

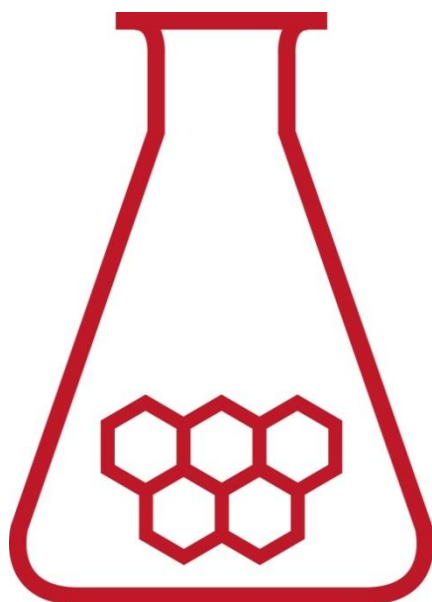
47^e Nationale Scheikundeolympiade

Universiteit Utrecht

THEORIETOETS

opgavenboekje

maandag 8 juni 2026



**SCHEIKUNDE
OLYMPIADE**



**Universiteit
Utrecht**



- Deze toets bestaat uit 7 opgaven met 35 open vragen.
- Gebruik voor elke opgave een apart antwoordblad, voorzien van je naam. Houd aan alle zijden 2 cm als marge aan.
- De maximumscore voor dit werk bedraagt 120 punten.
- De toets duurt maximaal 4 klokuren.
- Benodigde hulpmiddelen: (grafisch) rekenapparaat en Binas 7^e druk of ScienceData 1^e druk.
- Bij elke vraag is het aantal punten vermeld dat een juist antwoord op die vraag oplevert.
- Tenzij anders is vermeld, is er sprake van standaardomstandigheden: $T = 298\text{ K}$ en $p = p_0$.

Deze toets is tot stand gekomen dankzij de medewerking van:

Danny Broere

Wouter Elings

Ben Erne

Eline Hutter

Willem Kegel

Merel Lefferts

Andries Meijerink

Marc-Etienne Moret

Freddy Rabouw

Joost Snijder

De eindredactie was in handen van

Kees Beers, Martin Groeneveld en Dick Hennink

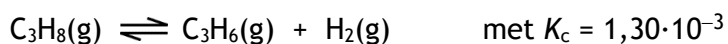
Het NSO comité

Marijn Jonker en Emiel de Kleijn

■ Opgave 1 Gedoe in een cilinder

10 punten

In een door een beweegbare zuiger afgesloten cilinder bevindt zich een hoeveelheid propaan. De cilinder wordt verwarmd tot 527 °C. Er stelt zich het volgende evenwicht in:



Wanneer het evenwicht zich heeft ingesteld, is het volumepercentage propaan gelijk aan 80%.

- 1 Bereken $[\text{C}_3\text{H}_8]$, $[\text{C}_3\text{H}_6]$, $[\text{H}_2]$, allemaal in mol dm^{-3} , en de totale druk, in Pa, in de cilinder wanneer het evenwicht zich heeft ingesteld. 7

Vervolgens wordt de zuiger bij gelijkblijvende temperatuur zo ver ingedrukt dat het volume wordt gehalveerd.

- 2 Wordt de druk in de cilinder, als het evenwicht zich opnieuw heeft ingesteld, dan twee keer zo groot, of meer dan twee keer zo groot of minder dan twee keer zo groot? Geef een verklaring voor je antwoord. 3

Opgave 2 Malaprade

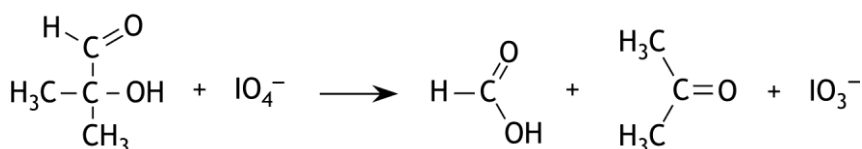
19 punten

Organische verbindingen met bepaalde groepen in het molecuul die aan naburige (vicinale) koolstofatomen zijn gebonden, kunnen reageren met natriumperjodaat (NaIO_4). Daarbij wordt de binding tussen de koolstofatomen waar de groepen aan vast zitten, verbroken, terwijl ook een omzetting van de groepen die aan die koolstofatomen gebonden zijn, plaatsvindt. Daarbij gelden de volgende regels:

