

Tentamen KFKA10 Termodynamik och ytkemi, 2023-01-09

Tillåtna hjälpmedel: Miniräknare, utdelat formelblad och tabellblad.

Godkänt-del A (endast svar): max 14 poäng.

Godkänt-del B (motiveringar krävs): max 26 poäng.

Högrebetygs-del C: max 40 poäng.

För godkänt krävs 30 poäng (av 40) på del A+B.

Högre betyg avgörs av den sammanlagda poängen på del A+B+C.

Anonymkod:

Personlig identifierare:

Godkänt-del A (uppgift 1–4)

På denna del krävs endast svar. Svara direkt på provbladet. Poängen på varje uppgift ges av angiven maxpoäng minus antalet felaktiga/saknade svar, men kan inte bli negativ.

1. Betrakta processen då flytande vatten fryser till is vid normalt tryck och 0°C . Systemet består av alla vattenmolekyler. Hur ändras följande storheter under processen?

Systemets entropi, S :	<input type="checkbox"/> ökar	<input type="checkbox"/> minskar	<input type="checkbox"/> oförändrad
Systemets volym, V :	<input type="checkbox"/> ökar	<input type="checkbox"/> minskar	<input type="checkbox"/> oförändrad
Systemets inre energi, U :	<input type="checkbox"/> ökar	<input type="checkbox"/> minskar	<input type="checkbox"/> oförändrad
Gibbs energi för systemet, G :	<input type="checkbox"/> ökar	<input type="checkbox"/> minskar	<input type="checkbox"/> oförändrad

(3 p)

2. Vilken av följande differentialekvationer är korrekt för reversibel adiabatisk expansion av ideal gas? Ringa in den korrekta.

(1 p)

$$C_V dT = \frac{nRT}{V} dV$$

$$C_V dT = -\frac{nRT}{V} dV$$

$$C_p dT = \frac{nRT}{V} dV$$

$$C_V dV = -\frac{nRT}{V} dT$$

$$C_p dp = \frac{nRT}{p} dT$$

3. Ange för vart och ett av följande påståenden om det är sant eller falskt.

sant **falskt**

- | sant | falskt | |
|--------------------------|--------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | Vid en adiabatisk kompression (volymminskning) av ideal gas ökar gasens temperatur. |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | Den kemiska potentialen för vatten är högre i saltvatten än i rent vatten (vid samma tryck och temperatur). |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | Om attraktiva krafter dominerar mellan molekylerna i en gas så är kompressionsfaktorn $Z < 1$. |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | I en exoterm process är $\Delta H < 0$. |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | Om man värmer en ideal gas vid konstant tryck (1 bar) så blir ökningen i inre energi större än värmeförseln |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | Den isoterma kompressibiliteten κ beskriver hur volymen för ett ämne beror på trycket. |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | Om ett makrotillstånd bara motsvaras av ett fåtal mikrotillstånd så har makrotillståndet låg entropi. |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | Ångbildning är alltid en reversibel process oavsett temperatur och tryck. |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | Om aktivitetsfaktorerna γ_A och γ_B för en vätskeblandning är mindre än 1 så interagerar molekylerna A och B "bättre" med varandra än vad som antas i en ideal lösning. |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | Kapillärsänkning är en effekt som uppstår om kontaktvinkeln θ är mindre än 90 grader. |

(7 p)

4. (a) Vad kallas fenomenet att ett löst ämne B ansamlas vid en yta?

(b) Om ämnet B, löst i vatten, ansamlas vid vattenytan, så blir lösningens ytspänning

- högre än för rent vatten
- lägre än för rent vatten
- högre eller lägre än för rent vatten, beroende på B:s egenskaper.

(c) Om du fortsätter att tillsätta mer av B kanske du finner att ytspänningen efter ett tag plötsligt slutar ändras. Vad beror detta troligen på? (endast ett svar)

- B-molekylerna bildar aggregat
- vattenytan blir mättad med avseende på B
- solubilisering
- vattnets kemiska potential har uppnått sitt maximala värde.

(d) Vilket värde ska du sätta in på talet N i Gibbs ekvation om B är en anjonisk surfaktant?

(3 p)

Godkänt-del B (uppgift 5–10)

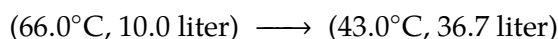
På denna del ska slutsatser motiveras och beräkningar redovisas. Tag för vana att alltid göra en rimlighetsbedömning.

