

Examen HAVO

2021

tijdvak 3
maandag 6 juli
13.30 - 16.30 uur

scheikunde

Bij dit examen hoort een uitwerkbijlage.

Gebruik zo nodig het informatieboek Binas of ScienceData.

Dit examen bestaat uit 33 vragen.

Voor dit examen zijn maximaal 78 punten te behalen.

Voor elk vraagnummer staat hoeveel punten met een goed antwoord behaald kunnen worden.

Als bij een vraag een verklaring, uitleg, berekening of afleiding gevraagd wordt, worden aan het antwoord meestal geen punten toegekend als deze verklaring, uitleg, berekening of afleiding 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, dan worden alleen de eerste twee in de beoordeling meegeteld.

Geleisuiker

Rian maakt aardbeienjam. Volgens haar recept moet ze gepureerde aardbeien vier minuten lang koken met wat citroensap en geleisuiker. Geleisuiker is een mengsel van suiker (sacharose), pectine en citroenzuur. Sacharose geeft de jam een zoete smaak. Ook bindt sacharose een groot deel van het water uit het fruit, waardoor micro-organismen in jam nauwelijks kunnen groeien en de jam lang houdbaar blijft. Op de uitwerkbijlage bij dit examen is de structuurformule van een sacharosemolecuul weergegeven.

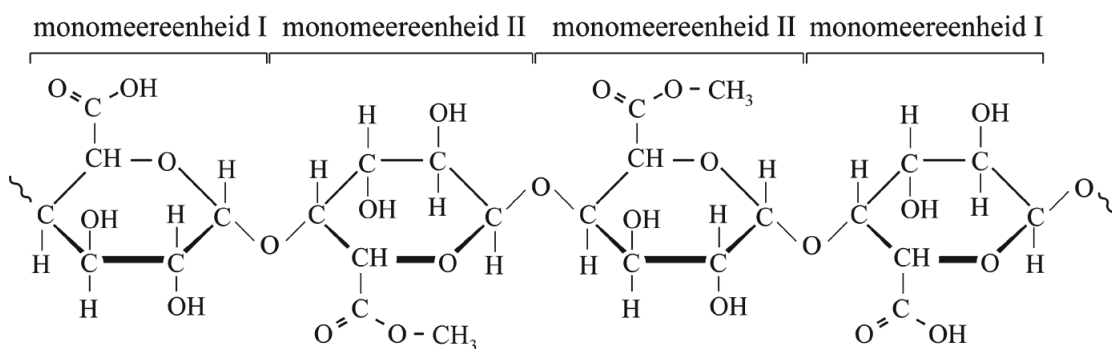
- 2p 1 Teken op de uitwerkbijlage twee watermoleculen die elk met een waterstofbrug aan het sacharosemolecuul zijn gebonden.

- Geef elk watermolecuul weer met $\text{H}-\text{O}-\text{H}$.
- Geef de waterstofbruggen weer met stippellijntjes ($\cdots$).

Tijdens het koken treedt hydrolyse op van de sacharosemoleculen. Op de uitwerkbijlage is deze hydrolyse onvolledig weergegeven.

- 3p 2 Geef op de uitwerkbijlage de reactievergelijking in structuurformules van de hydrolyse van sacharose.

Het verdikkingsmiddel pectine maakt de jam minder vloeibaar. Hieronder is een fragment van een pectinemolecuul in structuurformule weergegeven.



Pectine is een copolymeer. Pectine wordt gevormd uit monomeren van galacturonzuur (monomeereenheid I) en monomeren van stof II (monomeereenheid II). Stof II kan beschouwd worden als de ester van galacturonzuur en één andere stof.

