

Tentamen KFKA10 Termodynamik och ytkemi, 2021-01-11

Tillåtna hjälpmedel: Miniräknare, utdelat formelblad och tabellblad.

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

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

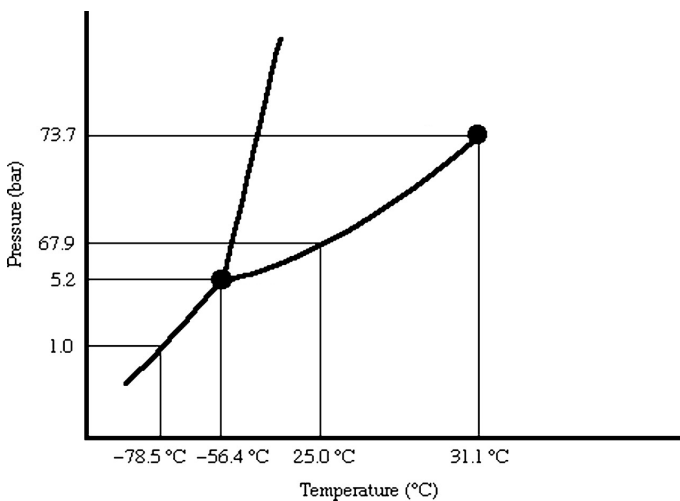
Högrebetygs-del C: max 40 poäng.

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

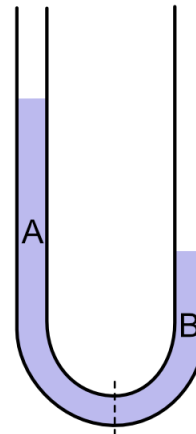
Högre betyg avgörs av den sammanlagda poängen på del A+B+C.

Godkänt-del A (besvaras i Canvas)

Denna del består av Quizfrågor i Canvas. Endast svar krävs. Observera att när du väl öppnat Canvasquizet har du 60 minuter på dig att slutföra det. Du kan inte ändra dina svar när quizet är inlämnat. Quizet lämnas in senast 17.00, så börja senast 16.00. Nedan visas de figurer som hänvisas till i quizet.



Figur 1



Figur 2

Godkänt-del B (uppgift 1–6)

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

1. Beskriv fenomenet kapillärstigning och definiera de ingående storheterna i formeln för kapillärstigning (du behöver inte närmare förklara orsaken till fenomenet). Rita skisser hur fenomenet ser ut för de två fallen $\theta < 90^\circ$ respektive $\theta > 90^\circ$, och ge ett lämpligt sammanfattande namn på materialets egenskaper i vardera fallet. (3 p)
2. En stor del av energin som går åt för att tillverka konstgjord snö används till att komprimera luft. Beräkna arbetet som åtgår för att komprimera 20.3 mol luft från trycket 1.00 bar till trycket 18.0 bar. Antag att kompressionen sker reversibelt vid konstant temperatur, 0°C , och att luft beter sig som ideal gas. (4 p)

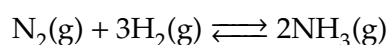
3. I en stängd flaska som du har med dig på en skogsutflykt vid temperaturen 5.0°C finns flytande vatten i jämvikt med en gasfas med volymen 0.100 liter. Hur stor substansmängd vattenånga finns i flaskan? Vattnets trippelpunkt är (0.01°C , 611.7 Pa) och ångbildningsentalpin är 45.0 kJ/mol och får antas vara oberoende av temperaturen. (5 p)

4. Beräkna entropiändringen när 2.43 mol etengas ($C_{p,m} = 31.7$ J K $^{-1}$ mol $^{-1}$) genomgår processen:

$$(34.0^{\circ}\text{C}, 1.00 \text{ bar}) \longrightarrow (74.0^{\circ}\text{C}, 2.57 \text{ bar})$$

Du kan anta ideal gas och att värmekapaciteten är oberoende av temperaturen. (4 p)

5. Ammoniak (NH_3) framställs ofta genom följande reaktion:



Jämviktskonstanten K för reaktionen är 337 vid 100°C , om vanliga standardtillstånd används. Reaktionsentalpin är -92 kJ mol $^{-1}$.