5. I en viss process som utförs under det konstanta trycket 0.90 bar tillför vi 170 J värme till systemet, samtidigt som systemets volym minskar från 1.63 liter till 1.02 liter. Beräkna ΔU . (3 p)

6. I en meteorologisk demonstration låter vi fuktig varm luft, närmare bestämt en gasblandning med molbråket för vattenånga $x_{\text{H}_2\text{O}} = 0.062$, svalna i ett slutet system under konstant totaltryck 0.50 bar. Om vi försummar yteffekter, vid vilken temperatur kommer vattenångan börja kondensera? Du får anta att ångbildningsentalpin, som du hittar i tabellen, är oberoende av temperaturen. (4 p)

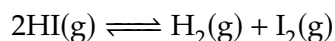
7. Förklara i vilken riktning och under vilka förutsättningar ytkemiska effekter skulle kunna påverka svaret på föregående uppgift. Hänvisa till relevant ekvation och förklara tankekedjan. (3 p)

8. Beräkna entalpiändringen ΔH och entropiändringen ΔS när 0.576 mol syrgas genomgår följande process:



Du får anta ideal gas och att värmekapaciteten är oberoende av temperaturen. (5 p)

9. Gör två oberoende beräkningar (uppgift a och b) av jämviktskonstanten för följande reaktion vid 180°C:



(a) Med hjälp av tabelldata (observera att samtliga ämnen är i gasfas!). Du får anta att $\Delta_r H^\ominus$ och $\Delta_r S^\ominus$ är oberoende av temperaturen.

(b) Med hjälp av följande experimentaldata: Om du inför 0.862 mol HI(g) i en tom behållare med volymen 50.0 liter blir jämviktspartialtrycket för HI(g) 55.7 kPa då temperaturen är 180°C.

Observera att svaret inte behöver bli precis lika i a- och b-uppgifterna p.g.a. mätosäkerhet och approximationer. (6 p)

10. Blandningar av pentan och hexan kan betraktas som ideala. Vid 20°C är ångtrycket över ren pentan 57.90 kPa och över ren hexan 16.17 kPa. Vi tillreder en vätskeblandning av 2.87 mol pentan och 1.16 mol hexan.

(a) Vad ska det omgivande trycket vara för att denna vätskeblandning ska ha kokpunkten 20°C?

(b) Om vi analyserar 3.00 milliliter av ångan över samma blandning vid 20°C, hur stor substansmängd av pentan respektive hexan återfinns där? (5 p)

Högrebetyg-del C (uppg 11–14)

Denna del behöver göras för att uppnå betygen 4 eller 5. *Observera* att det normalt endast ges delpoäng för lösningar som kommit ett stort steg närmare det efterfrågade resultatet, och då endast om studenten kan motivera hur en framkomlig väg ser ut. Alla slutsatser skall motiveras och antaganden och beräkningar redovisas. Tag för vana att alltid göra en rimlighetsbedömning.

11. I dessa tider letar många efter sätt att spara energi, t.ex. vid matlagning. I den här uppgiften ska du uppskatta den energiförlust du gör varje gång du lyfter bort locket till en kastrull för att t.ex. röra i maten.

Låt oss för enkelhets skull anta att innehållet är rent vatten vid 90°C . Utöver detta vatten innehåller kastrullen 1 liter "tomrum" som naturligtvis fylls upp av luft och vattenånga till ett totaltryck av 1 atm, och denna gasblandning har samma temperatur som det flytande vattnet i kastrullen, vilket den också står i jämvikt med. Låt oss också anta att när du lyfter bort locket ersätts gasblandningen ögonblickligen med torr luft (20°C , 0% luftfuktighet) från det omkringliggande rummet. Den mängd (låt säga n mol) vattenånga som då "försvunnit" ur kastrullen kan sägas ge en energiförlust som motsvarar den värme som har krävts för att överföra n mol vatten från vätskeform vid 20°C till gasform vid 90°C (bidraget från uppvärmningen av syre och kväve får försummas).

(10 p)

12. Omvänd osmos är en effektiv teknik för avsaltning av havsvatten. Tekniken bygger på att havsvatten och färskvatten placeras på varsin sida om ett semipermeabelt membran, varefter man på havsvattnet applicerar ett mekaniskt tryck som gör att vattenmolekyler transporteras genom membranet från havsvattensidan till färskvattensidan, d.v.s. tvärtemot vad som sker i "vanlig" osmos.

