan, dat beroemd is om zijn groenten en fruit, wordt de granaatappel de ‘koning aller vruchten’ genoemd. In een aantal godsdiensten wordt de granaatappel geëerd als een ‘paradijselijke vrucht’, symbool voor rechtvaardigheid, hoop op eeuwig leven.



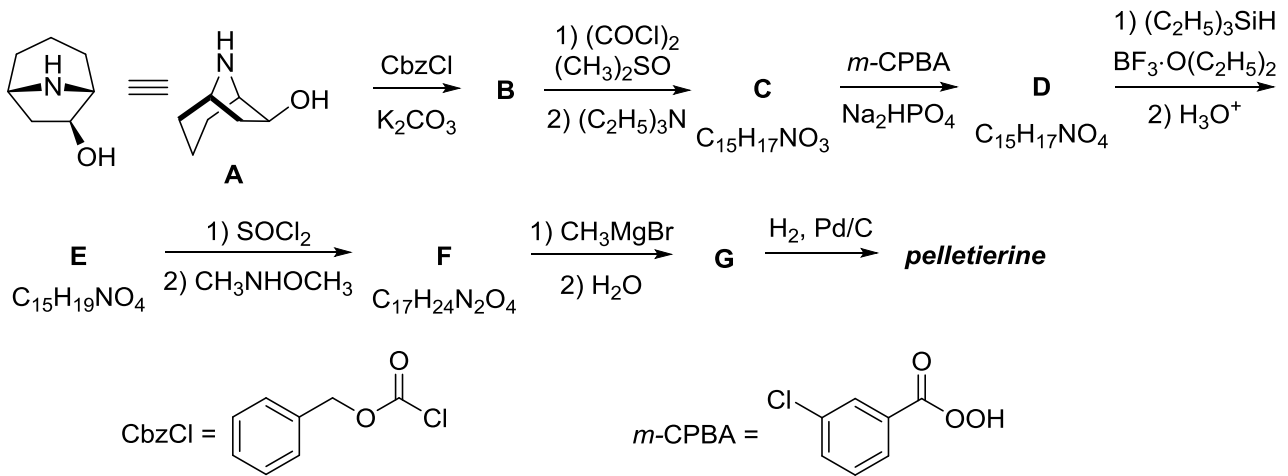
In 1878 heeft men het alkaloïde *pelletierine* geïsoleerd uit de bast van de granaatappelboom (*Punica granatum L.*, Lythraceae). Dit alkaloïde wordt traditioneel gebruikt als een medicijn tegen een bepaalde ziekte. Aanvankelijk heeft men de structuurformule van 3-(piperidine-2-yl)propanal (**X_w**) voor pelletierine voorgesteld. Dit bleek onjuist. Tegenwoordig gaat men ervan uit dat pelletierine (*S*)-1-(piperidine-2-yl)propaan-2-on (**X_s**) is.



1. Geef de structuurformules van **X_w** en **X_s**. Geef in **X_s** ook de stereochemie aan.

X_w (3-(piperidine-2-yl)propanal)	X_s (<i>S</i>)-1-(piperidine-2-yl)propaan-2-on

De synthese van natuurlijk pelletierine (**X_S**), gebaseerd op de omzetting van nortopanol (**A**), is onlangs beschreven. Zie onderstaand schema.



