**Examen VWO**

**2016**

2

tijdvak 2

woensdag 22 juni

13.30 - 16.30 uur

**scheikunde**

Bij dit examen hoort een uitwerkbijlage.

Dit examen bestaat uit 29 vragen.

Voor dit examen zijn maximaal 69 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.

VW-1028-a-16-2-o

# VWO herexamen 2016 Chillen bij – 60 °C



Sommige kevers, zoals de *Upis ceramboides*, kunnen in poolgebieden een temperatuur van **** 60°C overleven. Dat hebben ze onder andere te danken aan twee mechanismen die bevriezing van het water in hun lichaam

voorkomen.

## Mechanisme 1: ijs-bindende eiwitten

Sommige poolkevers maken speciale eiwitten (AFP’s) aan. De AFP-moleculen binden met waterstofbruggen aan kleine ijskristallen en

voorkomen zo het uitgroeien tot grotere ijskristallen die cellen en/of organen zouden beschadigen.

Een goed gekarakteriseerde AFP van een kever is TmAFP (zie figuur 1). AFP’s van andere kevers

CC

lijken hierop: karakteristiek zijn de windingen van

telkens 12 aminozuren. De aminozuurvolgorde van iedere winding kan worden weergegeven met de

codering TCTxSxxCxxAx. In deze codering wordt

C

elk aminozuur weergegeven met één letter

(zie Binas-tabel 67H) en is een x gebruikt voor een willekeurig aminozuur.

## figuur 1

schematische weergave van een gedeelte van TmAFP



C

TCT C

TCT C

TCT C

TCT

4p **1** Geef het gedeelte ~ TCT ~ in een structuurformule weer en geef weer hoe een molecuul water aan dit gedeelte gebonden zit.

C

In de zich vormende AFP worden tussen de SH groepen van

opeenvolgende cysteïne-eenheden covalente bindingen gevormd, de zogeheten zwavelbruggen. Deze reactie is een redoxreactie, die

hieronder onvolledig is weergegeven.

C S

SH T-C-T

SH

C



2 H+

S

T-C-T

2p **2** Leg uit of voor de vorming van de zwavelbruggen de SH groepen met een oxidator of met een reductor moeten reageren.

## Mechanisme 2: ijs-bindende suikers

Behalve de ijs-bindende eiwitten hebben de kevers een tweede

beschermingsmechanisme. Op de celmembranen van bepaalde cellen

van de kevers bevinden zich moleculen van een polysacharide, waarin de monosachariden mannose (afgekort Man) en xylose (afgekort Xyl) elkaar afwisselen (zie figuur 2). Deze moleculen verhinderen de vorming van

ijskristallen tussen de cellen.

## figuur 2

OH



CH2OH

O OH HO

Man



O OH

O O

Xyl

*n*

Bij het onderzoek werd de polysacharide onder invloed van een enzym bij pH = 7,5 volledig gehydrolyseerd. De ontstane oplossing bleek het

beschermende effect tegen bevriezing niet te bezitten.

Op de uitwerkbijlage is de structuurformule van zo’n polysacharide weergegeven.

3p **3** Geef op de uitwerkbijlage de reactievergelijking in structuurformules van de volledige hydrolyse van deze polysacharide.

In de oplossing die ontstond na de hydrolyse waren ook vrije vetzuren aanwezig. Een onderzoeker vermoedde dat moleculen van de

polysacharide veresterd zijn met één of meerdere moleculen van de vetzuren. Hij stelde de volgende hypothese op: “Moleculen van de

antivriesstof bevinden zich in de vloeistof buiten de cel. Deze moleculen zijn verankerd in het celmembraan door de staarten van één of meerdere vetzuren.”

Op de uitwerkbijlage staat een celmembraan schematisch weergegeven.

2p **4** Geef schematisch op de uitwerkbijlage weer hoe een molecuul van de

antivriesstof volgens deze onderzoeker in het celmembraan verankerd is.