(a) Beräkna det teoretiskt minsta möjliga mekaniska tryck som behöver appliceras för att omvänd osmos ska ske om havsvattnet enbart antas innehålla 4.00 viktprocent NaCl (fullständigt dissocierat till joner) och temperaturen är $+10.0^{\circ}\text{C}$. Antag också att aktivitetsfaktorn för vatten kan sättas till 0.98 under dessa betingelser.

(b) I praktiken har det visat sig att för att få tillräckligt stort flöde genom membranet behöver vattnets kemiska potential vara 50 J/mol *högre* på saltvattensidan än på andra sidan. Hur stort tryck behöver appliceras för att uppnå detta?

Kommentar: Under tentan saknades orden "än på andra sidan", vilket gjorde att uppgiften kunde missförstås och därför ströks.

(10 p)

13. Vi tittar på en enkel (men ineffektiv) kylanläggning där köldmediet A alltid befinner sig i gasfas. För att erhålla kyleffekten får den komprimerade gasen (40°C ; 8.76 bar) passera ett litet hål, varvid trycket minskar till 1.30 bar. Vid de förutsättningar som gäller (inget värmeutbyte, kontinuerligt flöde) sker den processen vid *konstant entalpi*. Köldmediet A är förstås valt så att dess egenskaper gör att temperaturen minskar vid tryckfallet. Några av ämnets materialegenskaper framgår ur tabellen nedan.

- Beräkna gasens temperatur efter tryckfallet.
- Beräkna gasens molvolym före respektive efter tryckfallet.
- I nästa steg överförs värme från omgivningen (det utrymme man önskar kyla) till köldmediet så att gasen återfår temperaturen 40°C medan trycket hålls konstant. Beräkna hur mycket värme som överförs för varje mol av A som passerar.

(10 p)

Egenskaper för ämne A	
Molär värmekapacitet	$C_{p,m} = 89 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
Joule-Thomsonkoefficienten	$\mu_{JT} = 1.75 \cdot 10^{-5} \text{ K/Pa}$
Andra virialkoefficienten	$B = 0.56 \text{ dm}^3/\text{mol}$

14. Vi betraktar en suspension av sfäriska, positivt laddade kolloidpartiklar i en vattenlösning av NaCl vid 25°C , där Debyelängden är 2.0 nm.

- Skissa ett diagram över den lokala koncentrationen av kloridjoner som funktion av avståndet från en partikel. Sätt ut gradering på avståndssaxeln.
- Beräkna bulkkoncentrationen av NaCl . Vattnets dielektricitetskonstant ϵ_r kan sättas till 80 .
- Med DLVO-modellen kan man uppskatta hur Gibbs interaktionsenergi mellan två partiklar varierar med avståndet. Om vi ändrar avståndet från 2 nanometer till 1 nanometer, med hur stor faktor skulle interaktionsenergin ändras under förutsättning att van der Waals-interaktionerna kan försummas? Är interaktionsenergin positiv eller negativ?
- Om vi tvärtom antar att den elektrostatiska interaktionen kan försummas så att det *bara* finns van der Waals-interaktioner, med hur stor faktor skulle interaktionsenergin ändras då?

(10 p)

Svar och lösningar (temporär version, under pågående förbättring)

Del A

Av tentakonstruktionstekniska skäl ges inga lösningar på del A.

Del B

5. Eftersom processen sker vid konstant tryck vet vi att $p_{ex} = p = 0.90$ bar. Alltså gäller

$$\Delta U = q + w = q - \int p_{ex} dV = q - p(V_2 - V_1) = 170 - 0.9 \cdot 10^5 \cdot (1.02 - 1.63) \cdot 10^{-3} = 225 \text{ J}$$

6. Här spelar det ingen roll hur varm gasblandningen är från början, utan vi behöver bara veta partialtrycket för vattenånga i gasblandningen, och den ges av Daltons lag:

$$p_w = x_w \cdot p_{\text{tot}} = 3100 \text{ Pa}$$

Detta partialtryck kommer att vara konstant ända tills temperaturen sjunkit till den så kallade daggpunkten, alltså den temperatur då detta partialtryck överstiger vattnets ångtryck så att ångan börjar kondensera. Denna temperatur T_2 kan hittas genom att använda Clausius-Clapeyrons ekvation med $p_2 = p_w$ och en känd referenspunkt, antingen vattnets kokpunkt ($T_1 = 373.15 \text{ K}$; $p_1 = 1 \text{ atm}$) eller ångtrycket vid 25°C som kan beräknas från tabellvärden via $\Delta_{\text{vap}}G^\ominus$. Det senare förslaget kan förväntas ge noggrannare resultat eftersom daggpunkten råkar ligga närmare den referenspunkten, men båda är förstås acceptabla. Med kokpunkten som referens erhålls t.ex.