- (a) I en jämviktsblandning vid 100°C är partialtrycket för N_2 10.5 kPa och partialtrycket för H_2 19.2 kPa. Beräkna partialtrycket för NH_3 .
(b) Kommer molbråket för NH_3 att minska, öka eller vara oförändrat om vi höjer temperaturen men håller totaltrycket konstant? Motivera svaret.
(c) Kommer molbråket för NH_3 att minska, öka eller vara oförändrat om vi ökar totaltrycket men håller temperaturen konstant? Motivera svaret. (5 p)
6. Två vätskor C och D bildar ideala blandningar. Vid 75°C uppmättes det totala ångtrycket över en viss sådan blandning till 35.6 kPa och molbråket för C i ångfasen till 0.678 . Vid samma temperatur är ångtrycket för rent C 70.7 kPa.

(a) Beräkna molbråket för C i vätskeblandningen.

(b) Beräkna ångtrycket för rent D vid 75°C . (5 p)

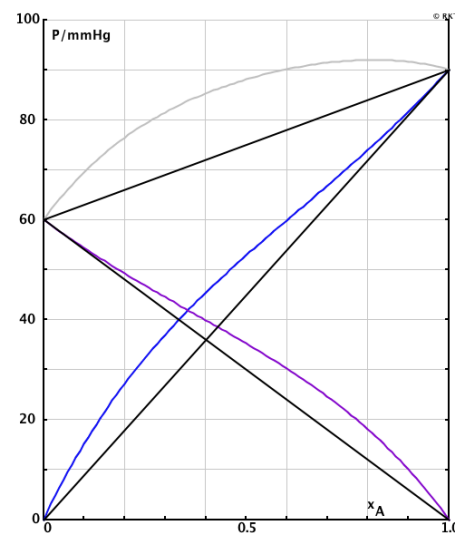
Högrebetyg-del C (uppg 7–10)

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.

7. Diagrammet nedan visar partialtrycken och det totala ångtrycket över en vätskeblandning av två ämnen A och B vid 36°C som funktion av molbråket x_A (de svarta linjerna är endast hjälplinjer som visar idealt beteende).

- Bestäm molbråket för A i ångan samt aktiviteten och aktivitetsfaktorn för vardera komponenten (A och B) för en vätskeblandning med $x_A = 0.4$ vid temperaturen 36°C .
- Hur stor substansmängd B ska vi tillsätta till 10.0 mol A för att kokpunkten för blandningen ska bli 36°C om det omgivande trycket är 80 mmHg?
- "Trivs" molekylerna A och B bättre eller sämre ihop jämfört med ideal blandning? Motivera svaret.
- Förklara vilken typ av azeotrop som skulle kunna finnas för detta system.

(10 p)



8. Silikonolja används ofta i värmebad eftersom de är i vätskefas i ett stort temperaturintervall. För en viss sådan silikonolja återfinns den experimentellt bestämda utvidningskoefficienten (α) som funktion av temperaturen i tabellen nedan.

- Ansätt ett linjärt samband mellan T och α och bestäm de ingående parametrarna med hjälp av linjär regression.
- Använd sambandet för att beräkna kvoten mellan molvolymen vid kokpunkten $+232^\circ\text{C}$ och molvolymen vid smältpunkten -39°C .

T ($^\circ\text{C}$)	α (K^{-1})
25	$9.370 \cdot 10^{-4}$
40	$9.497 \cdot 10^{-4}$
50	$9.593 \cdot 10^{-4}$
75	$9.824 \cdot 10^{-4}$
90	$9.978 \cdot 10^{-4}$

(10 p)

9. Vid produktion av konstgjord snö används huvudsakligen två effekter för att kyla ner luften så att vattendropparna fryser snabbt: dels en expansion av den sedan tidigare komprimerade luften och dels förångning av en dimma med mikroskopiska vattendroppar som sprutas ut i luften parallellt med de specialbehandlade vattendroppar som ska frysa. Låt oss undersöka vardera effekten separat (även om verkliga snökanoner ofta kombinerar båda).