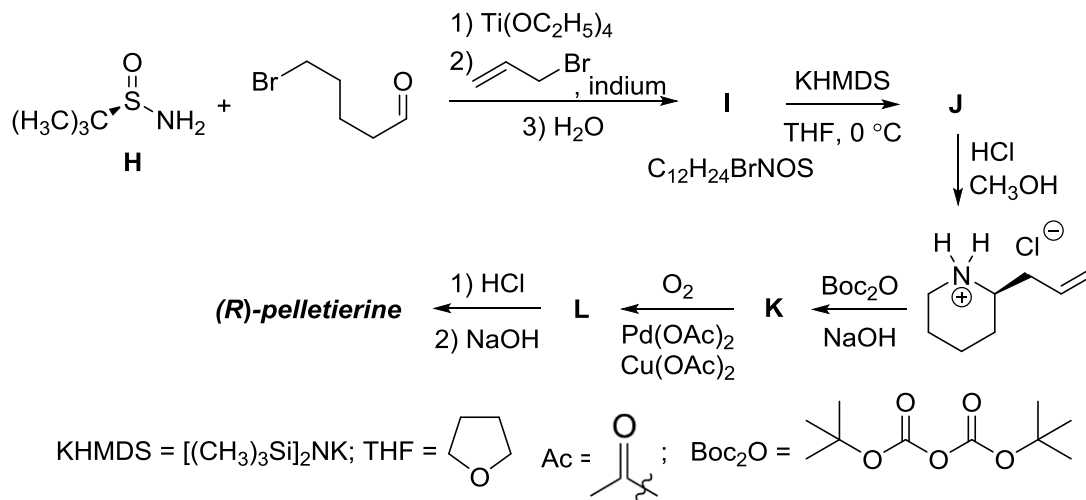
2. Geef de structuurformules van de verbindingen **B–G**. Geef in alle structuurformules ook de stereochemie aan.

B	C	D
E	F	G

3. Van nortopanol (**A**) kan een aantal stereo-isomeren bestaan. Geef dit aantal, inclusief verbinding **A**. Ga ervan uit dat het N atoom geen asymmetrisch centrum is.

Aantal mogelijke stereo-isomeren:

De enantiomeer van **X_S** is bereid uitgaande van chiraal *tert*-butaansulfinamide (2-methyl-2-propaansulfinamide, **H**):



4. Geef de structuurformules van de verbindingen **I–L**. Geef in alle structuurformules ook de stereochemie aan.

I	J
K	L

Opgave 8 Olie voor leven, leven na de olie**(8 punten)**

Vraag	1					2	3	4	Totaal
	1a	1b	1c	1d	1e				
Max. score	1	4	4	3	12	5	13	13	55

Azerbeidzjan is bekend om zijn grote hoeveelheden olie en gas. De eerste olieboringen werden reeds in 1846 uitgevoerd door Bibi-Heybat, 13 jaar voordat het eerste oliebedrijf in Pennsylvania (USA) werd opgericht. Deze bijzondere mijlpaal in de historie van Azerbeidzjan wordt gezien als het startpunt van de moderne olie-industrie. De olie-industrie wordt beschouwd als één van de belangrijkste sectoren van de hedendaagse wereldeconomie. Momenteel vinden er in Azerbeidzjan ontwikkelingen plaats op het gebied van de olieproductie op land en op zee. Ondanks strenge voorzorgsmaatregelen blijft er altijd het risico van milieuvervuiling door koolwaterstoffen tijdens productie, transport en winning van olie. In deze opgave worden verschillende olie opruimtechnologieën besproken evenals een aantal specifieke onderdelen van metabolische omzettingen.



Eén van de meest veelbelovende olie-opruimtechnologieën maakt gebruik van complexe oplosmiddelen waarmee olievervuiling op zee kan worden aangepakt. De organische verbinding **X** (11,94 massa% H) is een typische verbinding die gebruikt wordt in zo'n complex oplosmiddel. Er zijn hevige discussies over de veiligheid van verbinding **X** voor mensen. Moleculen van verbinding **X1** (54,53 massa% C) bestaan uit drie atoomsoorten. **X1** wordt in het menselijke lichaam via metabolische processen omgezet tot verbinding **X** die via de urine wordt uitgescheiden. De aantallen atomen van de verschillende elementen in **X1** komen overeen met de termen van de reeks n, nq, nq^2 , terwijl de som van de termen niet groter is dan 25.

1a. Geef met een vinkje aan welke relatie tussen de aantallen koolstof- en zuurstofatomen juist is voor **X1**.