- Wanneer de betreffende groep een hydroxylgroep is, wordt deze omgezet tot een carbonylgroep.
- Wanneer de betreffende groep een carbonylgroep is, wordt deze omgezet tot een carboxylgroep.
- Wanneer de betreffende groep een carboxylgroep is, wordt deze omgezet tot koolstofdioxide.

Deze reactie wordt wel de reactie van Malaprade genoemd. De malapradereactie is een redoxreactie.

Zo wordt 2-hydroxy-2-methylpropanal door perjodaat omgezet tot methaanzuur en propanon in de molverhouding 1 : 1; het perjodaat wordt daarbij omgezet tot jodaat (IO_3^-):

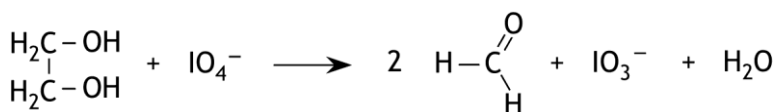


- 3 Geef de structuurformule van de verbinding die in de reactie van Malaprade als enig product ethaanzuur oplevert.

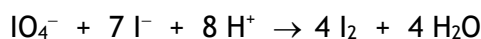
2

De reactie van Malaprade kan onder andere worden gebruikt om het gehalte van glycol (ethaan-1,2-diol) in een oplossing te bepalen. Een oplossing van glycol wordt vaak als een antivriesmiddel gebruikt.

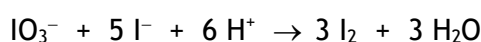
Bij zo'n bepaling werd 150 mg van een bepaalde soort antivries toegevoegd aan 25,0 mL van een oplossing van natriumperjodaat (overmaat). De volgende reactie trad op:



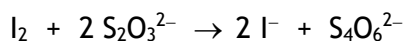
Na afloop van de reactie werd de oplossing aangezuurd en werd een overmaat jodide toegevoegd. Zowel het overgebleven IO_4^- als het gevormde IO_3^- reageerde hiermee onder vorming van I_2 :



en



Tenslotte werd het gevormde jood getitreerd met een 0,502 M oplossing van natriumthiosulfaat. Daarbij trad de volgende reactie op:



Voor de titratie was 19,6 mL van de natriumthiosulfaatoplossing nodig.

Daarna werd een blancobepaling uitgevoerd, zoals hierboven beschreven, maar dan zonder toevoeging van de antivries. Voor deze blancobepaling was uiteindelijk 23,9 mL van de natriumthiosulfaatoplossing nodig om het gevormde jood te titreren.

- 4 Bereken het massapercentage glycol in de onderzochte antivries. 8

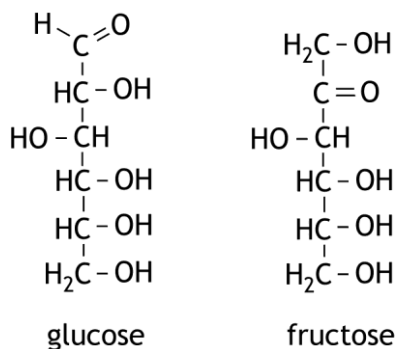
De reactie van Malaprade kan ook worden gebruikt om onderscheid tussen bepaalde suikers te maken. Zo zou je met behulp van de reactie van Malaprade kunnen vaststellen of een bepaalde suiker glucose is of fructose.

Bij de reactie van Malaprade met glucose en fructose worden alle C – C bindingen in de moleculen verbroken. De volgende stoffen kunnen dan ontstaan: methanal, methaanzuur en koolstofdioxide.

