

# TENTAMEN CTD voor 1<sup>e</sup> jaars MST/LST/TA

(4051CHTHEY, MST1211TA1, LB1541)

1 Juli 2013

9-12 uur

Docenten: L. de Smet, S. Huynink, B. Dam

Naam:.....

Studentnummer Leiden: .....

Studentnummer Delft: .....

## Opgave 1: Meerkeuze vragen

(20pt max, voor elke fout wordt 2pt in rekening gebracht)

Maak een lijst met antwoorden

### Vraag 2

De Van der Waalsvergelijking is gegeven door  $p = RT/(V_m - b) - a/V_m^2$  waarin de coëfficiënten a, b en  $V_m$  staan voor:

- A de attractie, repulsie en uitgesloten volume van de gasmoleculen.
- B de repulsie, attractie en molair volume van de gasmoleculen.
- C de attractie en uitgesloten volume van de gasmoleculen en het molair volume van het gas.
- D de attractie en het molair volume van de gasmoleculen en het uitgesloten volume van het gas.

### Vraag 3

De Wet van de Corresponderende Toestanden zegt dat:

- A. een systeem zich overal in de wereld op dezelfde manier gedraagt.
- B. alle vloeistof-dampsystemen zich hetzelfde gedragen.
- C. de fasendiagrammen van vloeistof-dampsystemen identiek zijn, mits zij worden geschaald met de kritische temperatuur, druk en molair volume.
- D. de fasendiagrammen van vloeistof-dampsystemen op elkaar afgebeeld kunnen worden als de kookpunten gelijk worden gelegd.

### Vraag 4

De activiteit van een component in een oplossing heeft:

- A. de dimensie mol/L.
- B. de dimensie mol/kg.
- C. dezelfde dimensie als de concentratie.
- D. geen dimensie.

### Vraag 5

De arbeid W die een proces, dat verloopt van toestand A naar toestand B, kan leveren is gegeven door het verschil  $\Delta G = G_B - G_A$  als:

- A.  $|W| \leq |\Delta G|$

- B.  $|W| = |\Delta G|$
- C.  $|W| \approx |\Delta G|$
- D.  $|W| \geq |\Delta G|$

### Vraag 6

De entropie van een gesloten en geïsoleerd systeem

- A streeft naar een minimum.
- B neemt toe.
- C neemt af.
- D streeft naar een maximum.

### Vraag 7

De formule voor de molaire Gibbs reactie-energie is  $\Delta_r G = \sum_j \nu_j \mu_j$  waarin:

- A.  $\nu_j$  het aantal mol en  $\mu_j$  de chemische potentiaal van component j.
- B.  $\nu_j$  de molfractie en  $\mu_j$  de standaard chemische potentiaal van component j.
- C.  $\nu_j$  de stoichiometrische coëfficiënt en  $\mu_j$  de standaard chemische potentiaal van component j.
- D.  $\nu_j$  de stoichiometrische coëfficiënt en  $\mu_j$  de chemische potentiaal van component j.

### Vraag 8

De hefboomregel toegepast in een tweefasengebied geeft:

- A. de stabiliteit van het evenwicht.
- B. de verhouding van de hoeveelheden materiaal in de co-existerende fasen.
- C. de verhouding van de samenstellingen van de co-existerende fasen.
- D. de druk die de ene fase uitoefent op de andere fase.

### Vraag 9

De uitdrukking  $dG = Vdp - SdT + \sum_j \mu_j dn_j$  houdt in dat voor het Gibbs-energieverschil tussen twee toestanden A en B van een vloeistof waarbij alleen de druk verschilt, geldt

- A.  $\Delta G = (V_B - V_A)p$
- B.  $\Delta G = \Delta V(p_B - p_A)$
- C.  $\Delta G = (V_B - V_A)\Delta p$
- D.  $\Delta G = V(p_B - p_A)$

### Vraag 10.

De fugaciteit van een gas wordt bij lage druk gelijk aan

- A. 1.
- B. 0.
- C. De partiële druk van het gas.
- D. De fugaciteitscoëfficiënt van het gas.

### Vraag 11

De wet van Raoult geeft voor een vloeistof-dampevenwicht

- A de dampspanning van een gas.
- B de partiële druk van een component in de dampfase in termen van zijn dampspanning.
- C de verhouding tussen de molfractie in de dampfase en in de vloeistoffase.
- D de partiële druk van een component in de dampfase in termen van zijn dampspanning en de molfractie in de vloeistoffase.

**Vraag 12:**

Van 't Hoff's wet voor de osmotische druk geldt voor

- A ideale gassen.
- B gassen bij de Boyle-temperatuur.
- C verdunde oplossingen.
- D ideale oplossingen.

**Vraag 13**

Een mengsel is regulier als:

- A. de mengentropie die is van een ideaal mengsel.
- B. de mengenthalpie die is van een ideaal mengsel.
- C. de Gibbs mengenergie die is van een ideaal mengsel.
- D. de mengtemperatuur die is van een ideaal mengsel.

**Vraag 14**

In een verdunde oplossing is in vergelijking tot het zuivere oplosmiddel:

- A. het vriespunt lager en het kookpunt lager.
- B. het vriespunt lager en het kookpunt hoger.
- C. het vriespunt hoger en het kookpunt lager.
- D. het vriespunt hoger en het kookpunt hoger.

**Vraag 15:**

In een mengsel van Cu en Ag dat uit de smelt is gevormd, zijn met de microscoop gebiedjes van Cu met een beetje Ag, en gebiedjes met Ag en een beetje Cu te onderscheiden. Hoeveel vrijheidsgraden heeft dit materiaal?

- A: nul, want het bestaat uit een fase en twee componenten
- B: twee, want het bestaat uit twee fases en 2 componenten
- C: Een, want het bestaat uit een fase en twee componenten
- B: Een, want het bestaat uit twee fases en een component

**Vraag 16:**

Warmte kan nooit volledig in arbeid worden omgezet omdat:

- A: Dan de entropie toeneemt
- B: Dan de entropie afneemt
- C: Dan de Gibbs energie toeneemt
- D: Dan de Gibbs energie afneemt

**Vraag 18:**

Warmte stroomt nooit spontaan van lage naar hoge temperatuur omdat:

- A: Dan de entropie toeneemt
- B: Dan de entropie afneemt
- C: Warmte geen toestandsfunctie is
- D: De Gibbs-energie daarmee wordt verhoogd

**Vraag 19:**

De uitspraak 'De entropieproductie binnen een levende cel kan negatief zijn'

- A is in strijd met de Eerste en Tweede Hoofdwet van de Thermodynamica.
- B kan waar zijn als de intern gegenereerde entropie negatief is en groter is dan de entropie-uitwisseling met de omgeving.
- C kan nooit waar zijn want het is in strijd met de energiebehoudswet.
- D kan waar zijn; in dat geval is de entropie-uitwisseling met de omgeving groter dan de intern gegenereerde entropie.

**Vraag 20:**

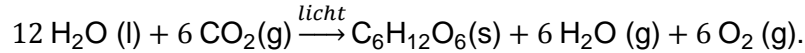
Voor een gesloten en geïsoleerd systeem is de inwendige energie

- A constant.
- B minimaal.
- C maximaal.
- D een toenemende functie.

# Opgave 2: Fotosynthese

NB. Puntentelling voor de onderdelen a,b,c: 4-8-8

Glucose is voor vele levensvormen een bouwsteen voor andere organische verbindingen. In planten wordt glucose gevormd d.m.v. fotosynthese: het omzetten van CO<sub>2</sub> naar glucose met behulp van zonlicht. De productie van glucose is beschreven door de volgende totaal-reactie:



Volgens de **literatuur** gebruiken planten ongeveer 0,2% van de totale energie die het zonlicht (1000 W/m<sup>2</sup>) kan leveren.