Geef het polysacharide-gedeelte weer als Geef het vetzuur-gedeelte weer als

Geef de verestering weer als 

# C:\Users\w.renkema\AppData\Local\Microsoft\Windows\INetCache\IE\0ELRD7R7\18aae99fadfad691a998eacedf0a28eb.pngWaterstof-brandstofcel

In het eerste waterstof-tankstation van Nederland wordt waterstofgas bij een druk van 700 bar overgepompt in de tank van de auto. De druk wordt zo hoog gehouden omdat de energiedichtheid van de waterstof dan veel hoger is dan wanneer waterstof bij gewone druk zou worden gebruikt.

De energiedichtheid van benzine bij volledige verbranding bedraagt

46 MJ kg–1, wat overeenkomt met 3,3·104 MJ m–3. Het ontstane water komt hierbij vrij als gas.

De energiedichtheid van waterstof bij 700 bar is hoger dan die van

benzine wanneer deze wordt uitgedrukt in MJ kg–1, maar lager wanneer deze wordt uitgedrukt in MJ m–3.

3p **5** Bereken de energiedichtheid van waterstof. Geef je antwoord zowel in MJ kg–1 als MJ m–3. Het ontstane water komt vrij als gas.

Het molair volume bedraagt dan 5,3·10–5 m3 mol–1. Neem aan dat onder deze omstandigheden de waardes van de reactiewarmtes uit Binas

mogen worden gebruikt.

Als de waterstof door elektrolyse van water wordt bereid, gaat 35% van de toegevoerde elektrische energie verloren. Het energie-rendement van een waterstof-brandstofcel bedraagt gemiddeld 45%. In beide gevallen is het verlies aan energie vooral te wijten aan de ontwikkeling van warmte.

Overige rendementsverliezen worden hierbij verwaarloosd. Het totale

energie-rendement van de vorming van waterstof uit water, waarna het in een brandstofcel wordt gebruikt, is hierdoor laag.

2p **6** Bereken het totale energie-rendement.

Veel onderzoek richt zich op het membraan dat tussen de elektrodes

aanwezig is. Het meest gebruikte membraanmateriaal is Nafion-117. Een molecuul van Nafion is opgebouwd uit twee monomeren. In figuur 1 is een gedeelte uit een molecuul Nafion weergegeven.

## figuur 1

~~[(~~CF O

CF2 ~~(~~ CF2

CF2 *n*

CF2

CF O

CF2

CF2

OSO3H

CF3 Nafion

Omdat de waarde van *n* kan variëren, bestaan verschillende typen Nafion.

De aanduiding 117 geeft daarom informatie over de structuur van het

membraan. De eerste twee cijfers geven aan dat per 1100 gram materiaal één mol sulfonzuurgroepen (~OSO3H) voorkomt.

Het cijfer 7 geeft informatie over de dikte van het membraan.

3p **7** Bereken de gemiddelde waarde van *n* voor Nafion-117.

Als Nafion in contact wordt gebracht met water zwelt het materiaal op door opname van water. Door het sterk hydrofiele karakter van de

zijketens vormen zich holtes en kanalen in het materiaal. In deze holtes is water aanwezig. De sulfonzuurgroepen die aan het eind van de zijketens van het polymeer aanwezig zijn, steken in de holtes. Deze groepen

gedragen zich in water als sterk zuur, waardoor in de holtes H+ ionen

aanwezig zijn.

Het zure karakter van de sulfonzuurgroep wordt onder andere veroorzaakt doordat van de geconjugeerde R–OSO – groep meerdere grensstructuren

3

mogelijk zijn.

4p **8** Geef de Lewisstructuur van de groep R–OSO3 en leg uit dat van deze

–

groep meerdere grensstructuren bestaan. Geef in de tekening formele lading(en) aan.

Neem aan dat de covalentie van zwavel 6 is. De overige atomen in de weergegeven Lewisstructuur moeten voldoen aan de oktetregel. Laat hierbij de groep R buiten beschouwing.

Tijdens stroomlevering bewegen gehydrateerde H+ ionen door het

materiaal heen. Door de reacties die in de brandstofcel optreden en de beweging van gehydrateerde H+ ionen wordt het watergehalte in het

membraan beïnvloed. Voor een optimale werking moet het gehalte water in het membraan constant blijven.