- 5 Beantwoord de volgende vragen: 9

- Welke stoffen ontstaan uiteindelijk bij de malapradereactie van glucose en in welke molverhouding ontstaan deze stoffen?
- Welke stoffen ontstaan uiteindelijk bij de malapradereactie van fructose en in welke molverhouding ontstaan deze stoffen?
- Hoe kun je vaststellen of een suiker glucose is of fructose: door te bepalen in welke molverhouding glucose en fructose reageren met perjodaat of doormiddel van een titratie van de reactieproducten van de malapradereactie met natronloog? Geef een verklaring voor je antwoord.

Maak gebruik van informatie die in het begin van deze opgave is gegeven en van de open keten structuur van glucose en fructose:



■ Opgave 3 Elektrochemische omzetting van CO₂

23 punten

De elektrochemische omzetting van CO₂ wordt gezien als een veelbelovende en technisch niet al te lastige methode om de negatieve effecten van de toename van het CO₂ niveau in de atmosfeer te verminderen.

Met behulp van duurzame elektrische energie zou CO₂ kunnen worden omgezet tot diverse zogenoemde basischemicaliën.

Om bij de elektrolyse de vorming van gewenste producten met een praktisch werkbaar snelheid te laten verlopen wordt onderzoek gedaan naar de inzet van elektrokatalysatoren. Een nieuw concept op het gebied van zulke katalysatoren berust op het gebruik van elektroden waarop schuimachtig materiaal is aangebracht.

Dat schuimachtige materiaal bezit een groot oppervlak dat goed toegankelijk is voor reactanten (bijvoorbeeld H₂O, H₂ en CO₂).

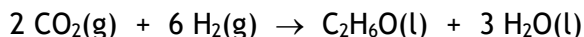
Materialen op koperbasis zijn de enige bekende metallische elektrokatalysatoren die koolwaterstoffen en alcoholen in significante hoeveelheden kunnen produceren door de elektrolyse van CO₂.

Bij een bepaalde elektrolyse in zuur milieu wordt CO₂ bij de negatieve elektrode omgezet tot ethanol en propaan-1-ol. Bij deze omzettingen reageren 6 mol elektronen per mol omgezet CO₂.

- 6 Geef de vergelijking van de halfreactie voor de omzetting van CO₂ tot propaan-1-ol in zuur milieu. 3

De standaardelektrodepotentiaal voor de omzetting van CO₂ tot ethanol is te berekenen door een galvanische cel te beschouwen die bestaat uit een standaard CO₂/ethanol halfcel en een standaard H₂/H⁺ halfcel.

De reactie die optreedt in deze galvanische cel kan worden weergegeven met de volgende reactievergelijking:



- 7 Bereken de standaardelektrodepotentiaal voor de omzetting van CO₂ tot ethanol. Gebruik hierbij gegevens uit je informatieboek en de formule $\Delta_r G = -n \times F \times \Delta E$. 5

Een representatief voorbeeld voor de vorming van elektrodemateriaal met een metallisch schuimlaagje op basis van koper is hieronder globaal beschreven:

Er vindt elektrolyse plaats met een zure oplossing die ook koper(II)ionen en zilverionen bevat. Een koperplaatje met een oppervlakte van 1,0 cm² is hierbij de negatieve elektrode en platinafolie dient als positieve elektrode. Op de negatieve elektrode zet zich een laagje schuimvormig Cu-Ag bimetaal af. De poreuze structuur van het bimetaal ontstaat doordat tijdens de afzetting van de metalen ook zeer kleine waterstofbelletjes ontstaan in het bimetaal. Het bimetaal wordt als het ware enigszins opgeblazen.

Op het koperplaatje wordt een laagje schuim gevormd met 5,4 mg Cu-Ag bimetaal.

Dit bimetaal bevat 90 massaprocent Cu en 10 massaprocent Ag.

Tijdens deze elektrolyse is 60 C cm⁻² aan lading gebruikt.