- In deze opgave beschouwen we alleen de totaal reactie. Deelreacties negeren we.
- Voor de reacties nemen we aan dat in de atmosfeer **alle** gassen in **overmaat** aanwezig zijn. **Dus ook de geproduceerde gassen zijn al in overmaat aanwezig!**
- De volgende thermodynamische waarden zijn gegeven:

	$\Delta_f G^\ominus$ (kJ/mol)	$\Delta_f H^\ominus$ (kJ/mol)	$S^\ominus$ (J/(K mol))	$c_p$ (J/(K mol))
H <sub>2</sub> O (g)	-228.6	-241.8	188.8	33.6
H <sub>2</sub> O (l)	-237.1	-285.8	69.9	75.3
CO <sub>2</sub> (g)	-394.4	-393.5	213.8	37.1
C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub> (s)	-910.5	-1274.4	212.1	210.0
O <sub>2</sub> (g)	-	-	205.2	29.4

Mol-massa C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub>: 180.16 g/mol

Dichtheid C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub> (s): 1.54 g/cm<sup>3</sup>

Mol-massa CO<sub>2</sub>: 44.01 g/mol

Mol-massa H<sub>2</sub>O: 18.02 g/mol

Dichtheid H<sub>2</sub>O(l): 0.997 g/ml

- a) We gaan er van uit dat de H<sub>2</sub>O (l) die nodig is om glucose te produceren afkomstig is van regenval (100% H<sub>2</sub>O). **Hoeveel ml regen moet er minimaal gevallen zijn om tussen zonsopkomst en ondergang de maximale hoeveelheid glucose te produceren?**

Doe dit aan de hand van de volgende condities:

- De plant wordt 8,0 uur lang beschenen door de zon.
- De plant neemt 3,0 microgram CO<sub>2</sub> per seconde op.
- CO<sub>2</sub> is in overmaat aanwezig.

- b) **Laat m.b.v. een berekening zien dat de energie die een plant uit het zonlicht haalt om de bovenstaande reactie spontaan te laten doen verlopen overeenkomt met de waarde gegeven in literatuur (die zegt dat 0.2% van de energie die zonlicht kan leveren wordt omgezet in glucose).**

Doe dit aan de hand van de volgende condities:

- Ga uit van standaard omstandigheden (T = T<sup>⊖</sup> en P = P<sup>⊖</sup>).
- Neem aan dat de plant een bladoppervlak van 1m<sup>2</sup> heeft.
- De plant neemt 3.0 μgram CO<sub>2</sub> per seconde op.
- Per 1m<sup>2</sup> aardoppervlak kan er per seconde maximaal 20 Joule energie uit het zonlicht geogost worden (20 W/m<sup>2</sup> met 1 W = 1 J/s).
- De atmosfeer bestaat voor 21% uit O<sub>2</sub> (g), 0.040% CO<sub>2</sub> (g) en 0.50% uit waterdamp.

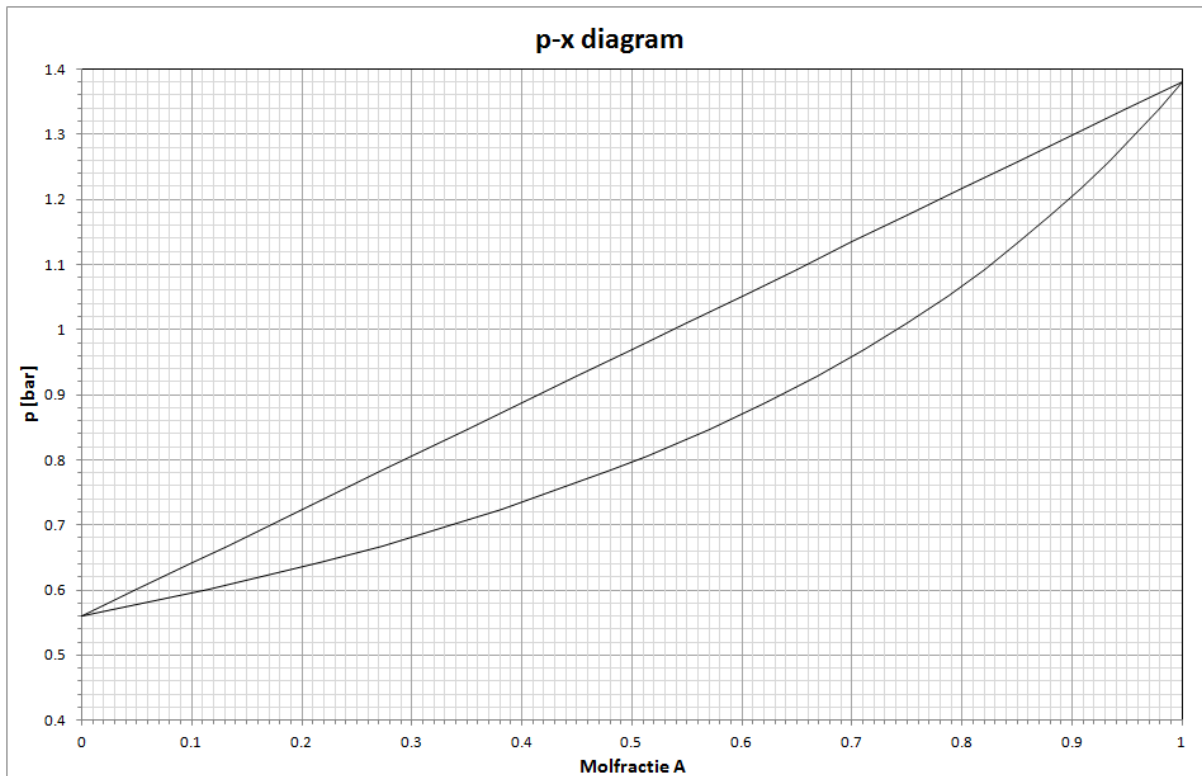
- c) De temperatuurconditie aangenomen in a) geldt niet voor alle plaatsen op Aarde. Planten zijn ook in staat om glucose te produceren bij +5.0°C.

Bepaal hoeveel meer/minder energie de plant uit het zonlicht moet absorberen om de reactie bij  $+5.0^{\circ}\text{C}$  te laten verlopen (in procenten ten opzichte van de situatie bij  $T^{\ominus}$ !).

NB. Alle in b gegeven condities (behalve de temperatuur conditie) gelden hier opnieuw.

## Opgave 3: fase-diagrammen

Puntenverdeling: a,b,c,d,e: 4-4-4-4-4



Gegeven het p-x diagram voor een mengsel van twee stoffen A en B bij een zekere temperatuur  $T_0$ . De dampspanningen van A en B zijn bij deze temperatuur respectievelijk 1,38 en 0,56 bar.

- Voldoet dit mengsel aan de wet van Raoult? Beargumenteer het antwoord.
- Bepaal de partiële druk van B boven een vloeistofmengsel van A en B waarvan de molfractie van A 0,75 bedraagt.
- Een gasmengsel van 3 mol A en 8 mol B met een aanvangsdruk van 0,4 bar wordt langzaam samengedrukt. De temperatuur wordt steeds op  $T_0$  gehouden. Wat is de samenstelling van de vloeistof op het moment dat condensatie begint?
- Dit mengsel wordt verder samengeperst tot een druk van 0,70 bar. Hoe groot is de molfractie van A in de ontstane vloeistoffase?
- Bepaal het aantal mol vloeistof bij deze druk.

## Vraag 4: Snelkookpan

Puntenverdeling: a,b,c,d: 5-5-5-5

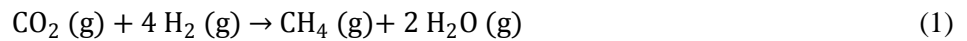
Bij alle onderdelen van deze vraag mag ideaal gedrag verondersteld worden. De gasconstante ( $R$ ) is gelijk aan  $8,314 \text{ J / (mol K)}$ . De molmassa van water is  $18,02 \text{ g/mol}$  en de dichtheid van water is  $0,997 \text{ kg/l}$ .