De halfreacties aan de elektrodes in een waterstof-brandstofcel zijn hieronder weergegeven.

H  2 H+ + 2 e– (negatieve elektrode)

2

O + 4 H+ + 4 e–  2 H2O (positieve elektrode)

2

De H+ ionen die aan de negatieve elektrode gevormd zijn, bewegen door het membraan naar de andere elektrode. Uit onderzoek blijkt dat elk H+

ion gemiddeld 2,7 moleculen water meesleept van de ene kant van het membraan naar de andere kant. Om het watergehalte in het membraan

constant te houden moet dus aan de elektrodes water worden aangevoerd dan wel worden afgevoerd.

3p **9** Bereken voor beide elektrodes hoeveel gram water moet worden

aangevoerd of afgevoerd per gram waterstof die in de cel wordt verbruikt om de hoeveelheid water bij beide elektrodes constant te houden.

Geef je antwoord als volgt weer:

* bij de … elektrode moet … g water worden aangevoerd;
* bij de … elektrode moet … g water worden afgevoerd.

# C:\Users\w.renkema\AppData\Local\Microsoft\Windows\INetCache\IE\WP3RZRIR\4343155ffeddf790b2c6a7a31fd6ce2b.pngZelfherstellend rubber

Een groep onderzoekers heeft een elastisch materiaal ontwikkeld met

zelfherstellende eigenschappen. Als een elastiekje van dit materiaal wordt doorgesneden, hechten de twee delen bij samendrukken weer aan elkaar. Na afloop is het elastiekje weer net zo sterk en elastisch.

Het materiaal bestaat uit allerlei verschillende moleculen, die elk zijn opgebouwd uit een aantal dezelfde basiseenheden. In figuur 1 is de microstructuur van dit materiaal schematisch weergegeven.

## figuur 1

1 molecuul

De stippellijnen geven waterstofbruggen weer tussen de verschillende moleculen. Door de vele waterstofbruggen vormen de moleculen een stevige netwerkstructuur, waardoor het materiaal elastische

eigenschappen krijgt.

De vorming van het materiaal kan in drie stappen worden weergegeven. Stap 1: door een additiereactie van twee moleculen van een meervoudig onverzadigd vetzuur wordt een dizuur gevormd.



Het mechanisme van deze additiereactie is hiernaast vereenvoudigd weergegeven.

De structuurformule van het dizuur dat volgens deze additiereactie is gevormd, is hieronder weergegeven.

O

C (CH2)7

HO

(CH2)5 CH3

O

CH3

HC CH (CH2)5

(CH2)7 C

OH

3p **10** Geef de structuurformule van het vetzuur dat als grondstof voor het dizuur is gebruikt. Je hoeft bij de beantwoording geen rekening te houden met

eventuele stereo-isomerie.

Stap 2: men laat het dizuur reageren met diëthyleentriamine (DET) om aan het gevormde dizuur waterstofbrugvormende groepen aan te

brengen. De structuurformule van DET is hieronder weergegeven.

H

H2N

CH2 CH2 N

CH2 CH2 NH2

Afhankelijk van de gekozen molverhouding tussen het dizuur en DET worden verschillende producten gevormd.

3p **11** Geef de vergelijking van de reactie wanneer twee moleculen DET reageren met één molecuul van het dizuur.

Gebruik structuurformules en geef het dizuur schematisch weer zoals hiernaast.

O

HO C

O

C OH

Stap 3: om nog meer waterstofbrugvormende groepen aan te brengen laat men de in stap 2 gevormde producten reageren met ureum.

Atoomgroepen van de eenheden DET vormen atoombindingen met

ureum-moleculen, waarbij onder andere atoomgroepen worden gevormd zoals hieronder is weergegeven.

NH2

H O C H

N CH2 CH2 N CH2 CH2 N

In deze reactie wordt nog een andere stof gevormd.

1p **12** Geef de naam van de andere stof die wordt gevormd als ureum met een eenheid DET reageert. Gebruik Binas-tabel 67J.