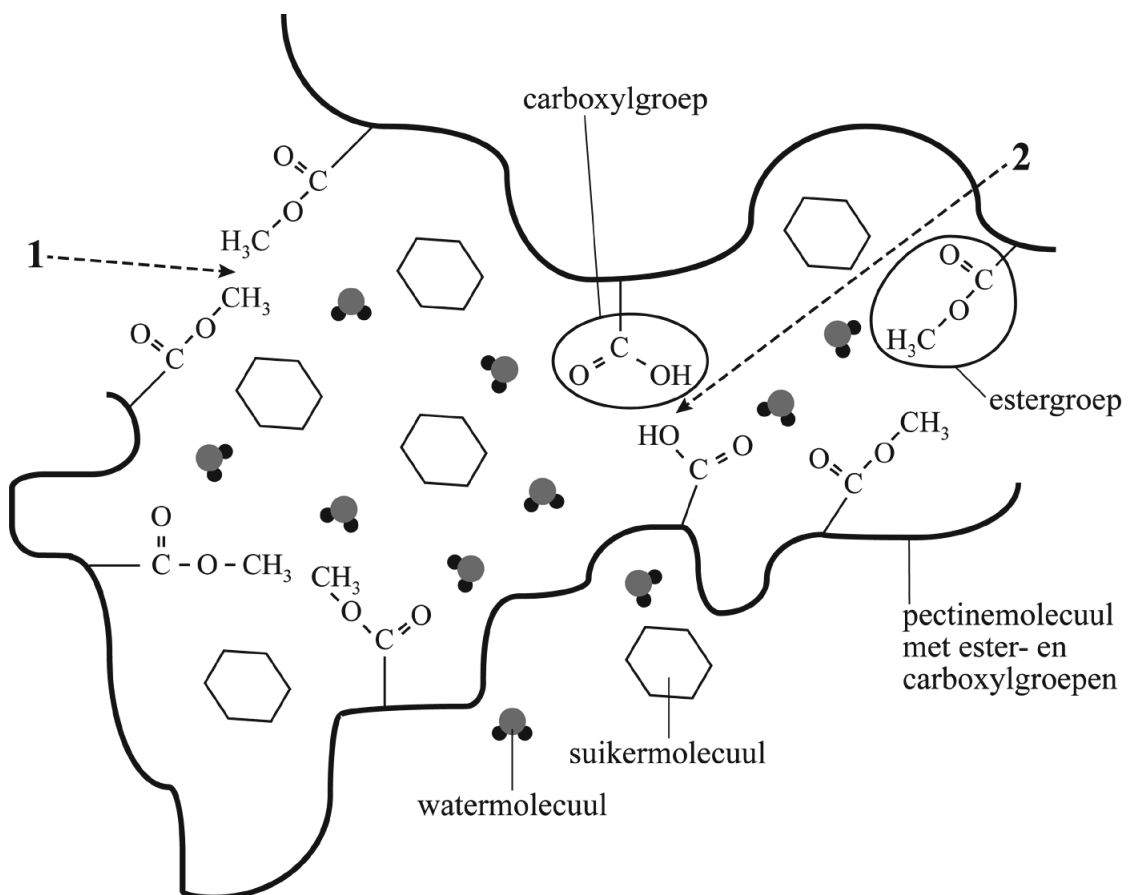
- 2p 3 Geef de structuurformule van deze andere stof.

Rian heeft berekend dat een potje jam 1,6 gram pectine bevat.

- 4p 4 Bereken het totale aantal mol pectine in dit potje jam.
Gebruik de volgende gegevens:
- Een pectinemolecuul bestaat gemiddeld uit $5,1 \cdot 10^2$ monomeereenheden.
 - 72% van de $5,1 \cdot 10^2$ monomeereenheden is monomeereenheid II.
 - Monomeereenheid II heeft een molaire massa van 190 g mol^{-1} .
 - Monomeereenheid I heeft de formule $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$.

Wanneer de jam na het koken afkoelt, vormt zich een netwerk van pectinemoleculen dat de andere stoffen insluit. Een dergelijk netwerk wordt een gel genoemd. In onderstaande figuur zijn twee pectinemoleculen te zien die door middel van bindingen (zie **1**) tussen de estergroepen en bindingen (zie **2**) tussen de carboxylgroepen met elkaar verbonden zijn.

figuur



- 2p 5 Geef de naam van het bindingstype dat wordt aangeduid met cijfer **1** in de figuur. Licht je antwoord toe aan de hand van de structuurformules van de betrokken groepen.

Het citroensap dat Rian heeft toegevoegd, bevat een zuur dat de vorming van een gel bevordert en de pH rond 3,2 brengt.