- Beräkna temperaturen på den komprimerade luften från uppgift 2 (d.v.s. starttillståndet 18.0 bar, 0°C) efter att den har expanderat adiabatiskt mot ett konstant externt tryck på 1 atm (d.v.s. en irreversibel process).
- Beräkna sluttemperaturen på en luftvolym som hålls vid konstant tryck (normalt atmosfärstryck) och från början har temperaturen 0°C och innehåller vattenånga med ett molbråk på 0.005 (dessa värden beror förstås på det aktuella vädret), men som också har blandats med ett överskott av mikroskopiska vattendroppar vars förångning upptar värme från luften. Du kan anta att processen pågår till dess att luften är mättad med vattenånga vid sluttemperaturen.

Luften kan i båda fallen hanteras som en ideal gas med den molära värmekapaciteten $C_{p,m} = 29.2 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ och denna får antas vara oberoende av både temperaturen och luftfuktigheten. Vid temperaturen 0°C är vattnets smältentalpi 6.0 kJ/mol och ångbildningsentalpin är 45.0 kJ/mol. För enkelhets skull antar vi att ingen iskrystallbildning sker än så länge, och du kan även behöva göra andra approximationer.

Kommentar: I verkligheten gör värmeledningseffekter att den teoretiska temperaturen i b-uppgiften aldrig nås, precis som du märkte med hjälp av den våta termometern på smörgåsbordslabben. Därför är "våttemperaturen" en väldigt viktig parameter vid snöproduktion. (10 p)

10. Tabellen nedan visar hur ytspänningen för en vattenlösning av saltet NaY (där Y är en amfifil med laddningen -1) varierar med koncentrationen vid temperaturen 20°C. Du kan anta att när koncentrationen är under 5 mM så är ytöverskottet proportionellt mot koncentrationen, medan när koncentrationen är över 20 mM så är ytöverskottet konstant.

- Beräkna ytöverskottet av NaY för punkterna i tabellen och skissa ett diagram (med graderade axlar) över hur ytöverskottet beror på koncentrationen i hela intervallet.
- Uppskatta skillnaden i den kemiska potentialen $\mu_{\text{NaY}}^{\ominus}$ mellan ytan och bulken genom att ansätta en tjocklek $d = 1$ nanometer på ytskiktet och anta att koncentrationen är konstant, c_{yta} , i detta ytskikt och lika med bulkkoncentrationen i övrigt.

Ledning: Standardtillståndet är idealt utspädd lösning så du är intresserad av den "vänstra" änden av diagrammet. Försök att hitta ett uttryck för kvoten c_{yta}/c , vilket motsvarar jämviktskonstanten för reaktionen $\text{NaY}(\text{bulk}) \rightleftharpoons \text{NaY}(\text{yta})$.

c (mM)	γ (mN/m)
0	72.8
4	64.6
25	47.2
40	36.5

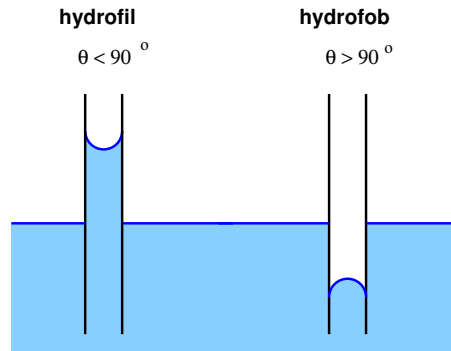
(10 p)

Svar och lösningar

Del A

Av tentakonstruktionstekniska skäl ges inga lösningar på del A.

Del B



- Av förklaringen ska framgå tydligt att de två fallen ger en vattennivå i röret ovanför respektive nedanför den omgivande vattennivån, som i figuren ovan. Om vätskan är vatten kallas materialet för hydrofilt respektive hydrofobt. I formeln betecknar θ kontaktvinkeln, γ_{lg} ytspänningen mellan vätskan och luften, ρ vätskans densitet, g tyngdaccelerationen, r rørets radie och h höjden relativt den omgivande vattennivån.
- Arbetet ges av $dw = -p_{ex} dV$. Vid en reversibel kompression hålls trycket utanför (p_{ex}) lika med trycket inuti systemet ($p = nRT/V$) där n , R och T är konstanta men V ändrar sig under processen. Därför ges det totala arbetet av

$$w = - \int p_{ex} dV = - \int_{V_1}^{V_2} \frac{nRT}{V} dV = -nRT \ln \frac{V_2}{V_1} = nRT \ln \frac{p_2}{p_1} =$$

$$= 20.3 \cdot 8.3145 \cdot 273.15 \cdot \ln \frac{18}{1} = 133 \cdot 10^3 \text{ J}$$