Als een stukje van dit materiaal wordt doorgesneden, worden de

waterstofbruggen tussen de moleculen aan weerszijden van de snede verbroken. Door de beide zijden tegen elkaar te drukken, komen de

waterstofbrugvormende groepen weer met elkaar in contact en worden

weer waterstofbruggen gevormd. De mate waarin het materiaal eenvoudig hersteld kan worden, hangt onder andere sterk af van de temperatuur.

Bij 23 °C kan nog volledig herstel worden verkregen tot een week na de breuk, bij 40 °C tot 48 uur en bij 90 °C tot 15 minuten.

2p **13** Geef een verklaring op microniveau waarom de tijd waarin het rubber nog hersteld kan worden, afneemt bij hogere temperatuur.

De toepassing van dit materiaal is beperkt tot droge omstandigheden. Als het materiaal onder vochtige omstandigheden beschadigd raakt, is het

niet meer mogelijk een breuk te herstellen.

2p **14** Leg uit op microniveau waarom het zelfherstellend vermogen verdwijnt bij vochtige omstandigheden.

# C:\Users\w.renkema\AppData\Local\Microsoft\Windows\INetCache\IE\WP3RZRIR\64ad7b729c02f2359ae227533e480573.pngCarbon

Carbon is een composiet samengesteld uit een netwerkpolymeer en koolstofvezels. Het netwerkpolymeer in carbon is een epoxyhars. De epoxyhars wordt gevormd uit twee monomeren: een amine en een

zogeheten di-epoxide. O O

Moleculen van het di-epoxide bevatten aan beide uiteinden een epoxidegroep.

Wanneer het di-epoxide wordt gemengd met de

amine treedt de hieronder weergegeven reactie op.

H2C

CH R CH CH2

di-epoxide

Met R1 en R2 worden de overige delen van de moleculen aangeduid.

H O H OH

R1 N H

**+** H2C

CH R2 R1 N

CH2 CH R2

De amine treedt hierbij op als een nucleofiel deeltje.

Op de uitwerkbijlage bij deze opgave is de reactie onvolledig

weergegeven in twee stappen. In stap 2 verplaatst zich een H atoom.

3p **15** Maak de stappen op de uitwerkbijlage af door ontbrekende

elektronenparen en atomen aan te vullen. Gebruik Lewisstructuren. Geef met pijlen aan hoe elektronenparen zich verplaatsen.

Geef formele ladingen aan.

Een epoxidegroep is op te vatten als een cyclische ethergroep.

Van alle ethers blijken de stoffen met een epoxidegroep in de moleculen veel reactiever te zijn dan de lineaire ethers. De reden hiervoor is dat de bindingshoeken in de ring van een epoxidegroep afwijken van wat de

VSEPR-theorie voorspelt. Hierdoor is de activeringsenergie voor het

verbreken van de C–O binding in een epoxidegroep veel lager dan bij een lineaire ether.

2p **16** Leg uit dat de bindingshoeken in de ring van een epoxidegroep afwijken van wat de VSEPR-theorie voorspelt.

Men streeft ernaar dat in het materiaal geen reactieve groepen meer over zijn. Daarom moeten de ~NH groepen en de epoxidegroepen in een

molverhouding 1:1 gemengd worden.

Voor de gebruiker vermelden fabrikanten daarom twee waardes op de verpakking: de EEM en de AHEM. Deze waardes zijn als volgt

gedefinieerd:

* EEM: het aantal gram van het di-epoxide per mol epoxidegroepen;
* AHEM: het aantal gram van de amine per mol aan stikstof gebonden waterstofatomen.

Hieronder is de structuur van de veelgebruikte diëthyleentriamine (DET) weergegeven.

H H H N CH2 CH2 N CH2 CH2 N

H H

2p **17** Bereken de AHEM voor DET.

Geef je antwoord in twee significante cijfers.

Bij een bereiding van epoxyhars wordt een di-epoxide gebruikt met een EEM van 189 gram en een amine met een AHEM van 15 gram.