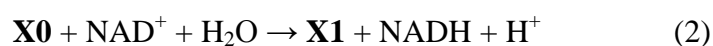
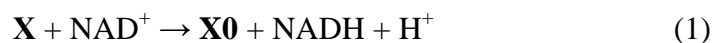
$n(\text{C}) > n(\text{O})$ <input type="checkbox"/>	$n(\text{C}) < n(\text{O})$ <input type="checkbox"/>	$n(\text{C}) = n(\text{O})$ <input type="checkbox"/>	Onvoldoende gegevens <input type="checkbox"/>
---	---	---	--

1b. Bepaal de empirische formule van **X1**. Onderbouw je antwoord met een berekening.

Berekening:

empirische formule van **X1**:

De biochemische omzetting van **X** tot **X1** vindt plaats in twee door enzymen gekatalyseerde reacties. De vergelijking van deze twee reacties zijn hieronder weergegeven (NAD^+ en NADH stellen respectievelijk de geoxideerde en gereduceerde vorm van nicotinamide-adenine-dinucleotide voor):



1c. Bepaal de molecuulformule van **X**.

Berekening:

molecuulformule van **X**:

Een minder belangrijke metabolische omzetting van **X** wordt gekatalyseerd door een monoöxygenase dat afhankelijk is van cytochroom P450. Deze reactie resulteert in twee verbindingen, **X2** (51,56 massa% O en 9,74 massa% H) en **X3**.

1d. Bepaal de molecuulformule van **X2** en teken de structuurformule.

Berekening:

molecuulformule van **X2**:

structuurformule van **X2**:

Moleculen van stof **X** bevatten alleen primaire en secundaire koolstofatomen.

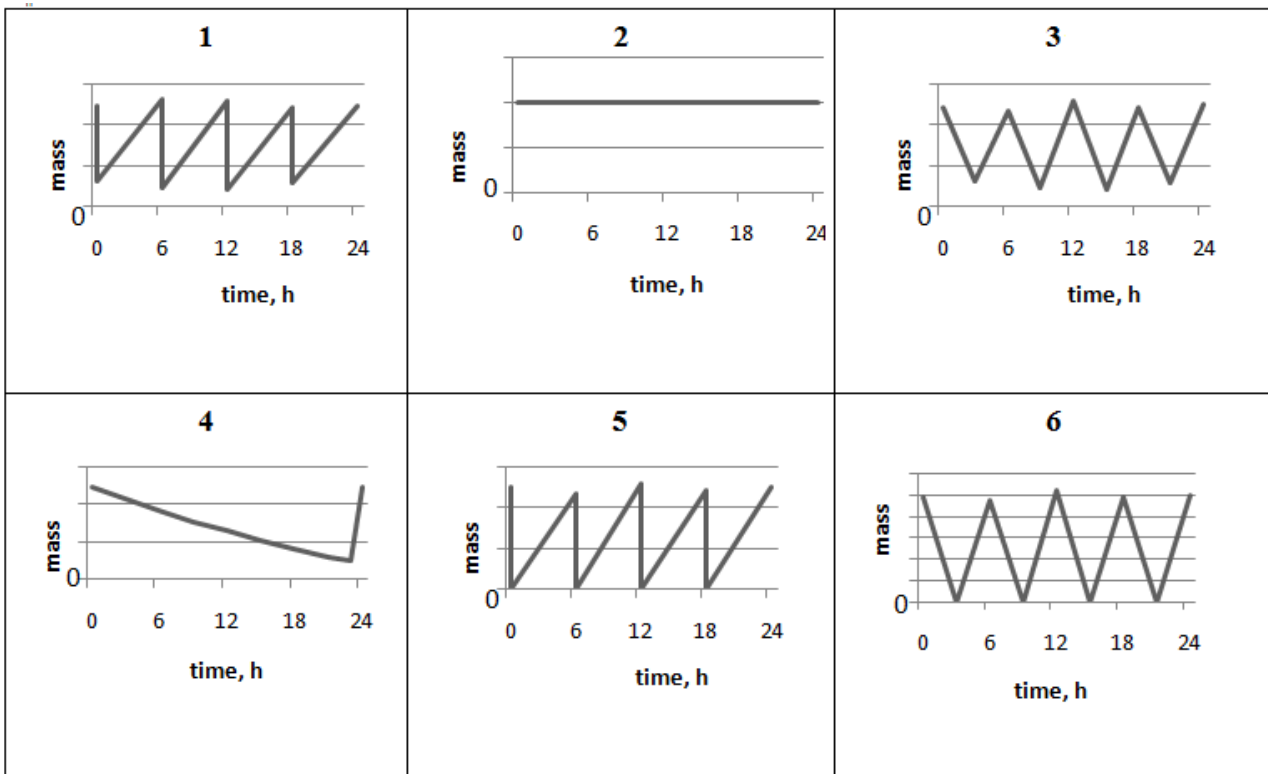
In moleculen van **X0** komen dezelfde functionele groepen voor als in moleculen van **X3**.