- 8 Bereken de Faraday-efficiëntie (FE in %) van deze metaaldepositie.

FE is gedefinieerd als $\frac{Q_{\text{product}}}{Q_{\text{totaal}}} \times 100\%$. Q staat voor de hoeveelheid elektrische lading. 4

De Cu-Ag bimetaalschuimkatalysator (90 massa% Cu; 10 massa% Ag) wordt gebruikt bij een CO₂ elektrolyse-experiment:

35 mL 0,5 M KHCO₃ elektrolyt die is verzadigd met CO₂, wordt geëlektrolyseerd.

De negatieve koperen elektrode is bezet met de Cu-Ag bimetaalschuimkatalysator.

De positieve elektrode is van platina. De CO₂ elektrolyse wordt uitgevoerd bij een constante stroomdichtheid van $I = 30 \text{ mA cm}^{-2}$ gedurende 1,0 uur. (Let op: de stroomdichtheid is genormaliseerd op een oppervlakte van 1,0 cm²).

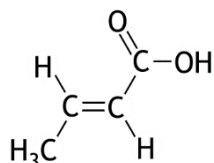
Een analyse van het product na afloop van de elektrolyse levert massaconcentraties op van 41,3 mg L⁻¹ ethanol en 7,4 mg L⁻¹ propaan-1-ol. Beide alcoholen zijn vloeibare reactieproducten en verzamelen zich tijdens de elektrolyse in de elektrolyt. Er mag worden aangenomen dat aan de negatieve elektrode uitsluitend waterstofgas (H₂) als bijproduct wordt gevormd.

- 9 Geef de vergelijking van de halfreactie die optreedt aan de positieve elektrode. 2
- Bij de bovenbeschreven elektrolyse wordt 33,6 procent van de stroom gebruikt voor de productie van ethanol en 6,9 procent voor de productie van propaan-1-ol.
- 10 Bereken hoeveel cm³ H₂ (bij p_0 en 298 K) wordt gevormd aan de negatieve elektrode. 5
- 11 Bereken hoeveel mg CO₂ wordt omgezet bij de bovenbeschreven elektrolyse. 4
- Neem aan dat het totale volume van de elektrolyt, ethanol en propaan-1-ol 35 mL blijft.

Opgave 4 Crotonzuur

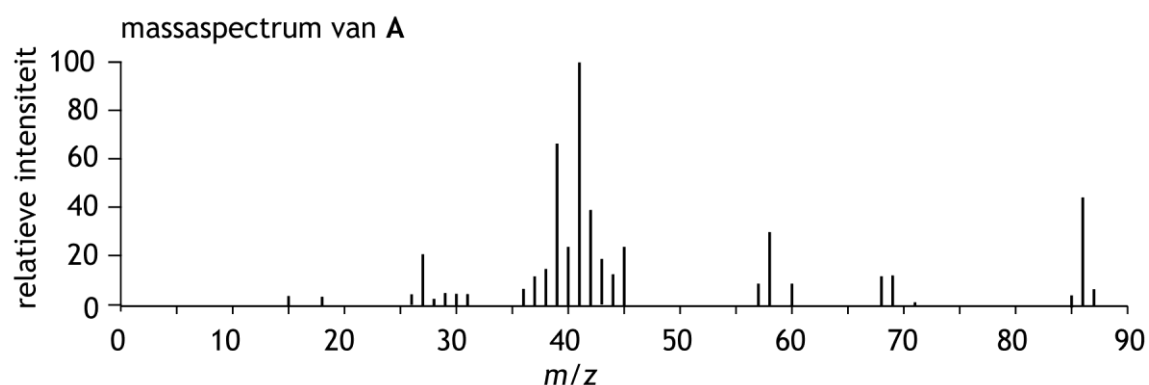
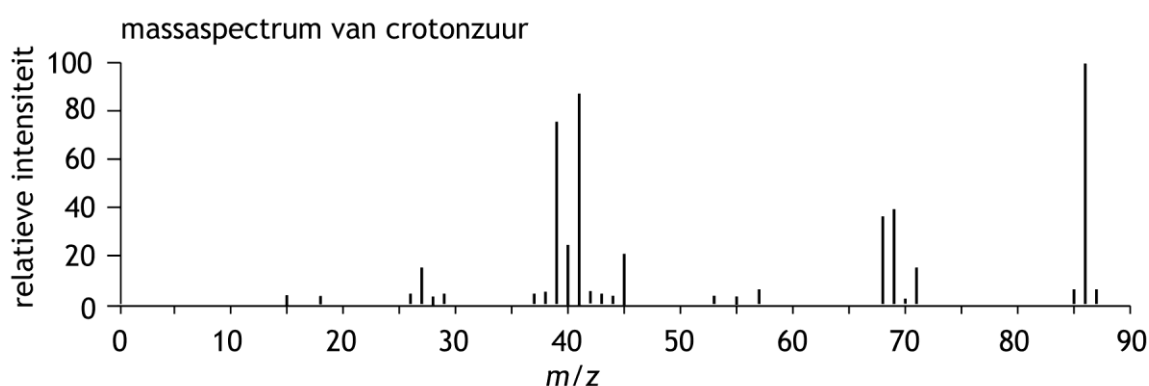
17 punten