- a) Een lege snelkookpan (hogedrukpan) met een volume van 10 liter bevat lucht ( $p = 1 \text{ atm} = 101325 \text{ Pa}$  en  $T = 298 \text{ K}$ ). Het deksel van de pan bevat een overdrukventiel (oppervlak  $A = 0,100 \text{ cm}^2$ ) dat wordt dichtgehouden door een gewicht van 150 gram. **Bij welke temperatuur zal de druk in de pan groot genoeg zijn om het ventiel te openen?**
  
- b) Er wordt een siroop (suikerwater) bereid door in de snelkookpan 588,0 gram fructose (suiker,  $M_w 180,2 \text{ g/mol}$ ) toe te voegen aan 1000 g water. Er wordt nu een ander deksel op de pan geplaatst. Ditmaal een deksel met een ventiel waaruit stoom ontsnapt als de druk hoger is dan 3,40 atm. **Gebruik onderstaande grafiek, waarin de dampdruk van zuiver water is weergegeven als functie van de temperatuur, om een afschatting te maken van het kookpunt van de verkregen siroop in de snelkookpan.**
  
- c) **Wat is de osmotische druk van het suikerwater uit vraag b), bij een temperatuur van 298 K?**
  
- d) **Bepaal aan de hand van de grafiek bij vraag b de verdampingsenthalpie van water en vergelijk deze met de literatuurwaarde (40,7 kJ/mol).**

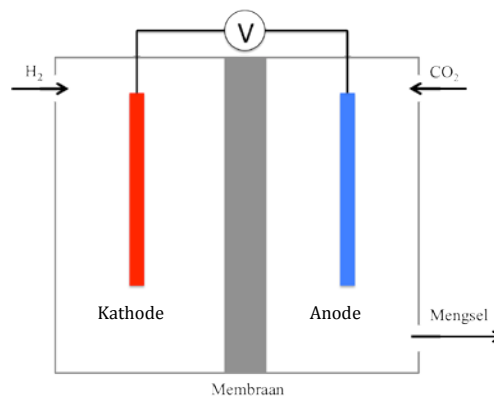
# Vraag 5: Brandstofcel

Puntenverdeling: a,b:10,10

	$\Delta_f G^\ominus$ (kJ/mol)	$\Delta_f H^\ominus$ (kJ/mol)	$S^\ominus$ (J/(K mol))	$c_p$ (J/(K mol))
CO <sub>2</sub>	-394.4	-393.5	213.8	37.1
H <sub>2</sub>	-	0.00	130.7	28.8
CH <sub>4</sub>	-50.8	-74.9	186.2	35.1
H <sub>2</sub> O (g)	-228.6	-241.8	188.8	33.6



Voor de omzetting van CO<sub>2</sub> naar CH<sub>4</sub>, gebruiken we een brandstofcel waar H<sub>2</sub> en CO<sub>2</sub> separaat worden toegevoegd. Bij de kathode wordt met waterstofgas H<sup>+</sup>-ionen geproduceerd, die bij de anode gebruikt worden om CO<sub>2</sub> om te zetten naar CH<sub>4</sub>. Schematisch ziet de brandstofcel er als volgt uit:



Figuur 1: schematisch overzicht van de methaan brandstofcel.

De brandstofcel wordt bedreven bij 225°C en standaarddruk.

- Wat zijn de halfreacties aan de anode en kathode. Wat is de totale reactievergelijking. Wat is de stoichiometrische coëfficiënt van de elektronen bij de vorming van 1 mol CH<sub>4</sub> in de bovenstaande brandstofcel?
- Wat is de efficiëntie  $\eta$  van de brandstofcel bij 225°C en standaarddruk? Verwaarloos de Gibbs energie van menging.





# TENTAMEN CTD voor 1<sup>e</sup> jaars MST/LST/TA

(4051CHTHEY, MST1211TA1, LB1541)

1 Juli 2013

9-12 uur

Docenten: L. de Smet, S. Huynink, B. Dam

Naam:.....

Studentnummer Leiden: .....

Studentnummer Delft: .....

## Opgave 1: Meerkeuze vragen

(20pt max, voor elke fout wordt 2pt in rekening gebracht)

Maak een lijst met antwoorden

### Vraag 2

De Van der Waalsvergelijking is gegeven door  $p = RT/(V_m - b) - a/V_m^2$  waarin de coëfficiënten a, b en  $V_m$  staan voor:

- A de attractie, repulsie en uitgesloten volume van de gasmoleculen.
- B de repulsie, attractie en molair volume van de gasmoleculen.
- C de attractie en uitgesloten volume van de gasmoleculen en het molair volume van het gas.
- D de attractie en het molair volume van de gasmoleculen en het uitgesloten volume van het gas.

### Vraag 3

De Wet van de Corresponderende Toestanden zegt dat:

- A. een systeem zich overal in de wereld op dezelfde manier gedraagt.
- B. alle vloeistof-dampsystemen zich hetzelfde gedragen.
- C. de fasendiagrammen van vloeistof-dampsystemen identiek zijn, mits zij worden geschaald met de kritische temperatuur, druk en molair volume.
- D. de fasendiagrammen van vloeistof-dampsystemen op elkaar afgebeeld kunnen worden als de kookpunten gelijk worden gelegd.

### Vraag 4

De activiteit van een component in een oplossing heeft:

- A. de dimensie mol/L.
- B. de dimensie mol/kg.
- C. dezelfde dimensie als de concentratie.
- D. geen dimensie.

### Vraag 5

De arbeid W die een proces, dat verloopt van toestand A naar toestand B, kan leveren is gegeven door het verschil  $\Delta G = G_B - G_A$  als:

- A.  $|W| \leq |\Delta G|$

- B.  $|W| = |\Delta G|$
- C.  $|W| \approx |\Delta G|$
- D.  $|W| \geq |\Delta G|$

### Vraag 6

De entropie van een gesloten en geïsoleerd systeem

- A streeft naar een minimum.
- B neemt toe.
- C neemt af.
- D streeft naar een maximum.

### Vraag 7

De formule voor de molaire Gibbs reactie-energie is  $\Delta_r G = \sum_j \nu_j \mu_j$  waarin:

- A.  $\nu_j$  het aantal mol en  $\mu_j$  de chemische potentiaal van component j.
- B.  $\nu_j$  de molfractie en  $\mu_j$  de standaard chemische potentiaal van component j.
- C.  $\nu_j$  de stoichiometrische coëfficiënt en  $\mu_j$  de standaard chemische potentiaal van component j.
- D.  $\nu_j$  de stoichiometrische coëfficiënt en  $\mu_j$  de chemische potentiaal van component j.

### Vraag 8

De hefboomregel toegepast in een tweefasengebied geeft:

- A. de stabiliteit van het evenwicht.
- B. de verhouding van de hoeveelheden materiaal in de co-existerende fasen.
- C. de verhouding van de samenstellingen van de co-existerende fasen.
- D. de druk die de ene fase uitoefent op de andere fase.

### Vraag 9

De uitdrukking  $dG = Vdp - SdT + \sum_j \mu_j dn_j$  houdt in dat voor het Gibbs-energieverschil tussen twee toestanden A en B van een vloeistof waarbij alleen de druk verschilt, geldt

- A.  $\Delta G = (V_B - V_A)p$
- B.  $\Delta G = \Delta V(p_B - p_A)$
- C.  $\Delta G = (V_B - V_A)\Delta p$
- D.  $\Delta G = V(p_B - p_A)$

### Vraag 10.

De fugaciteit van een gas wordt bij lage druk gelijk aan

- A. 1.
- B. 0.
- C. De partiële druk van het gas.
- D. De fugaciteitscoëfficiënt van het gas.