1e. Geef de structuurformules van **X**, **X1**, en **X3**.

X	X1	X3
----------	-----------	-----------

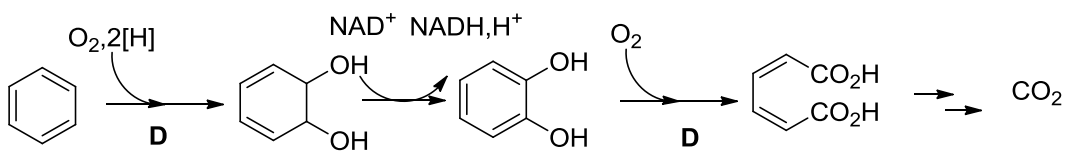
In een medische studie werden mensen zonder bescherming permanent blootgesteld aan oplosmiddelen met verbinding **X**. De concentratie van **X** in het bloed van deze mensen bleek stationair te zijn.

2 **X1** wordt via de urine uitgescheiden. In welke grafiek is op juiste wijze weergegeven hoe de dagelijkse hoeveelheid (massa) **X1** in het lichaam van een deelnemer aan dit medisch onderzoek varieert. Schrijf in het vakje het nummer van die grafiek.



Nummer van de grafiek:

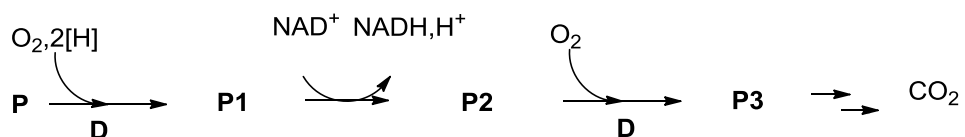
Het gebruik van verschillende bacteriën is een interessante mogelijkheid om vervuiling door koolwaterstoffen (zelfs aromaten) in zeewater en uit de bodem te verwijderen. Benzeen wordt onder aerobische omstandigheden op de volgende manier biologisch afgebroken (in de eerste drie stappen kloppen de atoombalansen):



hier en verder:

D is een aromatisch dioxygenase

Onder identieke omstandigheden ondergaat een monocyclische aromatische koolwaterstof **P** (91,25 massa% C) de volgende omzettingen (in de eerste drie stappen kloppen de atoombalansen):



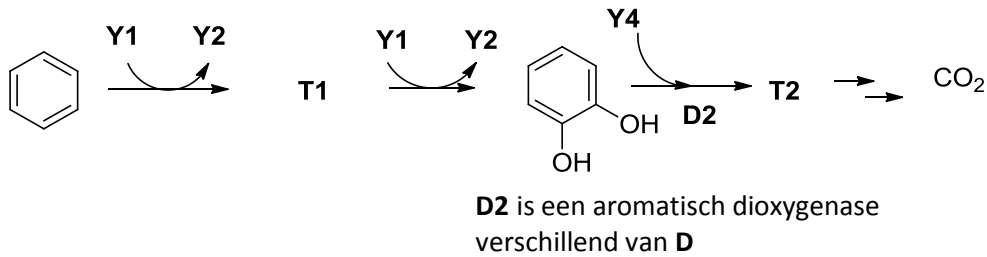
P3 geeft een positief resultaat op de jodoformtest. Om 100 mg **P3** volledig te neutraliseren is 6,41 mL van een 0,100 M KOH oplossing nodig.