Det kan vara intressant att notera att sluttrycket är ganska högt, så för riktigt noggranna beräkningar kan vi inte förlita oss på allmänna gaslagen. Enligt experiment¹ är vid 0°C andra virialkoefficienten för torr luft $B = -17.2 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{mol}$, vilket ger:

$$w = - \int_{V_1}^{V_2} nRT \left(\frac{1}{V} + \frac{Bn}{V^2} \right) dV = -nRT \left(\ln \frac{V_2}{V_1} - Bn \left[\frac{1}{V_2} - \frac{1}{V_1} \right] \right) = 133 \cdot 10^3 \text{ J}$$

där svaret skiljer sig bara 0.3 promille från den ideala approximationen, vilket är lite förvånande eftersom $Z = 0.986$, d.v.s. en volymsavvikelse på mer än 1 procent. Anledningen är att vi visserligen behöver använda något mindre tryck för att pressa ihop luften men samtidigt måste vi gå till en lägre slutvolym och dessa två effekter kancellerar ungefär.

- Eftersom gasfasen står i jämvikt med rent vatten ges partialtrycket för vattenånga av ångtrycket. Vi kan använda Clausius-Clapeyrons ekvation för att beräkna

¹J. Chem. Eng. Data 39, 873–875

ångtrycket p_2 vid $T_2 = 278.15$ K utifrån att vi vet att ångtrycket är $p_1 = 611.7$ Pa vid trippelpunkten $T_1 = 273.16$ K:

$$p_2 = p_1 \cdot \exp\left(\frac{\Delta_{\text{vap}}H}{R} \left[\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right]\right) = 873 \text{ Pa}$$

Antalet mol vattenånga ges nu av allmänna gaslagen, om vi förutsätter att gasblandningen beter sig som en ideal gas (eftersom den moderna definitionen av partialtryck, $p_i = x_i p_{\text{tot}}$, i det ideala fallet sammanfaller med den äldre definitionen: trycket om gasen varit ensam i behållaren). Notera att svaret alltså inte beror på hur högt det totala gastrycket är i flaskan. Om flaskan har stängts under extremt lågtrycksväder kan ju lufttrycket vara betydligt lägre än 1 atm, men mängden vattenånga är ändå densamma.

$$n_w = \frac{p_2 V}{RT} = 3.77 \cdot 10^{-5} \text{ mol}$$

4. Vi ska beräkna entropiskillnaden mellan två olika tillstånd. Notera att vi lätt kan beräkna andra storheter om vi behöver dem, t.ex. $V_1 = nRT_1/p_1$, $V_2 = nRT_2/p_2$ 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,

$$\Delta S_1 = n \cdot C_{v,m} \ln \frac{T_2}{T_1} = 6.96 \text{ J K}^{-1}$$

och sedan temperaturen konstant,

$$\Delta S_2 = nR \ln \frac{V_2}{V_1} = -16.60 \text{ J K}^{-1}$$

och slutligen addera de två stegen:

$$\Delta S = \Delta S_1 + \Delta S_2 = -9.64 \text{ J K}^{-1}$$

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

5. Vi börjar med att ställa upp uttrycket för jämviktskonstanten för reaktionen:

$$K = \frac{(a_{\text{NH}_3})^2}{(a_{\text{N}_2}) \cdot (a_{\text{H}_2})^3} = \frac{(p_{\text{NH}_3}/p^0)^2}{(p_{\text{N}_2}/p^0) \cdot (p_{\text{H}_2}/p^0)^3}$$

där $p^0 = 1$ bar enligt det vanliga standardtillståndet för gaser.