### Vraag 11

De wet van Raoult geeft voor een vloeistof-dampevenwicht

- A de dampspanning van een gas.
- B de partiële druk van een component in de dampfase in termen van zijn dampspanning.
- C de verhouding tussen de molfractie in de dampfase en in de vloeistoffase.
- D de partiële druk van een component in de dampfase in termen van zijn dampspanning en de molfractie in de vloeistoffase.

**Vraag 12:**

Van 't Hoff's wet voor de osmotische druk geldt voor

- A ideale gassen.
- B gassen bij de Boyle-temperatuur.
- C **verdunde oplossingen.**
- D ideale oplossingen.

**Vraag 13**

Een mengsel is regulier als:

- A. **de mengentropie die is van een ideaal mengsel.**
- B. de mengenthalpie die is van een ideaal mengsel.
- C. de Gibbs mengenergie die is van een ideaal mengsel.
- D. de mengtemperatuur die is van een ideaal mengsel.

**Vraag 14**

In een verdunde oplossing is in vergelijking tot het zuivere oplosmiddel:

- A. het vriespunt lager en het kookpunt lager.
- B. **het vriespunt lager en het kookpunt hoger.**
- C. het vriespunt hoger en het kookpunt lager.
- D. het vriespunt hoger en het kookpunt hoger.

**Vraag 15:**

In een mengsel van Cu en Ag dat uit de smelt is gevormd, zijn met de microscoop gebiedjes van Cu met een beetje Ag, en gebiedjes met Ag en een beetje Cu te onderscheiden. Hoeveel vrijheidsgraden heeft dit materiaal?

- A: nul, want het bestaat uit een fase en twee componenten
- B: **twee, want het bestaat uit twee fases en 2 componenten**
- C: Een, want het bestaat uit een fase en twee componenten
- B: Een, want het bestaat uit twee fases en een component

**Vraag 16:**

Warmte kan nooit volledig in arbeid worden omgezet omdat:

- A: Dan de entropie toeneemt
- B: **Dan de entropie afneemt**
- C: Dan de Gibbs energie toeneemt
- D: Dan de Gibbs energie afneemt

**Vraag 18:**

Warmte stroomt nooit spontaan van lage naar hoge temperatuur omdat:

- A: Dan de entropie toeneemt
- B: **Dan de entropie afneemt**
- C: Warmte geen toestandsfunctie is
- D: De Gibbs-energie daarmee wordt verhoogd

**Vraag 19:**

De uitspraak 'De entropieproductie binnen een levende cel kan negatief zijn'

- A is in strijd met de Eerste en Tweede Hoofdwet van de Thermodynamica.
- B kan waar zijn als de intern gegenereerde entropie negatief is en groter is dan de entropie-uitwisseling met de omgeving.
- C kan nooit waar zijn want het is in strijd met de energiebehoudswet.
- D **kan waar zijn; in dat geval is de entropie-uitwisseling met de omgeving groter dan de intern gegenereerde entropie.**

**Vraag 20:**

Voor een gesloten en geïsoleerd systeem is de inwendige energie

A constant.

B minimaal.

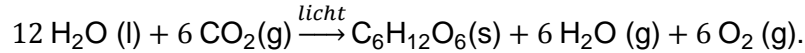
C maximaal.

D een toenemende functie.

# Opgave 2: Fotosynthese

NB. Puntentelling voor de onderdelen a,b,c: 4-8-8

Glucose is voor vele levensvormen een bouwsteen voor andere organische verbindingen. In planten wordt glucose gevormd d.m.v. fotosynthese: het omzetten van CO<sub>2</sub> naar glucose met behulp van zonlicht. De productie van glucose is beschreven door de volgende totaal-reactie:



Volgens de **literatuur** gebruiken planten ongeveer 0,2% van de totale energie die het zonlicht (1000 W/m<sup>2</sup>) kan leveren.

- In deze opgave beschouwen we alleen de totaal reactie. Deelreacties negeren we.
- Voor de reacties nemen we aan dat in de atmosfeer **alle** gassen in **overmaat** aanwezig zijn. **Dus ook de geproduceerde gassen zijn al in overmaat aanwezig!**
- De volgende thermodynamische waarden zijn gegeven:

	$\Delta_f G^\ominus$ (kJ/mol)	$\Delta_f H^\ominus$ (kJ/mol)	$S^\ominus$ (J/(K mol))	$c_p$ (J/(K mol))
H <sub>2</sub> O (g)	-228.6	-241.8	188.8	33.6
H <sub>2</sub> O (l)	-237.1	-285.8	69.9	75.3
CO <sub>2</sub> (g)	-394.4	-393.5	213.8	37.1
C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub> (s)	-910.5	-1274.4	212.1	210.0
O <sub>2</sub> (g)	-	-	205.2	29.4

Mol-massa C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub>: 180.16 g/mol

Dichtheid C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub> (s): 1.54 g/cm<sup>3</sup>

Mol-massa CO<sub>2</sub>: 44.01 g/mol

Mol-massa H<sub>2</sub>O: 18.02 g/mol

Dichtheid H<sub>2</sub>O(l): 0.997 g/ml

- a) We gaan er van uit dat de H<sub>2</sub>O (l) die nodig is om glucose te produceren afkomstig is van regenval (100% H<sub>2</sub>O). **Hoeveel ml regen moet er minimaal gevallen zijn om tussen zonsopkomst en ondergang de maximale hoeveelheid glucose te produceren?**

Doe dit aan de hand van de volgende condities:

- De plant wordt 8,0 uur lang beschenen door de zon.
- De plant neemt 3,0 microgram CO<sub>2</sub> per seconde op.
- CO<sub>2</sub> is in overmaat aanwezig.

### - Methode

Eerst bepalen we hoeveel mol CO<sub>2</sub> de plant op kan nemen tussen zonsopkomst en ondergang: ( $r_{\text{CO}_2} = \text{rate CO}_2 = 3.0 \times 10^{-6} \text{ gram/s}$ ,  $M_{\text{CO}_2} = \text{mol. massa CO}_2$ )

$$n_{\text{CO}_2} = \frac{r_{\text{CO}_2}}{M_{\text{CO}_2}} \times t$$

Uit de totaal reactie weten we dat om 1 mol glucose te produceren 6 mol CO<sub>2</sub> nodig is en 12 mol H<sub>2</sub>O. Dus een verhouding 1:2:

$$n_{\text{H}_2\text{O}} = 2 n_{\text{CO}_2}$$

Het volume water halen we uit  $n_{\text{H}_2\text{O}}$  d.m.v. de dichtheid en de mol. massa:

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{m_{\text{H}_2\text{O}}}{\rho_{\text{H}_2\text{O}}} = \frac{n_{\text{H}_2\text{O}} \times M_{\text{H}_2\text{O}}}{\rho_{\text{H}_2\text{O}}}$$

Alles combineren geeft:

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{n_{\text{H}_2\text{O}} \times M_{\text{H}_2\text{O}}}{\rho_{\text{H}_2\text{O}}} = 2 \frac{n_{\text{CO}_2} \times M_{\text{H}_2\text{O}}}{\rho_{\text{H}_2\text{O}}} = 2 \frac{r_{\text{CO}_2} \times M_{\text{H}_2\text{O}}}{M_{\text{CO}_2} \times \rho_{\text{H}_2\text{O}}} t$$

- *Uitwerking*

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = 2 \frac{3.0 \times 10^{-6} \times 18.02}{44.01 \times 0.997} (8 \text{ hrs} \times 3600 \text{ sec}) = 7.1 \times 10^{-2} \text{ ml}$$

- *Beschouwing*

De plant heeft dus 0.071 ml nodig. Dus er moet dus minimaal 0.071 ml regen gevallen zijn. Dit lijkt weinig, maar voor deze hoeveelheid mag er dus geen water verloren gaan en moet al het water naar de vorming van glucose gaan. In werkelijkheid is deze situatie onrealistisch. Omdat de rate en de tijdsduur in 2 significante cijfers nauwkeurig gegeven is, moet het antwoord ook in 2 significante cijfers nauwkeurig gegeven worden.