Crotonzuur heeft de volgende ruimtelijke structuurformule:



- 12 Neem deze structuurformule over op je antwoordblad en schrijf bij elk koolstofatoom de soort hybridisatie van dat koolstofatoom. 2

Er bestaan diverse syntheseroutes voor de productie van crotonzuur. Als bijproducten ontstaan daarbij vaak de stereo-isomeer en een bepaalde structuurisomeer **A** van crotonzuur. Hieronder zijn de massaspectra weergegeven van crotonzuur en van die structuurisomeer **A**.



- 13 Voer de volgende opdrachten uit:
- Leg uit, aan de hand van deze massaspectra, dat **A** een structuurisomeer is van crotonzuur.
 - Leg uit dat uit deze massaspectra kan worden afgeleid dat **A**, net als crotonzuur, ook een carbonzuur is. 3

Crotonzuur kan worden verkregen door de thermolyse van het bio-polymeer *poly(3-hydroxybutaanzuur)*. Dit is een polymeer dat door sommige bacteriën wordt geproduceerd.

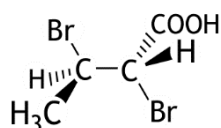
- 14 Geef de structuurformule van een fragment uit het midden van een molecuul van dit polymeer. Dit fragment moet uit drie monomeereenheden bestaan. 3
- 15 Geef de reactievergelijking in molecuulformules van de thermolyse van *poly(3-hydroxybutaanzuur)* tot crotonzuur. 2

Crotonzuur wordt onder andere gebruikt als beginstof in organische syntheses. Een bepaalde syntheseroute wordt gestart met de elektrofile additie van broom aan crotonzuur. Hierbij ontstaat 2,3-dibroombutaanzuur.

Deze additie verloopt volgens een zogenaamd *anti*-mechanisme:

Een broommolecuul reageert met een crotonzuurmolecuul. Hierbij ontstaan een zogenaamd bromoniumion en een bromide-ion. In het bromoniumion bevindt Br zich aan de onderzijde of aan de bovenzijde van het ion. Vervolgens reageert het bromide-ion vanaf de tegenovergestelde zijde (*anti*) en ontstaat het product.