$$T_2 = 1 \left/ \left(\frac{1}{T_1} - \frac{R}{\Delta_{\text{vap}}H} \ln(p_2/p_1) \right) \right. = 294.7 \text{ K}$$

7. Om luften är väldigt ren och stillastående, som t.ex. högt upp i atmosfären, kan temperaturen sjunka en bit under daggpunkten utan att kondensering (molnbildning) sker, eftersom det inte finns några gränssytor vid vilka kondenseringen kan starta. Detta kan förstås även uttryckas som att partialtrycket för vattenånga tillfälligt är högre än vattnets termodynamiska ångtryck eller att den relativa luftfuktigheten är över 100%. Fenomenet kan kvantifieras genom Kelvins ekvation, som säger att ångtrycket $p(r)$ utanför en *liten* droppe är högre än det termodynamiska ångtrycket $p(\infty)$. Därför kan den lilla droppen avdunsta bort igen trots att kondensering skulle ha skett om det funnits större vattendroppar.
8. Vi ska beräkna entropiskillnaden mellan två olika tillstånd. Notera att vi lätt kan beräkna andra storheter om vi behöver dem, t.ex. $p_1 = nRT_1/V_1$, $p_2 = nRT_2/V_2$ och $C_{v,m} = C_{p,m} - R$. Eftersom S är en tillståndsfunktion spelar det ingen roll om processen utförs reversibelt eller irreversibelt. Entropin ska dock *beräknas* längs en reversibel väg. Alla vägar som innebär att kontinuerligt ändra tryck, temperatur och volym för en gas är reversibla, så vi kan välja en väg som är lätt att göra beräkningarna för. Det är då lämpligt att dela upp processen i två steg och hålla en parameter konstant i varje steg. Exempelvis kan vi först hålla volymen konstant,

$$\Delta S_1 = n \cdot C_{V,m} \ln \frac{T_2}{T_1} = -0.85 \text{ J K}^{-1}$$

och sedan temperaturen konstant,

$$\Delta S_2 = nR \ln \frac{V_2}{V_1} = 6.23 \text{ J K}^{-1}$$

och slutligen addera de två stegen:

$$\Delta S = \Delta S_1 + \Delta S_2 = 5.38 \text{ J K}^{-1}$$

Det går precis lika bra att t.ex. låta det ena steget ske vid konstant tryck (och alltså använda C_p istället) och det andra vid konstant temperatur, man måste bara se till att hålla reda på att mellantillståndet, som alltså är starttillståndet för det andra steget, har en annan volym än det ursprungliga starttillståndet.

$$\Delta H = C_p(T_2 - T_1) = -389 \text{ J}$$

9. När vi har en kemisk jämvikt är det alltid bra att börja med att teckna jämviktskonstanten (här behövs den i uppgift b):

$$K = \frac{(p_{\text{H}_2}/p^\ominus) \cdot (p_{\text{I}_2}/p^\ominus)}{(p_{\text{HI}}/p^\ominus)^2} = \frac{p_{\text{H}_2} \cdot p_{\text{I}_2}}{p_{\text{HI}}^2}$$

Eftersom p^\ominus förkortas bort helt så kan man förstås räkna med vilken tryckenhet man vill i uppgift (b).

- (a) Här fick vi ansätta att reaktionsentalpin och reaktionsentropin är konstanta (men inte $\Delta_r G^\ominus$ som alltid har ett starkt temperaturberoende). Därför räcker det att använda värdena som vi får från tabell vid 25°C:

$$\Delta_r H^\ominus(25^\circ\text{C}) = 62.44 - 2 \cdot 26.48 \text{ kJ mol}^{-1} = 9.48 \text{ kJ mol}^{-1}$$

och

$$\begin{aligned} \Delta_r S^\ominus(25^\circ\text{C}) &= 130.684 + 260.69 - 2 \cdot 206.59 \text{ J K}^{-1}\text{mol}^{-1} \\ &= -21.80 \text{ J K}^{-1}\text{mol}^{-1} \end{aligned}$$

Detta ger $\Delta_r G^\ominus(180^\circ\text{C}) = 19.4 \text{ kJ mol}^{-1}$, vilket i sin tur ger $K = 0.0059$.