- *Verwachting*

Verwacht weinig problemen. Gegevens staan al in juiste eenheden.

- b) **Laat m.b.v. een berekening zien dat de energie die een plant uit het zonlicht haalt om de bovenstaande reactie spontaan te laten doen verlopen overeenkomt met de waarde gegeven in literatuur (die zegt dat 0.2% van de energie die zonlicht kan leveren wordt omgezet in glucose).**

Doe dit aan de hand van de volgende condities:

- Ga uit van standaard omstandigheden ( $T = T^\ominus$  en  $P = P^\ominus$ ).
- Neem aan dat de plant een bladoppervlak van  $1 \text{ m}^2$  heeft.
- De plant neemt  $3.0 \text{ } \mu\text{gram CO}_2$  per seconde op.
- Per  $1 \text{ m}^2$  aardoppervlak kan er per seconde maximaal 20 Joule energie uit het zonlicht geogost worden ( $20 \text{ W/m}^2$  met  $1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$ ).
- De atmosfeer bestaat voor 21% uit  $\text{O}_2$  (g), 0.040%  $\text{CO}_2$  (g) en 0.50% uit waterdamp.

- *Methode*

Om de reactie spontaan te laten verlopen moet voldoen worden aan de conditie  $\Delta_r G < 0$ . Dus moet eerst  $\Delta_r G$  (in J/mol) van de plant-reactie bepaald worden. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de volgende formule (de menging van de gassen moet worden meegenomen!), waarbij is meegenomen dat  $T = T^\ominus$  en  $P = P^\ominus$ :

$$\Delta_r G = v \cdot \{ \Delta_f G^\ominus + R T^\ominus \ln x \} = \begin{pmatrix} v_{\text{H}_2\text{O(l)}} \\ v_{\text{CO}_2(\text{g})} \\ v_{\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6(\text{s})} \\ v_{\text{H}_2\text{O(g)}} \\ v_{\text{O}_2(\text{g})} \end{pmatrix} \cdot \left\{ \begin{pmatrix} \Delta_f G_{\text{H}_2\text{O(l)}}^\ominus \\ \Delta_f G_{\text{CO}_2(\text{g})}^\ominus \\ \Delta_f G_{\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6(\text{s})}^\ominus \\ \Delta_f G_{\text{H}_2\text{O(g)}}^\ominus \\ \Delta_f G_{\text{O}_2(\text{g})}^\ominus \end{pmatrix} + R T^\ominus \ln \begin{pmatrix} x_{\text{H}_2\text{O(l)}} \\ x_{\text{CO}_2(\text{g})} \\ x_{\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6(\text{s})} \\ x_{\text{H}_2\text{O(g)}} \\ x_{\text{O}_2(\text{g})} \end{pmatrix} \right\}$$

Dit is de energie die uit het zonlicht gehaald moet worden om 1 mol glucose aan te maken. We moeten nu bepalen hoeveel mol glucose er uit  $3.0 \text{ } \mu\text{gram CO}_2$  gevormd kan worden. Hierbij wordt gebruikt dat de verhouding glucose  $\text{CO}_2$  1:6 is:

$$n_{\text{glucose}} = \frac{1}{6} n_{\text{CO}_2} = \frac{1}{6} \frac{m_{\text{CO}_2}}{M_{\text{CO}_2}}$$

Dit getal moet vermenigvuldigd worden met de berekende energie (in J/mol), om te bepalen hoeveel energie per seconde nodig is om  $3.0 \text{ } \mu\text{gram CO}_2$  om te zetten:

$$\mathcal{E} = n_{\text{glucose}} \Delta_r G$$

Deze energie per seconde moet vergeleken worden met de  $20 \text{ J/s}$  die het zonlicht kan leveren.

- *Uitwerking*

$$\Delta_r G = \begin{pmatrix} -12 \\ -6 \\ +1 \\ +6 \\ +6 \end{pmatrix} \cdot \left\{ \begin{pmatrix} -237.1 \\ -394.4 \\ -910.5 \\ -228.6 \\ - \end{pmatrix} \times 10^3 + 8.314 \times 298.15 \times \ln \begin{pmatrix} - \\ 4.0 \times 10^{-4} \\ - \\ 5.0 \times 10^{-3} \\ 0.21 \end{pmatrix} \right\} \text{ J/mol}$$

$$= 2929.5 \times 10^3 + 14.35 \times 10^3 \text{ J/mol} = 2.944 \text{ MJ/mol}$$

$$n_{\text{glucose}} = \frac{1}{6} \times 3.0 \times 10^{-6} / 44.01 = 1.136 \times 10^{-8} \text{ mol/s}$$

$$\mathcal{E} = n_{\text{glucose}} \Delta_r G = (1.136 \times 10^{-8}) \times 2.944 \times 10^6 = 3.34 \times 10^{-2} \text{ J/s of } 33.4 \text{ mJ/s}$$

Het percentage t.o.v. de energie die het zonlicht kan leveren:

$$\frac{\mathcal{E}}{P_{\text{zon}}} \times 100\% = \frac{3.34 \times 10^{-2}}{20} \times 100\% = 1.7 \times 10^{-1} \%$$

- *Beschouwing*

Dus om de reactie voor de vorming van 1 mol glucose te laten doen verlopen, is dus minimale energie van 2.944 MJ nodig. Dit lijkt in eerste instantie veel, maar een plant kan maar  $1.13 \times 10^{-8}$  mol glucose per seconde aanmaken. Dit betekent dat de plant maar 33 mJ/s energie uit het zonlicht hoeft te halen, wat overeenkomt met 0.17%. Dit komt overeen met de literatuurwaarde van 0.2%. Er moet een significantie van 2 cijfers gebruikt worden omdat de opname van CO<sub>2</sub> door de plant in 2 sign. cijfers nauwkeurig is gegeven.

- *Verwachting*

Mogelijk problemen met de mengterm. Wordt waarschijnlijk vergeten.

- c) De temperatuurconditie aangenomen in a) geldt niet voor alle plaatsen op Aarde. Planten zijn ook in staat om glucose te produceren bij +5.0°C.

Bepaal hoeveel meer/minder energie de plant uit het zonlicht moet absorberen om de reactie bij +5.0°C te laten verlopen (in procenten ten opzichte van de situatie bij T<sup>⊖</sup>!).

NB. Alle in b gegeven condities (behalve de temperatuur conditie) gelden hier opnieuw.

- *Methode*

De Gibbs-reactie energie bij T<sup>⊖</sup> is al bepaald in onderdeel b ( $\Delta_r G = 2.913 \text{ MJ/mol}$ ). Dus nu hoeft alleen bepaald worden wat de gibbs-reactie energie bij T=5.0°C is. Dit moet vergeleken worden met  $\Delta_r G = 2.913 \text{ MJ/mol}$ . Voor T ≠ T<sup>⊖</sup> geldt:

$$\Delta_r G = \nu \cdot \{ \Delta_f G^\ominus - (T - T^\ominus) S^\ominus + R T \ln x \}$$

$$= \begin{pmatrix} \nu_{\text{H}_2\text{O(l)}} \\ \nu_{\text{CO}_2(\text{g})} \\ \nu_{\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6(\text{s})} \\ \nu_{\text{H}_2\text{O}(\text{g})} \\ \nu_{\text{O}_2(\text{g})} \end{pmatrix} \cdot \left\{ \begin{pmatrix} \Delta_f G_{\text{H}_2\text{O(l)}}^\ominus \\ \Delta_f G_{\text{CO}_2(\text{g})}^\ominus \\ \Delta_f G_{\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6(\text{s})}^\ominus \\ \Delta_f G_{\text{H}_2\text{O}(\text{g})}^\ominus \\ \Delta_f G_{\text{O}_2(\text{g})}^\ominus \end{pmatrix} - (T - T^\ominus) \begin{pmatrix} S_{\text{H}_2\text{O(l)}}^\ominus \\ S_{\text{CO}_2(\text{g})}^\ominus \\ S_{\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6(\text{s})}^\ominus \\ S_{\text{H}_2\text{O}(\text{g})}^\ominus \\ S_{\text{O}_2(\text{g})}^\ominus \end{pmatrix} + R T \ln \begin{pmatrix} - \\ x_{\text{CO}_2(\text{g})} \\ - \\ x_{\text{H}_2\text{O}(\text{g})} \\ x_{\text{O}_2(\text{g})} \end{pmatrix} \right\}$$