Zo kan het volgende product ontstaan:

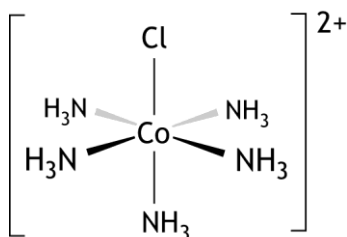


- 16 Leg uit of C atoom 2 de *R*- of de *S*-configuratie heeft. Gebruik in je uitleg een tekening. 3
Bij de structuurformule die van 2,3-dibroombutaanzuur is weergegeven, zijn verschillende stereo-isomeren mogelijk. Deze worden echter niet allemaal gevormd bij de elektrofile additie van broom aan crotonzuur.
- 17 Leg uit hoeveel stereo-isomeren van 2,3-dibroombutaanzuur in totaal in principe mogelijk zijn. 2
- 18 Leg uit hoeveel stereo-isomeren van 2,3-dibroombutaanzuur bij de elektrofile additie van broom aan crotonzuur gevormd worden. 2

Opgave 5 CoFe

17 punten

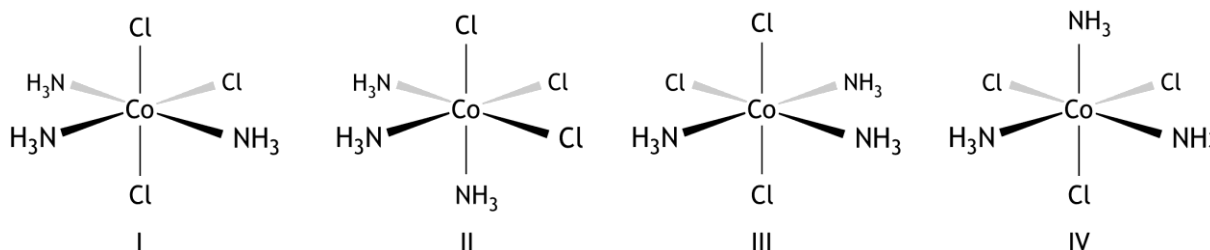
Hieronder staat de structuur van het chloropenta-amminecobalt(III)complex, $\text{Co}(\text{Cl})(\text{NH}_3)_5^{2+}$.



Deze complexen komen voor in een oplossing van chloropenta-amminecobalt(III)chloride. Aan 10,00 mL van een 0,0500 M oplossing van chloropenta-amminecobalt(III)chloride wordt een overmaat van een oplossing van zilvernitraat toegevoegd. Hierbij ontstaat een neerslag.

- 19 Bereken hoeveel g neerslag ontstaat. 3

Er bestaan ook complexen $\text{Co}(\text{Cl})_3(\text{NH}_3)_3$. Hieronder zijn vier structuren getekend met deze formule:

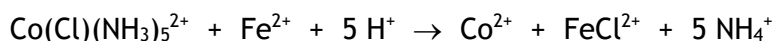


- 20 Welke structuren zijn identiek? 2

Een oplossing waarin complexe ionen $\text{Co}(\text{Cl})(\text{NH}_3)_5^{2+}$ voorkomen, is rood gekleurd. Van een oplossing met $[\text{Co}(\text{Cl})(\text{NH}_3)_5^{2+}] = 0,0200 \text{ mol L}^{-1}$ wordt, bij 520 nm, in een cuvet met een lichtweg van 1,00 cm de transmissie, T , gemeten. Die is 7,50%.

- 21 Bereken de molaire extinctiecoëfficiënt ϵ van $\text{Co}(\text{Cl})(\text{NH}_3)_5^{2+}$. Ga ervan uit dat in de oplossing alleen $\text{Co}(\text{Cl})(\text{NH}_3)_5^{2+}$ licht absorbeert. 3

Wanneer aan een oplossing met $\text{Co}(\text{Cl})(\text{NH}_3)_5^{2+}$ een aangezuurde oplossing van ijzer(II)chloride wordt toegevoegd, treedt de volgende reactie op:



Voor de snelheid van deze reactie geldt $s = k[\text{Co}(\text{Cl})(\text{NH}_3)_5^{2+}][\text{Fe}^{2+}]$.

Om de snelheidsconstante k van deze reactie te bepalen, wordt een experiment uitgevoerd waarbij aan 10,00 mL van een oplossing met $\text{Co}(\text{Cl})(\text{NH}_3)_5^{2+}$ 10,00 mL van een 0,300 M oplossing van ijzer(II)chloride wordt toegevoegd. Daarbij is er voor gezorgd dat de beginconcentratie van Fe^{2+} vele malen groter is dan die van $\text{Co}(\text{Cl})(\text{NH}_3)_5^{2+}$.