Om man räknar mer noggrant och först beräknar $\Delta_r H^\ominus(180^\circ\text{C})$ och $\Delta_r S^\ominus(180^\circ\text{C})$ genom att använda $\Delta_r C_p^\ominus = 7.4 \text{ J K}^{-1}\text{mol}^{-1}$, får man istället $K = 0.0063$.

- (b) Totaltrycket före jämvikt är $p_{\text{FJ}} = 0.862 \cdot RT/V = 65.0 \text{ kPa}$. Enligt uppgiften är partialtrycket av HI vid jämvikt 55.7 kPa.

För varje mol HI som reagerar bildas 0.5 mol H_2 och lika mycket I_2 . Alltså är deras partialtryck vid jämvikt $p_{\text{H}_2} = p_{\text{I}_2} = 0.5 \cdot (p_{\text{FJ}} - 55.7) = 9.3 \text{ kPa}$. Insättning av alltihop i K ovan ger $K = 0.0069$.

Att göra kemiska beräkningar med partialtryck fungerar bara i specialfall som detta där den totala gasmängden inte ändras under reaktionen. Annars är det alltid substansmängd man bör använda, och det kan vi förstås göra även här:

Vi kan först räkna ut hur många mol HI man har vid jämvikt från det givna partialtrycket och ideala gaslagen. Då fås $n_{\text{HI}} = 0.739$ mol. Eftersom man vet hur många mol som fanns före jämvikt vet man därmed också hur många mol H_2 och I_2 som bildats ($n_{\text{H}_2} = n_{\text{I}_2} = 0.0614$ mol). Därefter räknar man ut deras partialtryck från ideala gaslagen och får då förstås samma svar som ovan.

10. Detta är en enkel tillämpning av Raoult's lag. Därför börjar vi med att beräkna molbråket hexan i vätskan

$$x_{\text{H}} = \frac{n_{\text{H}}}{n_{\text{P}} + n_{\text{H}}} = 0.712$$

- (a) En vätskeblandning, precis som en ren vätska, kokar när dess totala ångtryck är lika med det omgivande trycket. Enligt Raoult's lag har vi det totala ångtrycket

$$p_{\text{tot}} = x_{\text{H}}p_{\text{H}}^* + (1 - x_{\text{H}})p_{\text{P}}^* = (4.7 + 41.2) \text{ kPa} = 45.9 \text{ kPa}$$

och därför skall det omgivande trycket vara 45.9 kPa.

- (b) Vi konstaterar att inga partialtryck är uppseendeväckande höga utan tvärtom *mindre* än normaltryck, så idealgas-approximation fungerar utmärkt. Här kan man tänka på två sätt. Antingen beräknar vi den totala substansmängden i provvolymen med allmänna gaslagen ($V = 3 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$, $p = 45.9 \cdot 10^3 \text{ Pa}$ och $T = 293.15 \text{ K}$ ger $n_{\text{tot}} = 5.65 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$) och molbråket hexan i ångan med Daltons lag,

$$y_{\text{H}} = \frac{p_{\text{H}}}{p_{\text{tot}}} = \frac{x_{\text{H}}p_{\text{H}}^*}{p_{\text{tot}}} = 0.101$$

för att slutligen beräkna substansmängderna enligt $n_{\text{H}} = y_{\text{H}} \cdot n_{\text{tot}}$ och $n_{\text{P}} = (1 - y_{\text{H}}) \cdot n_{\text{tot}}$.

Alternativt räknar vi på en gas i taget genom att sätta in partialtrycket i allmänna gaslagen (den äldre definitionen av partialtryck var ju just trycket om gasen vore ensam i behållaren, och den sammanfaller med den moderna så länge gaserna är ideala). Då får vi svaren direkt: $n_{\text{H}} = 5.7 \cdot 10^{-6} \text{ mol}$ och $n_{\text{P}} = 5.1 \cdot 10^{-5} \text{ mol}$.