De toename/afname (in procenten) t.o.v. T<sup>⊖</sup>:

$$\delta = \frac{\Delta_r G - 2.944 \text{ MJ/mol}}{2.944 \text{ MJ/mol}} \times 100\%$$



- *Uitwerking*

$$\Delta_r G = \begin{pmatrix} -12 \\ -6 \\ +1 \\ +6 \\ +6 \end{pmatrix} \cdot \left\{ \begin{pmatrix} -237.1 \\ -394.4 \\ -910.5 \\ -228.6 \\ - \end{pmatrix} \times 10^3 - (-20) \begin{pmatrix} 69.9 \\ 213.8 \\ 212.1 \\ 188.8 \\ 205.2 \end{pmatrix} + 8.314 \times 278.15 \right. \\ \left. \times \ln \begin{pmatrix} 4.0 \times 10^{-4} \\ - \\ 5.0 \times 10^{-3} \\ 0.21 \end{pmatrix} \right\} \text{ J/mol} = 2930 \times 10^3 + 9.09 \times 10^3 + 13.39 \times 10^3 \text{ J/mol} \\ = 2.952 \times 10^6 \text{ J/mol} = 2.952 \text{ MJ/mol}$$

De toename/afname (in procenten) t.o.v.  $T^\ominus$  is dus:

$$\delta = \frac{2.952 - 2.944}{2.944} \times 100\% = +(2.7 \text{ of } 2.8) \times 10^{-1}\% \text{ (afhankelijk van wel/niet afronden)}$$

- *Beschouwing*

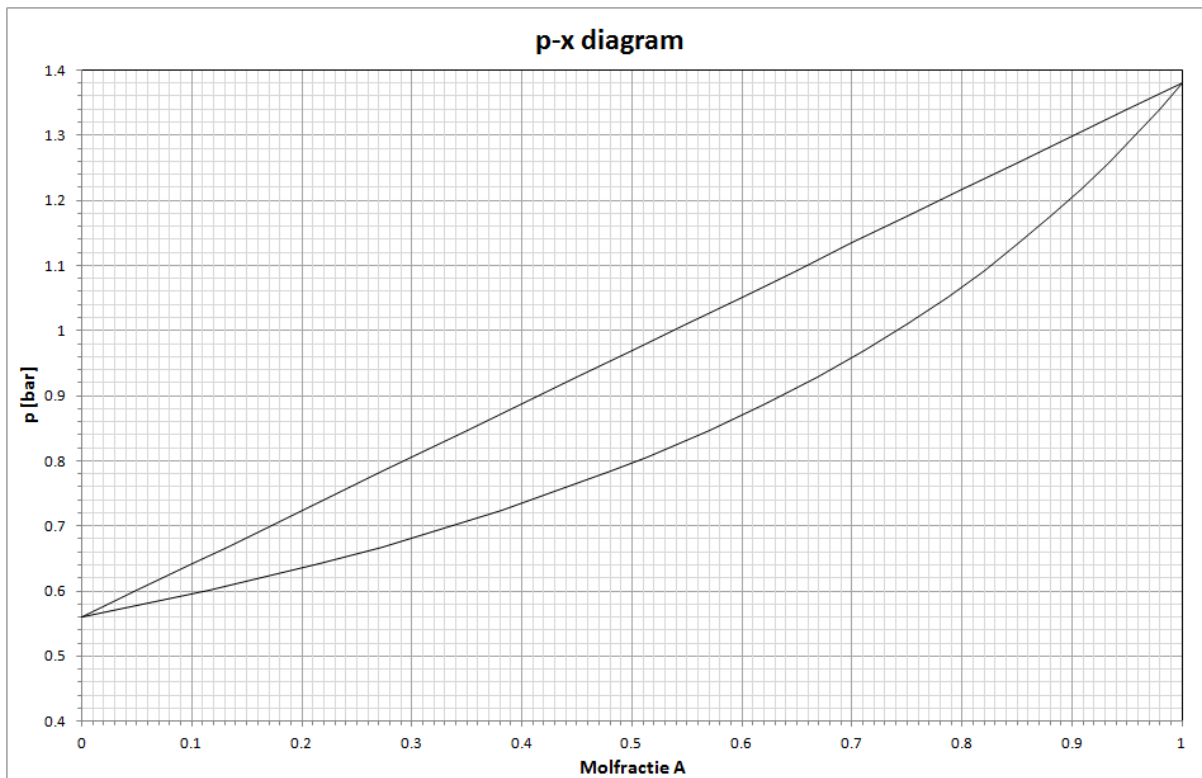
Bij een afname van 20°C zal de plant ~0.28% meer energie uit het zonlicht moeten absorberen. A.h.v. de gegeven temperatuur moet het antwoord in 2 sign. cijfers worden uitgedrukt.

- *Verwachting*

Mogelijk dat studenten de mengterm vergeten, en dat studenten de Gibbs reactie-energie opnieuw voor  $T^\ominus$  gaan berekenen terwijl deze al in b berekend is. Zeer waarschijnlijk zullen studenten de uitgebreide variant doen: vergelijking doen a.h.v. de hoeveelheid energie die per seconde geabsorbeerd wordt alleen nu bij een andere temperatuur (deels gelijk aan onderdeel b, a.h.v. 3.0  $\mu\text{g CO}_2$  per seconde).

# Opgave 3: fase-diagrammen

Puntenverdeling: a,b,c,d,e: 4-4-4-4-4



Gegeven het p-x diagram voor een mengsel van twee stoffen A en B bij een zekere temperatuur  $T_0$ . De dampspanningen van A en B zijn bij deze temperatuur respectievelijk 1,38 en 0,56 bar.

a) Voldoet dit mengsel aan de wet van Raoult? Beargumenteer het antwoord.

De kooklijn is een rechte. De totale druk is lineair afhankelijk van de fractie A en B, dus geldt hier Raoult.

b) Bepaal de partiële druk van B boven een vloeistofmengsel van A en B waarvan de molfractie van A 0,75 bedraagt.

**Methode:**

Wet van Raoult. Partiële druk component B is dampdruk B maal molfractie B in vloeistoffase.

**Uitwerking:**

Fractie A=0,75, fractie B=0,25.  $p_B=(1-x_A) \cdot p_B^*=0,25 \cdot 0,56=0,14$  bar.

**Beschouwing:**

Fractie ligt tussen 0 en 1. Twee significante cijfers op basis van gegevens.

c) Een gasmengsel van 3 mol A en 8 mol B met een aanvangsdruk van 0,4 bar wordt langzaam samengedrukt. De temperatuur wordt steeds op  $T_0$  gehouden. Wat is de samenstelling van de vloeistof op het moment dat condensatie begint?

**Methode:**

Condensatie begint bij snijpunt damplijn. Samenstelling vloeistof te vinden bij het snijpunt met de kooklijn bij die druk.

**Uitwerking:**

Molfractie  $A=3/11=0,273$ , condensatie begint bij  $p=0,67$  bar. Snijpunt met kooklijn bij ongeveer  $x=0,13$ . Samenstelling 0,13 A, 0,87 B.