3. Bepaal de structuurformules van **P–P3**. Geef de meest stabiele tautomeer van **P3**.

Berekening:

P	P1	P2	P3

Het micro-organisme *Alicyclophilus* is in staat om aromatische koolwaterstoffen biologisch af te breken. Zij kunnen dit zelfs in vervuilde grond. Het proces vereist een geschikte elektronacceptor zoals het anorganische negatieve ion **Y1** (in de eerste drie stappen kloppen de atoombalansen):



Het intermediaire negatieve ion **Y2** wordt volgens de volgende kloppende reactievergelijking enzymatisch afgebroken:



De deeltjes **Y3** en **Y4** bestaan uit één atoomsoort. Moleculen **T2** bevatten geen twee dezelfde zuurstofbevattende functionele groepen. Als een oplossing van Ag_2O in ammonia (ammoniakale zilveroplossing) wordt toegevoegd aan **T2** ontstaat een neerslag, terwijl dit niet gebeurt met **Y3**.

4. Bepaal de formules van **Y1-Y4**. Teken de structuurformules van **T1-T2**. Geef de meest stabiele tautomeer van **T2**.

Y1	Y2	Y3
Y4	T1	T2

The Periodic Table of the Elements

1 H Hydrogen 1.00794																	2 He Helium 4.003																												
3 Li Lithium 6.941	4 Be Beryllium 9.012182											5 B Boron 10.811	6 C Carbon 12.0107	7 N Nitrogen 14.00674	8 O Oxygen 15.9994	9 F Fluorine 18.9984032	10 Ne Neon 20.1797																												
11 Na Sodium 22.989770	12 Mg Magnesium 24.3050											13 Al Aluminum 26.981538	14 Si Silicon 28.0855	15 P Phosphorus 30.973761	16 S Sulfur 32.066	17 Cl Chlorine 35.4527	18 Ar Argon 39.948																												
19 K Potassium 39.0983	20 Ca Calcium 40.078	21 Sc Scandium 44.955910	22 Ti Titanium 47.867	23 V Vanadium 50.9415	24 Cr Chromium 51.9961	25 Mn Manganese 54.938049	26 Fe Iron 55.845	27 Co Cobalt 58.933200	28 Ni Nickel 58.6934	29 Cu Copper 63.546	30 Zn Zinc 65.39	31 Ga Gallium 69.723	32 Ge Germanium 72.61	33 As Arsenic 74.92160	34 Se Selenium 78.96	35 Br Bromine 79.904	36 Kr Krypton 83.80																												
37 Rb Rubidium 85.4678	38 Sr Strontium 87.62	39 Y Yttrium 88.90585	40 Zr Zirconium 91.224	41 Nb Niobium 92.90638	42 Mo Molybdenum 95.94	43 Tc Technetium (98)	44 Ru Ruthenium 101.07	45 Rh Rhodium 102.90550	46 Pd Palladium 106.42	47 Ag Silver 107.8682	48 Cd Cadmium 112.411	49 In Indium 114.818	50 Sn Tin 118.710	51 Sb Antimony 121.760	52 Te Tellurium 127.60	53 I Iodine 126.90447	54 Xe Xenon 131.29																												
55 Cs Cesium 132.90545	56 Ba Barium 137.327	57 La Lanthanum 138.9055	72 Hf Hafnium 178.49	73 Ta Tantalum 180.9479	74 W Tungsten 183.84	75 Re Rhenium 186.207	76 Os Osmium 190.23	77 Ir Iridium 192.217	78 Pt Platinum 195.078	79 Au Gold 196.96655	80 Hg Mercury 200.59	81 Tl Thallium 204.3833	82 Pb Lead 207.2	83 Bi Bismuth 208.98038	84 Po Polonium (209)	85 At Astatine (210)	86 Rn Radon (222)																												