Del C

11. Om vi följer uppgiftens föreslagna approximationer så ska vi helt enkelt beräkna antalet mol vattenånga (n) i en luftblandning med volymen $V = 1 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$ och temperaturen $T = 363.15 \text{ K}$ i jämvikt med flytande vatten, och sedan den värmeförlust som behövs för att ändra tillståndet för denna mängd vatten från $T_0 = 293.15 \text{ K}$ i flytande form till $T = 363.15 \text{ K}$ i gasfas.

$$n = \frac{p_w V}{RT} = p_1 \exp\left(\frac{\Delta_{\text{vap}}H}{R} \left[\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T}\right]\right) \cdot \frac{V}{RT} = 0.023 \text{ mol}$$

om vi använder den lämpliga referenspunkten $T_1 = 373.15 \text{ K}$, $p_1 = 1 \text{ atm}$, och approximerar $\Delta_{\text{vap}}H$ som en konstant med värdet 40.656 kJ/mol vilket är tabellvärdet vid kokpunkten (denna approximation är acceptabel eftersom det handlar om ett temperaturintervall på bara 10 K).

Värmen tillförs förstås vid konstant tryck så vi söker ΔH för processen, som kan delas upp i flera delsteg:

$(l, 293 \text{ K}, 1 \text{ atm}) \longrightarrow (l, 298 \text{ K}, 1 \text{ atm}) \longrightarrow (g, 298 \text{ K}, 1 \text{ atm}) \longrightarrow (g, 363 \text{ K}, 1 \text{ atm})$

där det är viktigt att förångningen sker vid en temperatur där vi har tabelldata (däremot är det inte nödvändigt att den sker vid en punkt där ångbildningen är reversibel, eftersom vi inte ska beräkna ΔS).

För vart och ett av temperaturändringsstegen gäller $\Delta H = n \cdot C_{p,m} \Delta T$, där $C_{p,m}$ är tabellvärdet för flytande vatten respektive vattenånga, som kan antas vara temperaturoberoende (detta är en bättre approximation än att anta att $\Delta_{\text{vap}}H$ är konstant).

För ångbildningssteget gäller helt enkelt $\Delta H = n \cdot \Delta_{\text{vap}}H$, där $\Delta_{\text{vap}}H = (-241.83) - (-285.83) = 44 \text{ kJ/mol}$ vid 298 K (det går även att låta ångbildningen ske vid 373 K).

Den totala värmeförlusten blir $8.6 + 999.2 + 49.6 = 1057 \text{ J}$ med dessa värden. Det finns som sagt andra möjliga approximationer, och det finns egentligen ingen anledning att försumma syret och kvävet's uppvärmning, som skulle bidra med ytterligare 46 J .

Hur mycket är då 1 kJ ? Om vi exempelvis antar att spisen har effekten 1 kW betyder det att vi förlorar motsvarande en sekunds uppvärmning varje gång vi lyfter locket, vilket inte låter så mycket men skulle kunna bli betydande om vi lyfter ofta (eller inte använder lock alls). Det ska dock betonas att vår uppskattning utgör en övre gräns för förlusten. En noggrannare beräkning behöver ta hänsyn till att utbytet av gasblandningen inte sker ögonblickligen.

12. (a) Vi ska helt enkelt beräkna det osmotiska trycket för saltvattnet, eftersom det är definierat som det tryck som gör att vattenflödet genom membranet avstannar, och sålunda utgör en teoretisk undre gräns för när flödet skulle kunna gå i omvänd riktning. Vi behöver då först beräkna molbråket för vatten i lösningen, varvid vi exempelvis kan betrakta 100 gram lösning, vilken enligt uppgiftens förutsättningar består av $m_w = 96$ g vatten och $m_{\text{NaCl}} = 4$ g NaCl.

$$x_w = \frac{n_w}{n_{\text{Na}^+} + n_{\text{Cl}^-} + n_w} = \frac{n_w}{2 \cdot n_{\text{NaCl}} + n_w} = \frac{m_w/M_w}{2 \cdot m_{\text{NaCl}}/M_{\text{NaCl}} + m_w/M_w} = 0.975$$

Aktiviteten ges av $a_w = \gamma_w x_w = 0.955$ och det osmotiska trycket av

$$\Pi = -\frac{RT}{V_w^m} \ln a_w = 59.5 \text{ bar}$$

där vi använt $V_w^m = M_w/\rho_w = 1.8 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{mol}$.

- (b) Här behöver vi gå tillbaka till härledningen av osmosformeln, vilken använder sig av att kemiska potentialen ska vara lika på båda sidor om membranet. Vi ställer upp ekvationen

$$\mu^\ominus - RT \ln a_w + 50 \text{ J} = \mu^\ominus + V_w^m \cdot (p - p^\ominus)$$

och löser ut det pålagda trycket: $p - p^\ominus = 87.3 \text{ bar}$.