- (a) Det här är ett enkelt exempel på jämviktssuppgift, eftersom vi redan har information om själva jämviktssläget, och därmed inte behöver ta hänsyn till hur reaktionen går. Vi löser helt enkelt ut p_{NH_3} ur jämviktsekvationen:

$$p_{NH_3} = p^0 \sqrt{K \cdot (p_{N_2}/p^0) \cdot (p_{H_2}/p^0)^3} = p^0 \sqrt{337 \cdot 0.105 \cdot 0.192^3} = 0.500 \text{ bar}$$

- (b) Enligt Van't Hoff's ekvation minskar jämviktskonstanten med stigande temperatur eftersom $\Delta_r H < 0$. Därmed förskjuts jämvikten åt vänster och molbråket för NH_3 minskar.
- (c) Jämviktskonstanten K är oberoende av totaltrycket. Men molbråken påverkas ändå, vilket lätt inses om vi skriver om jämviktsekvationen med Daltons lag:

$$K = \frac{(p_{\text{tot}} x_{NH_3}/p^0)^2}{(p_{\text{tot}} x_{N_2}/p^0) \cdot (p_{\text{tot}} x_{H_2}/p^0)^3} = \left(\frac{p^0}{p_{\text{tot}}}\right)^2 \cdot \frac{(x_{NH_3})^2}{(x_{N_2}) \cdot (x_{H_2})^3}$$

Om K ska vara konstant när p_{tot} ökar måste ju även molbråkskvoten öka, d.v.s. jämvikten förskjuts åt höger och molbråket för NH_3 ökar. Det går även att resonera utifrån Le Chateliers princip, att reaktionen förskjuts åt det håll som motverkar tryckhöjningen, d.v.s. så att antalet gasmolekyler minskar.

6. Det här är bara ett test på förståelsen av Raoults lag och begreppen molbråk och ångtryck. Vi har fått givet att $p_{\text{tot}} = 35.6 \text{ kPa}$, $y_C = 0.678$ och $p_C^* = 70.7 \text{ kPa}$.

- (a) Molbråket i ångfasen kan uttryckas som $y_C = p_C/p_{\text{tot}}$ enligt Daltons lag. Eftersom blandningen är ideal gäller Raoults lag:

$$x_C = \frac{p_C}{p_C^*} = \frac{y_C \cdot p_{\text{tot}}}{p_C^*} = 0.341$$

- (b) Eftersom summan av molbråken måste vara 1, vet vi ju molbråket för D i både vätske- och gasfasen. Sålunda har vi

$$p_D^* = \frac{p_D}{x_D} = \frac{(1 - y_C) \cdot p_{\text{tot}}}{1 - x_C} = 17.4 \text{ kPa}$$

Del C

7. (a) Ur diagrammet avläses att $p_A^* = 90$ mmHg, $p_B^* = 60$ mmHg och att för en specifik vätskeblandning med $x_A = 0.4$ så är $p_A = 45$ mmHg, $p_B = 40$ mmHg och $p_{\text{tot}} = 85$ mmHg. Vi kan därmed beräkna:

$$y_A = \frac{p_A}{p_{\text{tot}}} = 0.53$$

$$a_A = \frac{p_A}{p_A^*} = 0.50 \qquad a_B = \frac{p_B}{p_B^*} = 0.67$$

$$\gamma_A = \frac{a_A}{x_A} = 1.25 \qquad \gamma_B = \frac{a_B}{x_B} = 1.11$$

- (b) Ur diagrammet avläser vi att $p_{\text{tot}}=80$ mmHg erhålls ungefär vid $x_A = 0.28$. Alltså

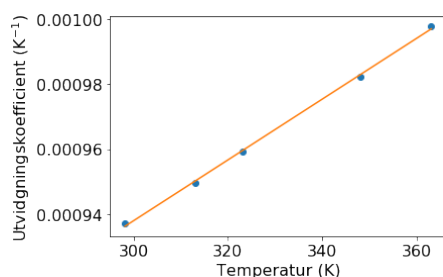
$$\frac{10}{10 + n_B} = 0.28 \iff n_B = 26 \text{ mol}$$