Tijdens de reactie wordt op verschillende tijdstippen de extinctie E van de oplossing gemeten bij 520 nm. De volgende waarnemingen zijn hierbij verkregen:

t (min)	10	20	40	60	∞
E	1,15	0,875	0,558	0,410	0,283

De extinctie bij $t = \infty$ is de extinctie die wordt gemeten wanneer de reactie is afgelopen.

Voor de berekening van k mag ervan worden uitgegaan dat de $[\text{Co}(\text{Cl})(\text{NH}_3)_5^{2+}]_t$ evenredig is met $(E_t - E_\infty)$.

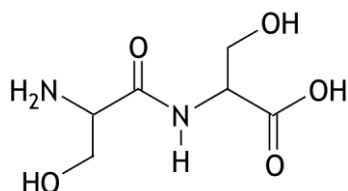
- 22 Geef een mogelijke verklaring waarom E_∞ niet gelijk is aan nul. 1
- 23 Leg uit waarom $[\text{Co}(\text{Cl})(\text{NH}_3)_5^{2+}]_t$ evenredig is met $(E_t - E_\infty)$. 2
- 24 Bereken k in de juiste SI-eenheid. 6

Opgave 6 Dipeptide

14 punten

Dipeptiden zijn een belangrijke bron van stikstof en vrije aminozuren in de cel. Het transport door het celmembran via speciale transporteiwitten blijkt voor dipeptiden sneller en bovendien energetisch gunstiger te verlopen dan het transport van vrije aminozuren. De cel krijgt hierdoor op efficiënte manier een dubbele hoeveelheid bouwstoffen binnen.

Het dipeptide Ser – Ser lost goed op in water; de structuurformule van Ser – Ser kan als volgt worden weergegeven:



In een neutrale oplossing komt Ser – Ser nauwelijks voor in de vorm van bovenstaande structuurformule.

- 25 Geef met een structuurformule weer hoe het dipeptide Ser – Ser hoofdzakelijk voorkomt in een oplossing met pH = 7,0. 1

In een Ser – Ser molecuul komt de zogenoemde amidegroep voor. De binding tussen het koolstofatoom en het stikstofatoom hierin heeft gedeeltelijk het karakter van een dubbele binding.

- 26 Geef hiervoor, aan de hand van elektronenformules (grensstructuren) van de amidegroep, een verklaring. 3

Dit heeft bovendien tot gevolg dat de omringing van het stikstofatoom vlak is en dat er *E/Z* isomeren van Ser – Ser bestaan. Eén van de *E/Z* isomeren van Ser – Ser blijkt veel vaker voor te komen dan de andere.

- 27 Voer de volgende opdrachten uit: 3
- Leg uit dat er *E/Z* isomeren van Ser – Ser bestaan.
 - Teken een ruimtelijke structuur van de *E/Z* isomeer van Ser – Ser die het vaakst voorkomt en leg uit waarom die het vaakst voorkomt.

De vorming van het dipeptide Ser – Ser is een evenwichtsreactie:



Voor evenwicht 1 geldt dat $\Delta G_1^0 = +1,7 \cdot 10^4 \text{ J mol}^{-1}$.

In biologische systemen is de vorming van dipeptiden gekoppeld aan de hydrolyse van adenosinetriofosfaat (ATP), waarbij adenosinedifosfaat (ADP) en een fosfaatgroep (P_i) wordt gevormd:

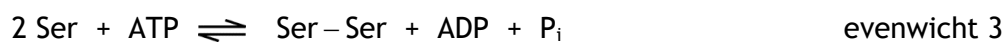


Mogelijkheden voor de formule van P_i zijn H_3PO_4 , H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} en PO_4^{3-} .