87 Fr Francium 223	88 Ra Radium (226)	89 Ac Actinium (227)	104 Rf Rutherfordium (261)	105 Db Dubnium (262)	106 Sg Seaborgium (263)	107 Bh Bohrium (262)	108 Hs Hassium (265)	109 Mt Meitnerium (266)	110 (269)	111 (272)	112 (277)	113	114																																
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tbody> <tr> <td>58 Ce Cerium 140.116</td> <td>59 Pr Praseodymium 140.90765</td> <td>60 Nd Neodymium 144.24</td> <td>61 Pm Promethium (145)</td> <td>62 Sm Samarium 150.36</td> <td>63 Eu Europium 151.964</td> <td>64 Gd Gadolinium 157.25</td> <td>65 Tb Terbium 158.92534</td> <td>66 Dy Dysprosium 162.50</td> <td>67 Ho Holmium 164.93032</td> <td>68 Er Erbium 167.26</td> <td>69 Tm Thulium 168.93421</td> <td>70 Yb Ytterbium 173.04</td> <td>71 Lu Lutetium 174.967</td> </tr> <tr> <td>90 Th Thorium 232.0381</td> <td>91 Pa Protactinium 231.03588</td> <td>92 U Uranium 238.0289</td> <td>93 Np Neptunium (237)</td> <td>94 Pu Plutonium (244)</td> <td>95 Am Americium (243)</td> <td>96 Cm Curium (247)</td> <td>97 Bk Berkelium (247)</td> <td>98 Cf Californium (251)</td> <td>99 Es Einsteinium (252)</td> <td>100 Fm Fermium (257)</td> <td>101 Md Mendelevium (258)</td> <td>102 No Nobelium (259)</td> <td>103 Lr Lawrencium (262)</td> </tr> </tbody> </table>																		58 Ce Cerium 140.116	59 Pr Praseodymium 140.90765	60 Nd Neodymium 144.24	61 Pm Promethium (145)	62 Sm Samarium 150.36	63 Eu Europium 151.964	64 Gd Gadolinium 157.25	65 Tb Terbium 158.92534	66 Dy Dysprosium 162.50	67 Ho Holmium 164.93032	68 Er Erbium 167.26	69 Tm Thulium 168.93421	70 Yb Ytterbium 173.04	71 Lu Lutetium 174.967	90 Th Thorium 232.0381	91 Pa Protactinium 231.03588	92 U Uranium 238.0289	93 Np Neptunium (237)	94 Pu Plutonium (244)	95 Am Americium (243)	96 Cm Curium (247)	97 Bk Berkelium (247)	98 Cf Californium (251)	99 Es Einsteinium (252)	100 Fm Fermium (257)	101 Md Mendelevium (258)	102 No Nobelium (259)	103 Lr Lawrencium (262)
58 Ce Cerium 140.116	59 Pr Praseodymium 140.90765	60 Nd Neodymium 144.24	61 Pm Promethium (145)	62 Sm Samarium 150.36	63 Eu Europium 151.964	64 Gd Gadolinium 157.25	65 Tb Terbium 158.92534	66 Dy Dysprosium 162.50	67 Ho Holmium 164.93032	68 Er Erbium 167.26	69 Tm Thulium 168.93421	70 Yb Ytterbium 173.04	71 Lu Lutetium 174.967																																
90 Th Thorium 232.0381	91 Pa Protactinium 231.03588	92 U Uranium 238.0289	93 Np Neptunium (237)	94 Pu Plutonium (244)	95 Am Americium (243)	96 Cm Curium (247)	97 Bk Berkelium (247)	98 Cf Californium (251)	99 Es Einsteinium (252)	100 Fm Fermium (257)	101 Md Mendelevium (258)	102 No Nobelium (259)	103 Lr Lawrencium (262)																																