- (c) De trivs sämre ihop i vätskeblandningen, eftersom de visar större tendens att gå ut i gasfas (positiv avvikelse från Raoult's lag).
- (d) Det skulle kunna finnas ett kokpunktsminimum, eftersom ångtrycket vid 36°C har ett maximum. Men vid ett omgivande tryck som ligger långt ifrån 90 mmHg är det inte säkert att det finns en azeotrop, eftersom även ångbildningsentalpierna spelar in.
8. (a) På denna uppgift var det en del som trodde att man behövde finna ett teoretiskt samband mellan α och T , vilket gjorde uppgiften mycket svårare. Därför godkändes även diverse icke-linjära samband, förutsatt att de ger bra överensstämmelse med givna data. Men när man *ansätter* ett linjärt samband så antar man helt enkelt att

$$\alpha = a \cdot T + b$$

Direkt plottning av α mot T , som i figuren nedan, bekräftar att det är en rimlig ansats och linjär regression ger

$$a = 9.36 \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-2} \qquad b = 6.57 \cdot 10^{-4} \text{ K}^{-1}$$



- (b) Vi ska nu *använda* det observerade sambandet för att förutsäga volymsändringen i ett temperaturintervall. Från formelsamlingen har vi, vid konstant tryck:

$$\frac{dV}{V} = \alpha dT = (a \cdot T + b) dT$$

Integrering ger:

$$\ln \frac{V_2}{V_1} = \frac{a}{2} (T_2^2 - T_1^2) + b (T_2 - T_1)$$

Insättning av $T_1 = 234$ K och $T_2 = 505$ K, samt parametrarna a och b , ger

$$\frac{V_2}{V_1} = 1.31$$

9. (a) Första huvudsatsen tillsammans med egenskapen $\pi_T = 0$ för ideal gas ger:

$$C_v dT = dU = -p_{\text{ex}} dV$$

som, då p_{ex} är konstant, kan integreras till

$$C_v (T_2 - T_1) = -p_{\text{ex}} (V_2 - V_1)$$

Insättning av allmänna gaslagen och $p_{\text{ex}} = p_2 = 1 \text{ atm}$ ger

$$n \cdot C_{v,m} (T_2 - T_1) = -nR \left(T_2 - \frac{T_1 p_2}{p_1} \right)$$

varifrån vi kan lösa ut

$$T_2 = T_1 \cdot \frac{C_{v,m} + R(p_2/p_1)}{C_{v,m} + R} = 200 \text{ K}$$

- (b) Ansätt att vi räknar på n mol luft. Det som i huvudsak händer är att en viss mängd flytande vatten, n_{vap} , förångas i denna luftmängd, varvid värme tas från luften, som därmed ändrar temperatur enligt

$$T_2 = T_1 - \frac{n_{\text{vap}} \cdot \Delta_{\text{vap}} H}{n \cdot C_{p,m}}$$

där vi har approximerat värmekapaciteten som oberoende av halten vattenånga (vilket föreslås i uppgiften). Eftersom vi har överskott av flytande vattendroppar vet vi att kvoten n_{vap}/n kan beskrivas som skillnaden mellan molbråket vattenånga i vattenmättad luft och molbråket vattenånga från början (x_w^0). Vidare ges molbråket i den mättade luften enligt Daltons lag av kvoten mellan ångtrycket för vatten (p_w) och totaltrycket:

$$\frac{n_{\text{vap}}}{n} = \frac{p_w}{p_{\text{tot}}} - x_w^0$$

Slutligen vet vi att ångtrycket beror på sluttemperaturen enligt Clausius-Clapeyrons ekvation, där vi bör utgå från trippelpunkten och använda $\Delta_{\text{sub}} H = \Delta_{\text{fus}} H + \Delta_{\text{vap}} H$ eftersom den fasgräns vi "följer" i fasdiagrammet då vi är under nollpunkten är den mellan is och vattenånga.

$$p_w = p_w(0^\circ\text{C}) \cdot \exp\left(\frac{\Delta_{\text{sub}} H}{R} \left[\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right]\right)$$

Kombination av dessa tre ekvationer och lösning med Solver ger

$$T_2 = 272.2 \text{ K}$$

Med så fuktig luft ($x_w^0 = 0.005$ motsvarar 83% luftfuktighet vid 0°C) får vi alltså en nästan försumbar temperatursänkning och snökanonen kommer troligen inte att fungera. Om luften däremot vore helt torr ($x_w^0 = 0$) skulle temperaturen sänkas med ca 7 grader genom denna effekt.