2p **18** Bereken hoeveel gram di-epoxide nodig is voor de bereiding van 100 gram van deze epoxyhars.

Omdat de amine-moleculen meerdere reactieve plaatsen hebben, vormen deze crosslinks tussen de moleculen van het di-epoxide.

De structuur van het meest gebruikte di-epoxide voor carbon is hieronder weergegeven. De waarde van *n* in dit monomeer kan liggen tussen 0 tot 25.

O

H2C CH

CH2 [O

CH3 C CH3

O CH2

OH

CH CH2 O

*n*

CH3 C CH3

O CH2

O

CH CH2

De waarde van *n* heeft onder meer invloed op de vervormbaarheid van de gevormde epoxyhars.

2p **19** Leg uit dat een grotere waarde van *n* zal leiden tot een grotere vervormbaarheid van de epoxyhars.

Om een voorwerp van carbon te produceren worden de twee monomeren samen met de koolstofvezels in een mal geperst.

Voor de sterkte van het gevormde carbon is van belang dat de

koolstofvezels goed hechten aan de epoxyhars. Op microniveau bestaan de vezels uit meerdere koolstoflaagjes van elk één atoom dik,

vergelijkbaar met grafiet (zie Binas-tabel 67E). Dankzij de platte vorm liggen de lagen dicht op elkaar.

Om de hechting met het netwerkpolymeer te verbeteren worden de koolstofvezels voorbehandeld met een oxidator. In figuur 1 is

weergegeven hoe een laagje er dan uit kan zien.

## figuur 1

HO O C

OH

OH

O

HO

O

O

O

O

C

HO

O

C

OH

2p **20** Leg uit op microniveau waarom deze voorbehandeling van de

koolstofvezels leidt tot een betere hechting tussen de koolstofvezels en de hierboven beschreven epoxyhars.

Door deze voorbehandeling blijkt de sterkte van de koolstofvezels zelf af te nemen. Men verklaart dit uit een afname van de onderlinge hechting

van de koolstoflaagjes.

2p **21** Geef een verklaring op microniveau waarom de onderlinge hechting van de koolstoflaagjes afneemt door de voorbehandeling.

# C:\Users\w.renkema\AppData\Local\Microsoft\Windows\INetCache\IE\WP3RZRIR\a916ed3da92ffb4514d4e88e5b56048d.pngDuurzame ammoniak

Ammoniak wordt in Europa vooral geproduceerd uit stikstof en methaan. Methaan treedt in het proces op als energiebron maar ook als bron van waterstofatomen. Om waterstof te produceren uit methaan wordt bij hoge temperatuur en druk methaan in reactie gebracht met water en zuurstof.

Hierbij wordt een gasmengsel van CO, H2O en H2 verkregen. Om een

groot deel van het aanwezige CO te verwijderen, wordt vervolgens in twee

reactoren de zogeheten gas-shift reactie uitgevoerd.

In figuur 1 is weergegeven hoe dit deel van het proces wordt uitgevoerd.

Zowel in R1 als in R2 is een katalysator aanwezig en heerst een hoge druk.

## figuur 1

H2 CO H2O

R1 430 oC

R2 240 oC

H

CO H2O CO2

2

In beide reactoren treedt onderstaand evenwicht op.

CO + H2O  CO2 + H2

In de gasstroom na R1 bedraagt het volumepercentage CO nog 2-4% en na R2 is er nog 1% CO.

2p **22** Leg uit of de reactie naar rechts van dit evenwicht exotherm of endotherm is.

1p **23** Geef aan welk doel de hogere temperatuur in R1 heeft.

De waterstof afkomstig uit R2 wordt in een aantal stappen afgescheiden van de rest van het gasmengsel. Allereerst wordt water afgescheiden.

Daarna wordt CO2 gescheiden van de overige gassen.

2p **24** Leg uit op welke wijze CO2 kan worden afgescheiden uit het gasmengsel dat is ontstaan na het verwijderen van water uit het gasmengsel afkomstig van R2.