- 2p **6** Bereken $[H^+]$ in mol L⁻¹ in deze jam met pH = 3,2. Geef de uitkomst in het juiste aantal significante cijfers.

De structuurformule van het zuur in citroensap is te omschrijven als propaan met op het eerste, tweede en derde koolstofatoom een carboxylgroep in plaats van een H-atoom. Ook bevindt zich aan het middelste koolstofatoom een hydroxylgroep in plaats van een H-atoom. De molecuulformule is C₆H₈O₇.

- 2p **7** Geef de structuurformule van het zuur op basis van bovenstaande beschrijving.

Als Rian vergeet om citroensap toe te voegen wordt de pH van de jam hoger dan 4,1. Bij deze hogere pH zal de meerderheid van de carboxylgroepen (COOH) in pectine zijn omgezet tot COO⁻-groepen. Zonder citroensap zullen er dus weinig tot geen carboxylgroepen zijn, waardoor de binding die in de figuur is aangeduid met cijfer **2** niet aanwezig is. De afwezigheid van deze binding zorgt ervoor dat de pectinemoleculen niet bij elkaar worden gehouden en er zich geen gel vormt. Tussen de COO⁻-groepen vindt zelfs een interactie plaats die gelvorming tegengaat.

- 2p **8** Geef de naam van het bindingstype dat is aangeduid met cijfer **2** en geef aan welke interactie tussen COO⁻-groepen plaatsvindt waardoor gelvorming wordt tegengegaan.
Noteer je antwoord als volgt:
bindingstype (aangeduid met cijfer **2**): ...
interactie tussen COO⁻-groepen: ...

Ga verder op de volgende pagina.

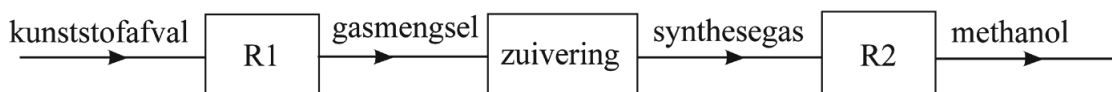
Van kunststofafval tot grondstof

In Europa werd in 2016 van al het ingezamelde kunststofafval ongeveer 30% gerecycled. De rest van het kunststofafval belandde op de vuilnisbelt of werd verbrand. Sommige kunststoffen, zoals thermoharders, zijn moeilijk te recyclen.

- 2p 9 Geef aan op macroniveau en op microniveau, waarom een thermoharder moeilijk te recyclen is.
Noteer je antwoord als volgt:
macroniveau: ...
microniveau: ...

In de haven van Rotterdam wordt een fabriek gebouwd die niet-recyclebaar kunststofafval gaat omzetten tot waardevolle chemicaliën. Een voorbeeld is de vorming van de grondstof methanol. In figuur 1 is een onvolledig blokschema van dit proces weergegeven.

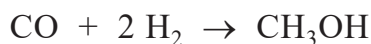
figuur 1



In reactor 1 (R1) wordt kunststofafval omgezet tot een gasmengsel. Voor deze omzetting is energie nodig. Op de uitwerkbijlage is een onvolledig energiediagram weergegeven van deze reactie.

- 3p 10 Maak op de uitwerkbijlage het energiediagram van deze reactie af. Geef de volgende onderdelen weer, met bijbehorende bijschriften:
- het energieniveau van de reactieproducten;
 - het energieniveau van de geactiveerde toestand;
 - de reactiewarmte.

Het in R1 ontstane gasmengsel wordt vervolgens gezuiverd tot synthesegas: een mengsel van koolstofmono-oxide en waterstof. In reactor 2 (R2) wordt uit dit synthesegas methanol gevormd volgens onderstaande vergelijking.

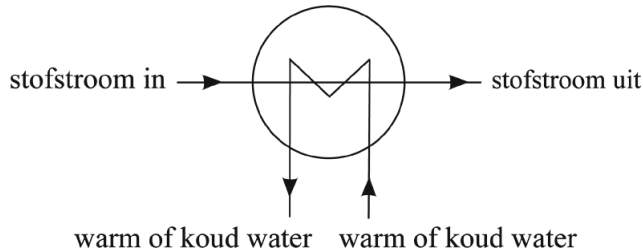


Bij deze reactie komt warmte vrij.