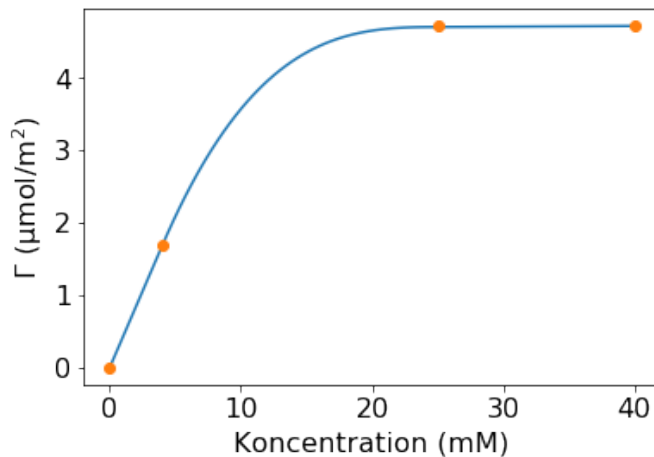
10. (a) Vid $c = 0$ är förstås $\Gamma = 0$ per definition. För att beräkna Γ vid 4 mM använder vi oss av det faktum att kvoten Γ/c är konstant i intervallet 0–4 mM, vilket enligt Gibbs ekvation gör att även derivatan $d\gamma/dc$ är konstant och kan skrivas som en differenskvot. Gibbs ekvation ger då:

$$\Gamma = -\frac{c}{NRT} \frac{d\gamma}{dc} = -\frac{c}{NRT} \cdot \frac{\gamma - \gamma_0}{c - 0} = \frac{\gamma_0 - \gamma}{NRT} = \frac{(72.8 - 64.6) \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 8.3145 \cdot 293.15} = 1.7 \cdot 10^{-6} \text{ mol/m}^2$$

Vid de två högre koncentrationerna får vi istället anta att Γ är konstant, vilket enligt den "andra" versionen av Gibbs ekvation gör att derivatan $d\gamma/d \ln c$ är konstant och kan skrivas som en differenskvot. Gibbs ekvation ger då:

$$\begin{aligned} \Gamma &= -\frac{1}{NRT} \frac{d\gamma}{d \ln c} = -\frac{1}{NRT} \cdot \frac{\gamma(40 \text{ mM}) - \gamma(25 \text{ mM})}{\ln 40 - \ln 25} = \frac{(47.2 - 36.5) \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 8.3145 \cdot 293.15 \cdot \ln(40/25)} = \\ &= 4.7 \cdot 10^{-6} \text{ mol/m}^2 \end{aligned}$$

En s.k. adsorptionsisoterm visas i figuren nedan, där mätpunkterna förbundits med en möjlig kurva som uppfyller det vi vet.



- (b) Vi antar att ytskiktets tjocklek är $d = 1 \cdot 10^{-9}$ m. Koncentrationen i ytskiktet, c_{yta} , ges då av

$$c_{yta} = c + \frac{\Gamma}{d}$$

Utifrån beräkningarna i (a) vet vi att för små koncentrationer ges Γ av

$$\Gamma = k \cdot c \quad \text{där} \quad k = \frac{1.7 \cdot 10^{-6} \text{ mol/m}^2}{4 \text{ mol/m}^3} = 4.2 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

Vi kan nu ta fram ett uttryck för "jämviktskonstanten" som föreslås i ledningen:

$$K = \frac{c_{yta}}{c} = 1 + \frac{\Gamma}{d \cdot c} = 1 + \frac{k}{d} = 421$$

Slutligen vill vi uttrycka detta som en kemisk potentialskillnad, d.v.s. vi vill bestämma $\Delta\mu_{NaY}^\ominus = \Delta_r G^\ominus$ för reaktionen:

$$\Delta_r G^\ominus = -RT \ln K = -14.7 \text{ kJ/mol}$$