- 28 Welke twee van bovengenoemde mogelijkheden voor P_i komen het meest voor in een oplossing met pH = 7,0? 2

Voor evenwicht 2 geldt dat $\Delta G_2^0 = -2,8 \cdot 10^4 \text{ J mol}^{-1}$.

Door koppeling van evenwicht 2 met evenwicht 1 ontstaat een nieuw evenwicht:



□29 Voer de volgende opdrachten uit:

- Bereken de evenwichtsconstante $K_{c,1}$ voor evenwicht 1.
- Bereken de evenwichtsconstante $K_{c,3}$ voor evenwicht 3.
- Leg uit wat het gevolg is van de koppeling van beide evenwichten voor de opbrengst van het dipeptide.

5

Opgave 7 Waterstofopslag

20 punten

Voor de opslag en het vervoer van waterstof is de legering met formule LaNi_5 zeer geschikt.

De legering kan worden bereid door lanthaan(III)oxide en nikkel(II)oxide in de juiste verhouding met elkaar te laten reageren in aanwezigheid van een overmaat calciumhydride. Er ontstaat dan ook calciumhydroxide. Er wordt ongeveer twee keer zoveel calciumhydride gebruikt als theoretisch nodig is.

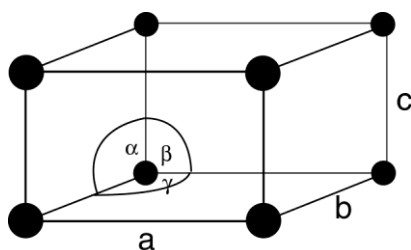
□30 Bereken in welke massaverhouding lanthaan(III)oxide en nikkel(II)oxide met elkaar moeten reageren. Noteer je antwoord als lanthaan(III)oxide : nikkel(II)oxide = ... : 1,0. 3

□31 Bereken hoeveel gram calciumhydride wordt gebruikt voor de synthese van 1,0 g LaNi_5 in het geval een tweevoudige overmaat calciumhydride wordt toegepast. 4

Na afloop van de reactie is een mengsel ontstaan van de vaste stoffen LaNi_5 , calciumhydroxide en calciumhydride. Daaruit moeten het calciumhydroxide en calciumhydride worden verwijderd.

□32 Leg uit hoe je dit zou kunnen doen. 2

De eenheidscel van LaNi_5 heeft de volgende vorm:



Hierin zijn de hoeken α en β gelijk aan 90° en is hoek γ gelijk aan 120° terwijl voor de ribben geldt $a = b = 511 \text{ pm}$ en $c = 397 \text{ pm}$.

De formule van de eenheidscel is LaNi_5 . Op de hoekpunten bevinden zich de lanthaanatomen (de zwarte bolletjes). In de volledige tekening van de eenheidscel van LaNi_5 moeten nog 9 nikkelatomen worden getekend.

□33 Leg uit waar de nikkelatomen zich in de eenheidscel kunnen bevinden. 3

□34 Bereken de dichtheid van LaNi_5 in kg m^{-3} . Voor deze berekening heb je het volume van de eenheidscel nodig; kun je die niet berekenen, neem dan $V_{\text{cel}} = 1,2 \cdot 10^{-28} \text{ m}^3$; dit is niet het juiste volume. 3

In de holtes tussen de atomen in het LaNi_5 rooster kunnen zich waterstofatomen nestelen. Wanneer alle holtes zijn voorzien van waterstofatomen, kan de LaNi_5 legering per cm^3 1244 keer zoveel waterstofatomen herbergen als aanwezig zijn in een cm^3 gasvormig waterstof bij 273 K en $p = p_0$.

□35 Bereken hoeveel waterstofatomen maximaal in de holtes van een eenheidscel kunnen worden opgeslagen. Voor deze berekening heb je het volume van de eenheidscel nodig; kun je die niet berekenen, neem dan $V_{\text{cel}} = 1,2 \cdot 10^{-28} \text{ m}^3$; dit is niet het juiste volume. 5