- 2p 11 Bereken de reactiewarmte van deze reactie in J per mol methanol ($T = 298\text{K}$ en $p = p_0$). Gebruik Binas-tabel 57 of ScienceData-tabel 9.2.

In een chemische fabriek zal de vrijgekomen reactiewarmte zo veel mogelijk elders in het proces weer gebruikt worden. Hierbij worden warmtewisselaars ingezet. In deze opgave wordt een warmtewisselaar weergegeven zoals in figuur 2.

figuur 2



Op de uitwerkbijlage is het blokschema uit figuur 1 weergegeven en uitgebreid met één warmtewisselaar. In dit blokschema ontbreekt een tweede warmtewisselaar.

- 2p **12** Voer in het blokschema op de uitwerkbijlage de volgende opdrachten uit:
- Teken de tweede warmtewisselaar.
 - Geef bij elke warmtewisselaar met een pijl de richting aan van de waterinvoer en de wateruitvoer.
 - Geef bij elke warmtewisselaar aan welke stroom koud water bevat en welke stroom warm water bevat.
 - Houd rekening met hergebruik van energie.

De Rotterdamse fabriek kan $3,6 \cdot 10^5$ ton kunststofafval verwerken tot $2,13 \cdot 10^5$ ton methanol ($1,0 \text{ ton} = 1,0 \cdot 10^3 \text{ kg}$). Deze opbrengst is lager dan volgens de theorie te verwachten is.

- 3p **13** Bereken het rendement van de omzetting van kunststofafval tot methanol. Neem aan dat kunststofafval 60 massaprocent koolstof bevat.

Methanol is een belangrijke grondstof voor de productie van alkenen, die gebruikt kunnen worden voor de productie van bijvoorbeeld kunststoffen.

- 2p **14** Geef één argument waaruit blijkt dat kunststof die is gemaakt met behulp van methanol uit de Rotterdamse fabriek past bij het cradle-to-cradle-principe. Licht je antwoord toe.

CO-meting

In een verkeerd afgestelde cv-ketel kan onvolledige verbranding van aardgas optreden. Daarbij kan, behalve water en koolstofdioxide, ook het giftige gas koolstofmono-oxide (CO) ontstaan.

3p 15 Geef de vergelijking voor de onvolledige verbranding van aardgas.

Neem aan dat:

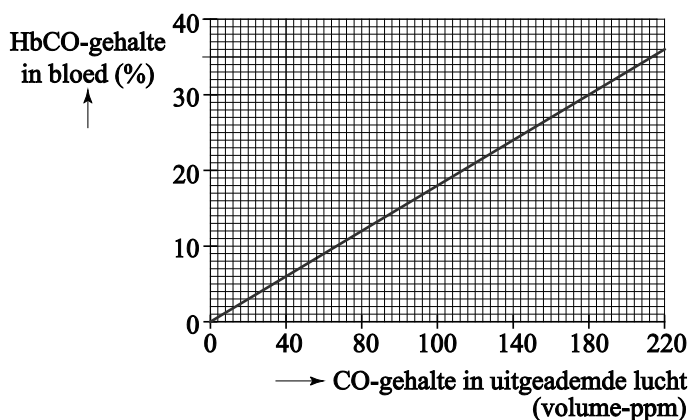
- aardgas alleen uit methaan bestaat;
- uitsluitend CO, koolstofdioxide en water ontstaan;
- CO en koolstofdioxide ontstaan in de molverhouding 1 : 2.

Koolstofmono-oxide is giftig doordat het zuurstof uit het lichaam verdringt. Bij inademing van schone lucht wordt zuurstof uit de lucht gebonden door het eiwit hemoglobine (Hb). Hierbij ontstaat oxyhemoglobine (HbO_2), dat zuurstof via de bloedbaan door het lichaam verspreidt. Wanneer lucht is verontreinigd met koolstofmono-oxide, wordt koolstofmono-oxide in plaats van zuurstof door Hb gebonden. Er ontstaat dan HbCO. Slechts een kleine concentratie koolstofmono-oxide leidt al tot een vergiftiging. Inademing van lucht die 0,10 volumeprocent koolstofmono-oxide bevat, leidt ertoe dat 50% van alle Hb-moleculen bindt met CO-moleculen en 50% van de Hb-moleculen bindt met O_2 -moleculen.