**Beschouwing:**

Fracties tussen 0 en 1. Component A heeft hogere dampdruk, is vluchtiger. Je verwacht dat de fractie van die component in de vloeistof lager is dan in de gasfase. Twee significante cijfers op basis van gegevens.

**d) Dit mengsel wordt verder samengeperst tot een druk van 0,70 bar. Hoe groot is de molfractie van A in de ontstane vloeistoffase?**

Als de vorige vraag. Snijpunt met kooklijn nu bij molfractie A van ongeveer  $x=0,17$ .

**e) Bepaal het aantal mol vloeistof bij deze druk.**

**Methode:**

Hefboomregel.

**Uitwerking:**

Op papier: Bij  $p=0,70$  bar van  $x=0,273$  naar kooklijn is 25 mm, naar damplijn is 15 mm. Molfractie vloeistof is dan  $14/(25+14)=0,375$ .

Totaal 11 mol, dus aantal mol vloeistof bedraagt 4,1 mol.

**Beschouwing:** Bij deze druk zit je nog tamelijk ver onder de kooklijn, waar alles in vloeistof is omgezet. 4,1 mol van de 11 mol in totaal lijkt een aannemelijke waarde. Twee significante cijfers op basis van de gegevens en de afleesnauwkeurigheid.

## Vraag 4: Snelkookpan

Puntenverdeling: a,b,c,d: 5-5-5-5

Bij alle onderdelen van deze vraag mag ideaal gedrag verondersteld worden. De gasconstante ( $R$ ) is gelijk aan  $8,314 \text{ J / (mol K)}$ . De molmassa van water is  $18,02 \text{ g/mol}$  en de dichtheid van water is  $0,997 \text{ kg/l}$ .

- a) Een lege snelkookpan (hogedrukpan) met een volume van 10 liter bevat lucht ( $p = 1 \text{ atm} = 101325 \text{ Pa}$  en  $T = 298 \text{ K}$ ). Het deksel van de pan bevat een overdrukventiel (oppervlak  $A = 0,100 \text{ cm}^2$ ) dat wordt dichtgehouden door een gewicht van 150 gram. **Bij welke temperatuur zal de druk in de pan groot genoeg zijn om het ventiel te openen?**

- *Methode:* Situatie 1 (standaardcondities):  $p_1 = 101325 \text{ Pa}$  en  $T_1 = 298 \text{ K}$ ; Situatie 2 (na opwarmen):  $p_2$  en  $T_2$ :

$$p_2 = \frac{F}{A} = \frac{mg}{A}$$

$$\text{Ideale gaswet: } \frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$$

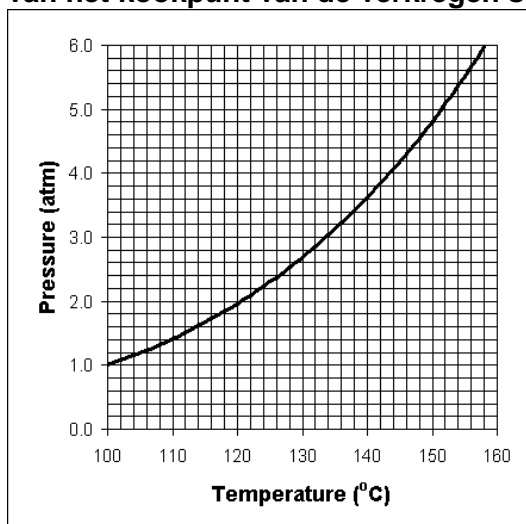
$$\text{Combinatie van bovenstaande formules: } T_2 = \frac{T_1 p_2}{p_1} = \frac{T_1 mg}{p_1 A}$$

- *Uitwerking:*

$$T_2 = \frac{298 \times 0,150 \times 9,81}{101325 \times 0,100 \times 10^{-4}} = 432,77 \text{ K} = 433 \text{ K}$$

- *Beschouwing:* 3 significante cijfers op basis van de gegevens. Ordegrootte: dit is lastig inschatten, maar lijkt reëel (te weten, tussen 298 K en 1000K). Het is in elk geval helder dat de temperatuur dient toe te nemen. Het gewicht van 150 gram leidt tot  $p_2 = (mg/A)$  en via de ideale gaswet kan men inzien dat  $p_1 : p_2 = T_1 : T_2$ .

- b) Er wordt een siroop (suikerwater) bereid door in de snelkookpan 588,0 gram fructose (suiker,  $M_w$  180,2 g/mol) toe te voegen aan 1000 g water. Er wordt nu een ander deksel op de pan geplaatst. Ditmaal een deksel met een ventiel waaruit stoom ontsnapt als de druk hoger is dan 3,40 atm. **Gebruik onderstaande grafiek, waarin de dampdruk van zuiver water is weergegeven als functie van de temperatuur, om een afschatting te maken van het kookpunt van de verkregen siroop in de snelkookpan.**



- *Methode:* Wet van Raoult:

$$p_{\text{water}} = x_{\text{water}} p_{\text{siroop}}$$

Let op: dit geldt voor het water in siroop. Meestal gebruiken we Raoult voor situaties waarbij 'iets' wordt opgelost in water, maar nu voegen we water toe aan siroop. Herschrijven geeft:

$$p_{\text{siroop}} = \frac{p_{\text{water}}}{x_{\text{water}}}$$

De molfractie van water in siroop wordt als volgt berekend:

$$x_{\text{water}} = \frac{n_{\text{water}}}{n_{\text{fructose}} + n_{\text{water}}} = \frac{\frac{m_{\text{water}}}{M_{\text{w,water}}}}{\frac{m_{\text{fructose}}}{M_{\text{w,fructose}}} + \frac{m_{\text{water}}}{M_{\text{w,water}}}}$$

Vervolg: voor  $p_{\text{water}}$  (gegeven: 3,40 atm) en  $x_{\text{water}}$  vervolgens  $p_{\text{siroop}}$  berekenen en dan de bijbehorende temperatuur aflezen in de gegeven grafiek.

- *Uitwerking:*

$$x_{\text{water}} = \frac{\frac{m_{\text{water}}}{M_{\text{w,water}}}}{\frac{m_{\text{fructose}}}{M_{\text{w,fructose}}} + \frac{m_{\text{water}}}{M_{\text{w,water}}}} = \frac{\frac{1000}{18,02}}{\frac{588,0}{180,2} + \frac{1000}{18,02}} = 0,94447$$

$$p_{\text{siroop}} = \frac{3,40}{0,9447} = 3,60 \text{ atm}$$

Aflezen: bij een druk van 3,60 atm vinden we dan  $\sim 140^\circ\text{C}$ .

- *Beschouwing:* Aangenomen wordt dat de gegeven grafiek (die van zuiver water) ook gebruikt kan worden voor siroop. Significantie-regel in het aflezen van grafieken werkt als volgt: schat het cijfer dat niet met grafiek-lijnen wordt aangeduid. Hier zijn de grafieklijnen op de enkeltallen uitgezet, dus schat de tienden af:  $140,0^\circ\text{C}$ . Het kleinste significante getal is de gegeven druk (3,40), dus het eindantwoord heeft een significantie van drie.

- *Alternatief (=suiker toevoegen aan zuiver water):*

$$p_{\text{water+suiker}} = p_{\text{siroop}} = x_{\text{water}} p_{\text{water}}^*$$

Met de hierboven berekende waarde voor  $x_{\text{water}}$  en  $p_{\text{water}}^* = 1,0$  (bij  $100^\circ\text{C}$ ; niet gegeven in de tekst, maar wel gegeven in de grafiek en bovendien het kookpunt van zuiver water) vinden we  $p_{\text{siroop}} = 0,94447$  atm. Hieruit volgt dat de plot 0,0555 atm lager ligt (bij  $100^\circ\text{C}$ ). Dat is iets meer dan een 'kwart hokje' lager in de grafiek (ofwel ongeveer één hokje naar rechts). Bij een druk van 3,40 atm vinden we dan  $\sim 140^\circ\text{C}$ .

c) Wat is de osmotische druk van het suikerwater uit vraag b), bij een temperatuur van 298 K?