13. (a) Under konstant entalpi gäller

$$0 = dH = C_p dT - C_p \cdot \mu_{JT} dp$$

vilket, under antagandet konstant μ_{JT} , kan integreras till

$$T_2 - T_1 = \mu_{JT} \cdot (p_2 - p_1)$$

Insättning av $\mu_{JT} = 1.75 \cdot 10^{-5} \text{ K/Pa}$, $T_1 = 313 \text{ K}$, $p_1 = 8.76 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ och $p_2 = 1.30 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ ger $T_2 = 27^\circ\text{C}$.

- (b) Här var det tryckfel i uppgiften, det stod $B = 0.56 \text{ dm}^3/\text{mol}$ men borde ha stått $B = -0.56 \text{ dm}^3/\text{mol}$ eftersom nästan alla gaser har negativ virialkoefficient. Vi ger förstås rätt för vilken som helst av dessa insättningar, men i lösningen nedan står de "onaturliga" svaren som erhålls från originalversionen av tentan inom parentes.

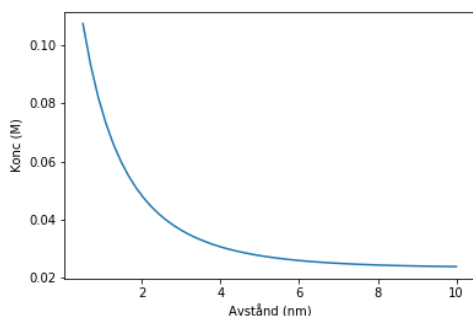
Eftersom trycket inte är extremt högt försummar vi högre ordningens virialkoefficienter. Då $V_m = V/n$ kan vi ställa upp ekvationen

$$V_m = \frac{RT}{p} \left(1 + \frac{B}{V_m} \right)$$

som har lösningen $V_m = 2.22 \text{ liter/mol}$ (3.45 liter/mol) före och $V_m = 18.6 \text{ liter/mol}$ (19.7 liter/mol) efter tryck- och temperaturfallet. Om man inte har Solver och ogillar andragsgradsekvationer så skulle ekvationen kunna lösas approximativt men det kräver att man kontrollerar approximationens noggrannhet. Efter tryckfallet (men inte före) är även ideal gas en godtagbar approximation som ger 19.2 liter/mol.

- (c) Med samma beteckningar som i a-uppgiften ändras temperaturen nu från T_2 till T_1 och vi beräknar helt enkelt $q = \Delta H_m = C_{p,m}(T_1 - T_2) = +1.16 \text{ kJ/mol}$, där plustecknet påminner oss om att värme överförs till köldmediet.

14. (a) Sambandet ser (för en godtyckligt vald positiv ytpotential) ut enligt figuren nedan, och det viktiga är att det kvalitativa beteendet fångas (de negativa kloridjonerna ansamlas vid den positiva partikeln) och att graderingen på x-axeln stämmer någorlunda med den givna Debye-längden.



- (b) Om vi löser ut jonstyrkan I ur formeln för Debye-längd får vi med givna data $I = 23.6 \text{ mol/m}^3$ och eftersom det är ett envärt salt ($z_{\text{Na}} = +1$ och $z_{\text{Cl}} = -1$) blir koncentrationen samma som jonstyrkan, alltså 0.0236 M .
- (c) Om Van der Waals-interaktionerna försummas innehåller DLVO-uttrycket bara den elektrostatiske termen, som är positiv (repulsiv). Faktorn mellan de två avstånden $s_{\text{kort}} = 1 \text{ nm}$ och $s_{\text{lang}} = 2 \text{ nm}$ blir:

$$\frac{G(s_{\text{kort}})}{G(s_{\text{lang}})} = \frac{K_{\text{el}} r \exp(-s_{\text{kort}}/L_D)}{K_{\text{el}} r \exp(-s_{\text{lang}}/L_D)} = \sqrt{e} = 1.65$$

- (d) Om istället den elektrostatiske interaktionen försummas innehåller DLVO-uttrycket bara den negativa termen och faktorn mellan de två avstånden blir

$$\frac{G(s_{\text{kort}})}{G(s_{\text{lang}})} = \frac{-Hr/12s_{\text{kort}}}{-Hr/12s_{\text{lang}}} = 2$$