2p 16 Leid uit bovenstaande informatie af dat Hb-moleculen bij voorkeur aan CO-moleculen binden. Gebruik eventueel een gegeven uit Binas-tabel 83C of ScienceData-tabel 21.4.

Bij een vermoeden van CO-vergiftiging kan het CO-gehalte in de uitgeademde lucht worden gemeten met een CO-meter. Deze meting is mogelijk omdat koolstofmono-oxide dat aan hemoglobine is gebonden, ook weer kan loslaten en geleidelijk wordt uitgeademd. Uit de meetwaarde wordt vervolgens het HbCO-gehalte in het bloed berekend. Het verband tussen het CO-gehalte in de uitgeademde lucht en het HbCO-gehalte in het bloed is in de figuur weergegeven.

figuur



Bij een HbCO-gehalte van meer dan 12% is er sprake van CO-vergiftiging. Het CO-gehalte op de horizontale as is uitgedrukt in volume-ppm. 1 volume-ppm komt overeen met $1 \cdot 10^{-6}$ liter koolstofmono-oxide per liter lucht. Bij een meting blijkt de uitgeademde lucht van een persoon $3,0 \cdot 10^2$ μg koolstofmono-oxide te bevatten. Het volume van de uitgeademde lucht van deze persoon was 4,0 L.

- 3p 17 Voer de volgende opdrachten uit:
- Bereken het CO-gehalte in volume-ppm in de uitgeademde lucht van deze persoon. De dichtheid van koolstofmono-oxide is $1,25 \text{ g L}^{-1}$.
 - Leg uit met behulp van de figuur of er sprake is van CO-vergiftiging.

De werking van de CO-meter is gebaseerd op een redoxreactie in een elektrochemische cel. De uitgeademde lucht wordt langs een van de elektroden geleid. Het CO wordt daarbij omgezet tot CO_2 volgens onderstaande halfreactie.



Aan de andere elektrode van de CO-meter reageert zuurstof. Bij deze omzetting reageren ook H^+ -ionen.

- 3p 18 Geef de vergelijking van de andere halfreactie en de vergelijking van de totale reactie in de CO-meter. Gebruik Binastabel 48 of ScienceData-tabel 9.1F.

Iemand met een CO-vergiftiging moet snel schone lucht inademen die geen koolstofmono-oxide bevat. CO-moleculen die loslaten van Hb-moleculen worden dan verdrongen door de overmaat aan O_2 -moleculen die wordt ingeademd. De vrijgekomen Hb-moleculen binden vervolgens O_2 -moleculen in plaats van CO-moleculen. De snelheid waarmee de concentratie HbCO in het bloed afneemt is zodanig dat elke 5 uur de concentratie HbCO halveert. De concentratie HbCO in het bloed van een patiënt is $2,28 \text{ mmol L}^{-1}$.

- 2p 19 Bereken de gemiddelde snelheid in $\text{mol L}^{-1} \text{ s}^{-1}$ waarmee de concentratie HbCO gedurende de eerste 5,0 uur afneemt.