- *Methode*: Variatie op voorbeeldvraag op pagina 110, onderaan.

$$\Pi = \frac{RT}{V_A} x_B = \frac{RT}{M_{w,water}/\rho} (1 - x_A)$$

- *Uitwerking*:

$$\Pi = \frac{8,314 \times 298}{18,02 \times 10^{-3} / 997} \times (1 - 0,94447..) = 7612548 = 7,61 \text{ MPa}$$

- *Beschouwing*: 3 significante cijfers op basis van de gegevens. De berekende waarde is groot, maar het betreft ook een geconcentreerde oplossing en dus een redelijke grote  $x_B$  (waarbij ideaal gedrag niet waarschijnlijk is).

d) **Bepaal aan de hand van de grafiek bij vraag b de verdampingsenthalpie van water en vergelijk deze met de literatuurwaarde (40,7 kJ/mol).**

- *Methode*: De Clausius–Clapeyron-vergelijking geeft de relatie tussen de helling van de gegeven grafiek en de verdampingsenthalpie (in deze vraag gaat het om de helling van de raaklijn in het punt  $T = 100^\circ\text{C}$  en  $p = 1,00 \text{ atm}$ ):

$$\frac{dp}{dT} = \frac{\Delta_{vap}H^\ominus p}{RT_{vap}^2}$$

$$\Delta_{vap}H^\ominus = \frac{dp}{dT} \frac{RT_{vap}^2}{p}$$

- *Uitwerking*:

$$\Delta_{vap}H^\ominus = \frac{(3,00 - 1,00)}{(160,0 - 100,0)} \frac{8,314 \times (373)^2}{1,00} = 38557 \frac{\text{J}}{\text{mol}} = 38,6 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$$

- *Beschouwing*: De gevonden waarde is goed vergelijkbaar met de literatuurwaarde. De afwijking (iets meer dan 5%) kan verklaard worden door de onnauwkeurigheid bij het bepalen van de helling.

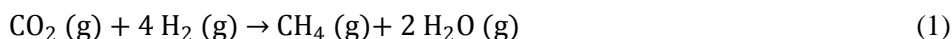
- *NB*: Voor de helling is door een aantal CTD docenten een verschillende waarde 'gevonden'. Hier is gerekend met  $2/60 \text{ (atm/}^\circ\text{C)} = 1/30 \text{ (atm/}^\circ\text{C)}$ . Een andere docent heeft dezelfde waarde gevonden en een derde docent vond  $1/20 \text{ (atm/}^\circ\text{C)}$ . De laatstgenoemde helling geeft een hogere verdampingsenthalpie (50% hoger).

Als de methode goed is (dus via de helling), de uitwerking consistent is en de afwijking van de literatuurwaarde verklaard wordt door de onnauwkeurigheid bij het bepalen van de helling dan wordt het volledige aantal punten toegekend.

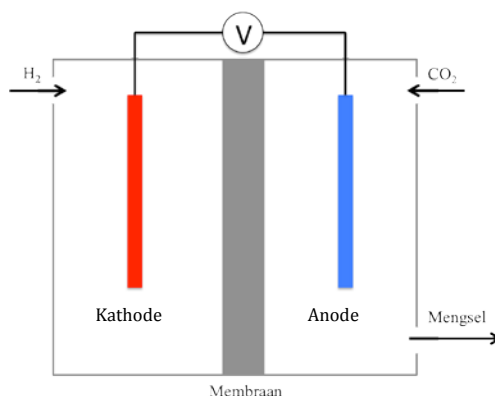
# Vraag 5: Brandstofcel

Puntenverdeling: a,b:10,10

	$\Delta_f G^\ominus$ (kJ/mol)	$\Delta_f H^\ominus$ (kJ/mol)	$S^\ominus$ (J/(K mol))	$c_p$ (J/(K mol))
CO <sub>2</sub>	-394.4	-393.5	213.8	37.1
H <sub>2</sub>	-	0.00	130.7	28.8
CH <sub>4</sub>	-50.8	-74.9	186.2	35.1
H <sub>2</sub> O (g)	-228.6	-241.8	188.8	33.6



Voor de omzetting van CO<sub>2</sub> naar CH<sub>4</sub>, gebruiken we een brandstofcel waar H<sub>2</sub> en CO<sub>2</sub> separaat worden toegevoegd. Bij de kathode wordt met waterstofgas H<sup>+</sup>-ionen geproduceerd, die bij de anode gebruikt worden om CO<sub>2</sub> om te zetten naar CH<sub>4</sub>. Schematisch ziet de brandstofcel er als volgt uit:

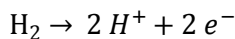


Figuur 1: schematisch overzicht van de methaan brandstofcel.

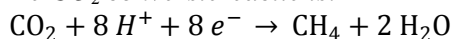
De brandstofcel wordt bedreven bij 225°C en standaarddruk.

- a. **Wat zijn de halfreacties aan de anode en kathode. Wat is de totale reactievergelijking. Wat is de stoichiometrische coëfficiënt van de elektronen bij de vorming van 1 mol CH<sub>4</sub> in de bovenstaande brandstofcel?**

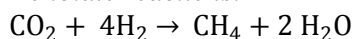
De deelreactie voor de splitsing van het waterstof-molecuul in H<sup>+</sup> is:



De CO<sub>2</sub> conversiereactie is:



De totale reactie is:



Hieruit volgt dat de stoichiometrische coëfficiënt van de elektronen is gelijk aan 8.

- b. **Wat is de efficiëntie  $\eta$  van de brandstofcel bij 225°C en standaarddruk? Verwaarloos de Gibbs energie van menging.**

Methode: Het rendement is gegeven door

$$\eta = \min\left(\left|\frac{\Delta_r G}{\Delta_r H}\right|, 1\right)$$

Geen menging:

$$\Delta_r G = \bar{v} \cdot \{\Delta_f G^\ominus - (T - T^\ominus) \cdot S^\ominus + 0\}$$

$$\Delta_r H = \bar{v} \cdot \{\Delta_f H^\ominus - (T - T^\ominus) \cdot c_p\}$$

Uitwerking:

$$\begin{aligned}\Delta_r G &= \bar{v} \cdot \{\Delta_f G^\ominus - (T - T^\ominus) \cdot S^\ominus\} \\ &= \begin{pmatrix} -1 \\ -4 \\ 1 \\ 2 \end{pmatrix} \cdot \left\{ \begin{pmatrix} -394.4 \\ 0 \\ -50.8 \\ -228.6 \end{pmatrix} - (498.16 - 298.16) \begin{pmatrix} 213.8 \\ 130.7 \\ 186.2 \\ 188.8 \end{pmatrix} \right\} \\ &= -79.4 \text{ kJ/mol} \\ \Delta_r H &= \bar{v} \cdot \{\Delta_f H^\ominus - (T - T^\ominus) \cdot c_p\} \\ &= \begin{pmatrix} -1 \\ -4 \\ 1 \\ 2 \end{pmatrix} \cdot \left\{ \begin{pmatrix} -393.5 \\ 0.00 \\ -74.9 \\ -241.8 \end{pmatrix} - (498.16 - 298.16) \begin{pmatrix} 37.1 \\ 28.8 \\ 35.1 \\ 33.6 \end{pmatrix} \right\} \\ &= -173 \text{ kJ/mol}\end{aligned}$$

$$\text{Dus: } \eta = \left|\frac{\Delta_r G}{\Delta_r H}\right| = 79.4/173 = 45.8\%$$

Beschouwing: Lage maximale efficiency, door de hoge werktemperatuur, 3 significante cijfers