De gezuiverde waterstof wordt in een volgende reactor in reactie gebracht met stikstof. Het totaalproces van de productie van ammoniak uit onder

andere methaan kan worden weergegeven met onderstaande reactievergelijking (reactie 1):

0,40 CH4 + 0,050 O2 + 0,70 H2O + 0,50 N2  0,40 CO2 + 1,0 NH3

Als in een proces deze molverhoudingen worden toegepast, is het proces ongeveer energieneutraal. Dat betekent dat vrijwel geen extra energie

nodig is of overtollige warmte ontstaat.

3p **25** Bereken het energie-effect van het totaalproces volgens reactie 1 per mol gevormde ammoniak.

Neem aan dat H2O in gasvorm aanwezig is. Rond bij deze berekening niet tussentijds af en geef je antwoord in twee significante cijfers.

In de praktijk blijkt dat de meest efficiënte ammoniakfabrieken 25% meer energie nodig hebben dan wat op basis van reactie 1 kan worden

berekend. In het proces wordt dan ook 25% meer methaan per mol ammoniak gebruikt. De extra hoeveelheid methaan levert dan de

benodigde energie.

3p **26** Geef de vergelijking van reactie 1 voor de praktijksituatie.

De waterstof die nodig is voor de productie van ammoniak kan ook worden verkregen uit andere processen. In tabel 1 is het relatieve

energieverbruik weergegeven voor de productie van waterstof uit een aantal grondstoffen.

In de reacties zijn de grondstoffen zware stookolie en nafta weergegeven met de gemiddelde verhouding tussen het aantal C atomen en het aantal H atomen in deze grondstoffen.

## tabel 1

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **grondstof (proces)** | **reactie** | **relatief energie- verbruik** |
| kolen | C + 2 H2O → 2 H2 + CO2 | 170% |
| zware stookolie | CH + 2 H2O → 2½ H2 + CO2 | 135% |
| nafta | CH2 + 2 H2O → 3 H2 + CO2 | 104% |
| aardgas | CH4 + 2 H2O → 4 H2 + CO2 | 100% |

Zware stookolie en nafta zijn producten afkomstig van de destillatie van aardolie. Als onvoldoende aardgas beschikbaar is, kan aan de hand van tabel 1 een afweging worden gemaakt tussen de grondstoffen zware

stookolie en nafta.

2p **27** Leg uit welke van de twee grondstoffen, zware stookolie of nafta, de

voorkeur verdient voor de productie van waterstof. Geef twee argumenten op basis van tabel 1.

Onderzocht is of het mogelijk is om gedroogd houtafval als duurzaam

alternatief voor methaan te gebruiken voor de productie van ammoniak. In het onderzoek leverde 2,7 kg houtafval voldoende waterstof voor de

productie van 1,0 kg ammoniak. De omzetting van alle koolstof uit het houtafval leidt uiteindelijk tot een CO2-uitstoot van

3,3 kg CO2 per kg ammoniak.

2p **28** Laat door berekening zien dat de omzetting van alle koolstof uit het houtafval leidt tot een CO2-uitstoot van 3,3 kg CO2 per kg ammoniak. Gebruik onder andere de volgende gegevens:

* het vochtgehalte van het houtafval bedroeg 35 massa%;
* gedroogd houtafval bevat 51 massa% koolstof.

In het onderzoek is met behulp van modellen berekend dat de

CO2-uitstoot bij de productie van ammoniak uit aardgas

1,9 kg CO2 per kg ammoniak bedraagt. De productie van ammoniak uit houtafval levert een CO2-uitstoot van 4,1 kg CO2 per kg ammoniak.

In de modellen is ook de CO2-uitstoot die optreedt buiten de

ammoniakfabriek opgenomen. Op basis van de gemodelleerde

CO2-uitstoot van beide processen kan worden berekend dat houtafval een lagere bijdrage levert aan het versterkte broeikaseffect dan aardgas.

2p **29** Voer de volgende opdrachten uit:

* Bereken hoeveel kg CO2 per kg ammoniak netto wordt bespaard door gebruik te maken van houtafval.
* Licht je berekening toe.

VW-1028-a-16-2-o 13 / 13

lees verder ►►►

einde 