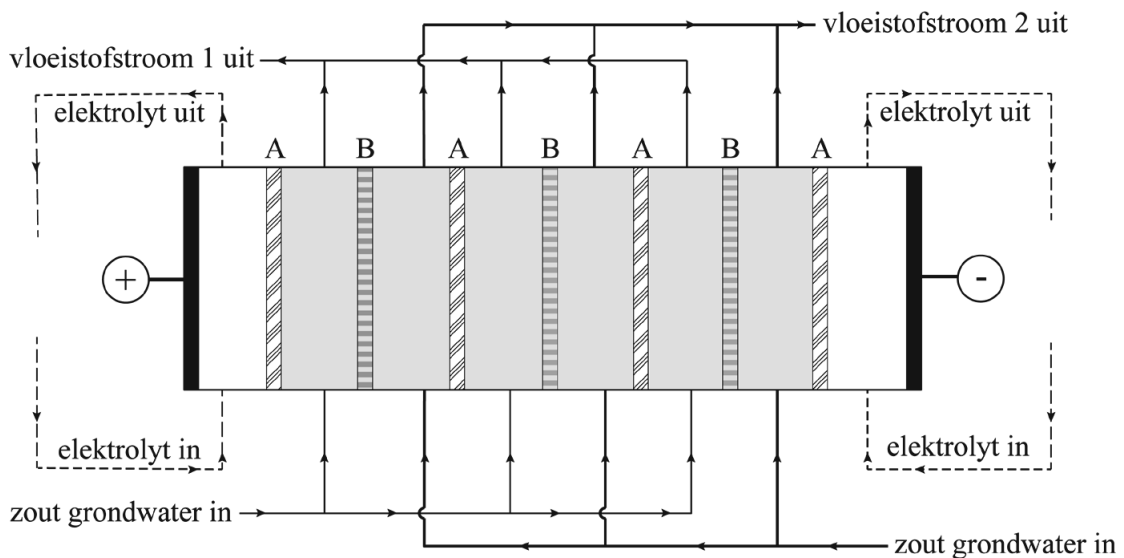
Een nadeel van de inademing van lucht is dat het lang duurt voordat de concentratie HbCO op een niet-giftig niveau is gekomen. Bij ernstige CO-vergiftiging wordt daarom vaak beademd met zuivere zuurstof. De tijd die nodig is om de concentratie HbCO te halveren wordt dan teruggebracht tot 1,0 uur.

- 2p 20 Leg uit, met behulp van het botsende-deeltjesmodel, dat bij beademden met zuivere zuurstof een lege bindingsplek in een Hb-molecuul sneller wordt gevuld door een O_2 -molecuul dan bij het inademen van lucht.

Zonlicht maakt zout water zoet

Voor het verbouwen van gewassen zoals rijst is veel water nodig. Grondwater bevat vaak te veel opgeloste zouten om het water voor gewasteelt te kunnen gebruiken. Deze zouten moeten worden verwijderd. Hierna wordt het water 'zoet water' genoemd. Destillatie van grote hoeveelheden grondwater kost veel energie en is duur. Een mogelijk alternatief is elektrodialyse. Bij elektrodialyse stroomt zout grondwater door een opstelling met membranen waarover een spanning is aangelegd (figuur 1). De benodigde elektrische energie wordt met behulp van zonlicht opgewekt.

figuur 1



In figuur 1 is weergegeven hoe zout grondwater van onderaf een opstelling met zes compartimenten binnestroomt. Na inschakelen van de spanningsbron kunnen de ionen die in het zoute water aanwezig zijn zich door een membraan verplaatsen. Membraan A laat uitsluitend positieve ionen door en membraan B uitsluitend negatieve ionen. Doordat de membranen A en B afwisselend zijn geplaatst, vindt in sommige compartimenten een verwijdering van ionen plaats en in andere compartimenten een toename van de concentratie van ionen. Er stromen dus twee vloeistoffen uit de opstelling: zoet water en zeer zout water.

- 2p 21 Geef op de uitwerkbijlage aan welke van de getekende ionen zich door een membraan verplaatsen na het inschakelen van de spanningsbron. Geef ook telkens de richting van deze verplaatsing aan met een pijl.
- 1p 22 Geef aan welke vloeistofstroom bestaat uit zoet water en welke vloeistofstroom uit zeer zout water.
Noteer je antwoord als volgt:
vloeistofstroom 1: ...
vloeistofstroom 2: ...

Aan de negatieve elektrode ontstaat waterstof volgens halfreactie 1. Als deze waterstof wordt opgeslagen, kan die gebruikt worden voor een brandstofcel die 's nachts de opstelling van energie voorziet. De waterstof wordt gevormd volgens onderstaande halfreactie:



Langs beide elektroden wordt een elektrolyt-oplossing geleid. Hiervoor wordt een oplossing van natriumsulfaat (Na_2SO_4) gebruikt.

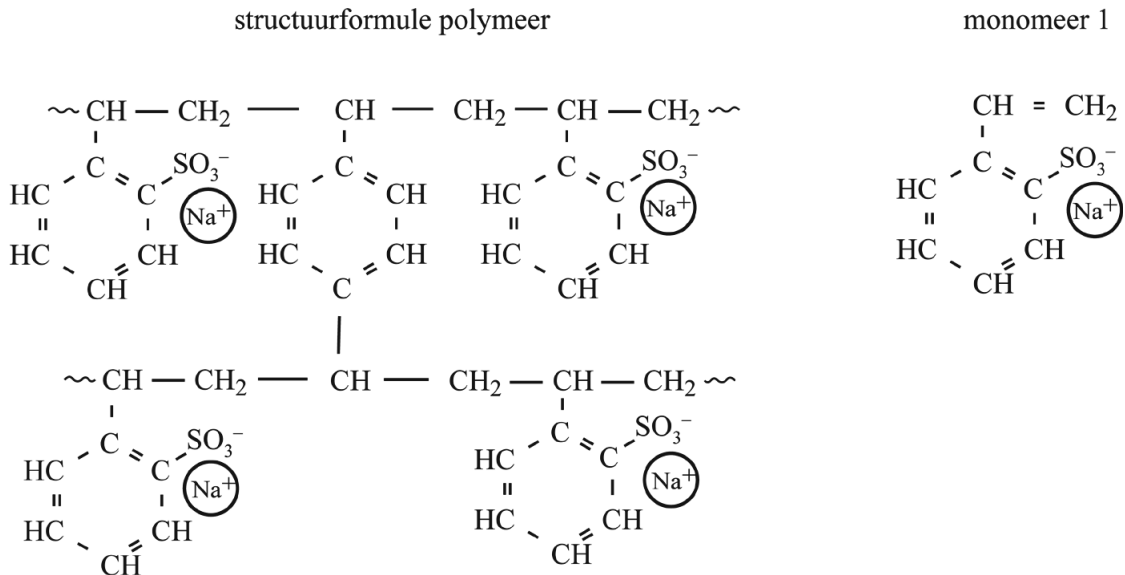
- 2p **23** Leg uit of de elektrolyt-oplossing aan de negatieve elektrode (na enige tijd) ververst moet worden.

In de opstelling van figuur 1 wordt voorkómen dat chloride-ionen in de elektrolyt-oplossing aan de positieve elektrode komen. Dit voorkomt het optreden van een ongewenste halfreactie van Cl^- aan deze elektrode. Volgens het GHS-systeem zou dan gevarenzin H330 van toepassing zijn.

- 2p **24** Geef de vergelijking voor deze halfreactie **en** geef aan op welke stof H330 van toepassing is. Gebruik Binas-tabellen 48 en 97E of ScienceData-tabellen 9.1F en 38.3.
Noteer je antwoord als volgt:
vergelijking halfreactie: ...
H330 is van toepassing op de stof: ...

In figuur 2 is de structuurformule weergegeven van een additiepolymeer waaruit een van de twee soorten membranen uit de opstelling is gemaakt. Dit additiepolymeer is gevormd uit twee soorten monomeren. Een van de monomeren is ook apart in figuur 2 weergegeven. Het andere monomeer zorgt voor crosslinks tussen de ketens van het polymeer.

figuur 2



- 3p **25** Geef de structuurformule van het andere monomeer, dat zorgt voor crosslinks tussen de ketens van het polymeer.
- 2p **26** Leg uit of het membraan dat is gemaakt van dit polymeer (dat is weergegeven in figuur 2) alleen positieve ionen of juist alleen negatieve ionen doorlaat.

Een belangrijk voordeel van elektrodialyse is het lage energieverbruik. Met 2,3 kWh aan energie kan 1,0 m³ zout grondwater worden gezuiverd. De benodigde energie kan bovendien met zonlicht worden opgewekt. Bij het destilleren van zout grondwater ligt het energieverbruik veel hoger, doordat veel energie nodig is om water te laten verdampen.

Met behulp van onderstaande gegevens kan worden berekend dat met 2,3 kWh aan energie via destillatie veel minder dan 1,0 m³ zout grondwater gezuiverd kan worden.

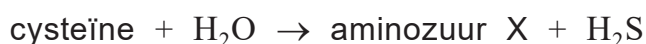
Gegevens:

- 1,0 kWh komt overeen met $3,6 \cdot 10^6$ J.
- De verdampingsenergie van zout grondwater is $2,26 \cdot 10^6$ J per kg.
- De dichtheid van zout grondwater is $1,02 \cdot 10^3$ kg m⁻³.

- 4p **27** Bereken met behulp van deze gegevens het volume zout grondwater in m³ dat met 2,3 kWh aan energie gezuiverd kan worden via destillatie. Geef de uitkomst in het juiste aantal significante cijfers.

Ga verder op de volgende pagina.

Planten maken de zwavelbevattende aminozuren cysteïne en methionine uit sulfaationen. Deze ionen worden opgenomen uit de bodem. Door het eten van planten krijgen mensen deze aminozuren binnen. In het menselijk lichaam worden vrijwel alle zwavelbevattende stoffen gemaakt uit de aminozuren cysteïne of methionine. Zo wordt de stof diwaterstofsulfide, die helpt de bloeddruk te reguleren, gemaakt uit cysteïne. Deze omzetting is hieronder schematisch weergegeven.



- 1p **28** Geef de naam van aminozuur X. Gebruik Binas-tabel 67H1 of ScienceData-tabel 13.7c.

Het lichaam bewaart cysteïne door het om te zetten tot glutathion en dit vervolgens op te slaan. Glutathion is een verbinding van de aminozuren glutaminezuur, cysteïne en glycine. Glutathion kan worden weergegeven als:

Glu*-Cys-Gly

Hierbij is het aminozuur glutaminezuur weergegeven als Glu*, omdat dit aminozuur op een opmerkelijke manier aan cysteïne is gebonden. De carboxylgroep van de restgroep van glutaminezuur is gebonden aan de aminogroep van cysteïne. Cysteïne en glycine zijn wel op de gebruikelijke manier aan elkaar gebonden.

- 4p **29** Geef de structuurformule van glutathion.

Het overschot aan zwavelbevattende aminozuren wordt in het lichaam van mensen en dieren omgezet tot sulfaationen die via de urine worden uitgescheiden. Deze ionen kunnen via het grondwater door planten worden opgenomen, maar kunnen ook via het oppervlaktewater in zee belanden. In zee kunnen de sulfaationen worden omgezet tot organische verbindingen. Bij de afbraak van deze verbindingen ontstaan vluchtige zwavelbevattende stoffen, zoals carbonylsulfide. De molecuulformule van carbonylsulfide is COS.

- 2p **30** Geef de structuurformule van COS.

De vluchtige zwavelbevattende stoffen komen vrij uit de oceaan en worden in de atmosfeer omgezet tot zwaveldioxide. Vervolgens worden de zwaveldioxidemoleculen in een reactie met andere moleculen omgezet tot sulfaationen. De sulfaationen komen, met bijvoorbeeld regen, in de bodem terecht.

- 2p **31** Leg uit aan de hand van de lading van de genoemde deeltjes of sulfaationen de enige deeltjes zijn die ontstaan bij deze omzetting van zwaveldioxide.

Het gedeelte van de kringloop dat in deze opgave wordt beschreven, is op de uitwerkbijlage vereenvoudigd en onvolledig weergegeven. De verschillende zwavelbevattende stoffen ontbreken en de richting van vier stofstromen is niet aangegeven.

- 3p **32** Vul het schema op de uitwerkbijlage aan.
- Maak pijlen van alle lijnen, zodat die de juiste richting van de stofstromen aangeven.
 - Noteer op elke stippellijn het nummer van de juiste stof, stofgroep of ionsoort. Houd er rekening mee dat er één nummer is dat vaker dan één keer moet worden gebruikt.
 - 1 vluchtige zwavelbevattende stoffen
 - 2 sulfaationen
 - 3 zwavelbevattende aminozuren
 - 4 zwaveldioxide

- 2p **33** Leg uit of de kringloop die in deze opgave is beschreven, een stofkringloop of een elementkringloop is. Geef ook aan op welke stof of element de kringloop betrekking heeft.
Noteer je antwoord als volgt:
Dit is een ... kringloop van ..., omdat ...

Bronvermelding

Een opsomming van de in dit examen gebruikte bronnen, zoals teksten en afbeeldingen, is te vinden in het bij dit examen behorende correctievoorschrift, dat na afloop van het examen wordt gepubliceerd.