

1) N_2 og O_2 utgjør tilsammen ca 99% av det molekylære innholdet i luft. Noe forenklet kan dermed luft ved standard betingelser (1 atm, 290 K) betraktes som en ideell gass av to-atomige molekyler med gjennomsnittlig molekylvekt 29 u.

Hva blir den molare varmekapasiteten (ved $p =$ konstant) for luft, c_{mp} , med utgangspunkt i antakelsen ovenfor?

20.78 J/(mol K) 16.63 J/(mol K) 24.94 J/(mol K) 29.10 J/(mol K) 33.26 J/(mol K)

2) Et hull bores i en aluminiumsplate ved bruk av et stålbor, som har diameter 6.573 cm ved romtemperatur 20°C. Friksjonen som oppstår under boringen får temperaturen til å øke til 168°C, både i boret og platen.

Hva blir hulldiameteren i aluminiumsplate når den er kjølt ned igjen til 20°C?

(Termiske utvidelseskoeffisienter: Al: $\alpha_L = 2.4 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$, Stål: $\alpha_L = 1.1 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$)

6.55 cm 6.56 cm 6.57 cm 6.58 cm 6.59 cm

3) Vann har kompressibilitet $\kappa_T = 4.52 \cdot 10^{-10} \text{ Pa}^{-1}$ og volumutvidelseskoeffisient $\alpha_V = 2.57 \cdot 10^{-4} \text{ K}^{-1}$ ved 298 K og 1 atm.

Anta at vannets temperatur økes med 10 K. Hvor mye må trykket økes for å holde vannets volum konstant?

1 atm 3 atm 11 atm 23 atm 56 atm

4) Den molare varmekapasiteten, c_{mp} , kan for mange stoffer uttrykkes empirisk ved formelen

$$c_{mp} = a + 2bT + cT^{-2},$$

der a, b og c er konstanter, og T er absolutt temperatur [K].

For Mg er $a = 25.7 \text{ J}/(\text{mol K})$, $b = 3.13 \cdot 10^{-3} \text{ J}/(\text{mol K}^2)$ og $c = -3.27 \cdot 10^5 \text{ JK}/\text{mol}$.

Hva blir midlere molar varmekapasitet, $\langle c_{mp} \rangle = \frac{1}{n} \frac{\Delta Q}{\Delta T}$, for Mg i temperaturområdet 300 - 600 K?

25.7 J/(mol K) 26.2 J/(mol K) 26.5 J/(mol K) 26.7 J/(mol K) 27.0 J/(mol K)

5) 11 mol O_2 -gass, opprinnelig ved 0°C og 1 atm trykk, gjennomgår en isoterm prosess der gassens volum doubles. Hvilket arbeid gjør gassen på omgivelsene?

14.0 kJ 15.1 kJ 16.2 kJ 17.3 kJ 18.4 kJ

6) En en-atomær ideell gass med initialtilstand $p_i = 500 \text{ Pa}$, $T_i = 310 \text{ K}$ og $V_i = 12.5 \text{ L}$, ekspanderes adiabatisk til et sluttvolum $V_f = 18 \text{ L}$.

Hva blir slutttemperaturen i gassen?

225 K 237 K 243 K 255 K 261 K

7) En ideell gass gjennomgår to prosesstrinn, først en isobar prosess ved $p = 2.5 \text{ atm}$ der volumet endres fra $V_0 = 12 \text{ L}$ til $V_1 = 3 \text{ L}$, etterfulgt av en isokor prosess som løper inntil den opprinnelige gasstemperaturen er gjenopprettet.

Hvor mye varme blir tilført gassen gjennom prosessforløpet?

1.2 kJ -1.5 kJ -1.7 kJ -2.3 kJ 2.0 kJ

8) To mol ideell gass av et to-atomig molekyl gjennomgår et termodynamisk kretsløp, ABCDA, som består av 4 prosesstrinn.

Med utgangspunkt i initialtilstand A, med $p = 5 \text{ atm}$ og $T = 600 \text{ K}$, ekspanderes gassen isotermt til tilstand B, der volumet er doblet. Deretter følger en adiabatisk prosess til tilstand C, hvor trykket reduseres til $p = 1 \text{ atm}$. Gassen komprimeres så isobart tilbake til utgangsvolumet (tilstand D), før den tilslutt tilbakeføres til utgangspunktet A, gjennom en isokor prosess.

a) Hva blir trykket i tilstand B?

2.3 atm 2.5 atm 2.7 atm 2.9 atm 3.1 atm

b) Hva blir temperaturen i tilstand C?

120 K 295 K 378 K 462 K 512 K

c) Hvilket arbeid gjør gassen i løpet av et kretsløp?

6.74 kJ 6.91 kJ 6.97 kJ 7.35 kJ 7.55 kJ

d) Hvilken virkningsgrad gir dette systemet om det brukes i en varmekraftmaskin?

0.18 0.22 0.26 0.3 0.34

9) En varmekraftmaskin med virkningsgrad 0.45 arbeider mellom to varmereservoarer med temperaturer $T_h = 600^\circ \text{ C}$ og $T_l = 60^\circ \text{ C}$.

Etter et helt antall kretsløp har maskinen utført arbeidet $W = 5.0 \cdot 10^4 \text{ kJ}$. Hva blir entropiendringen i reservoarene som følger av dette?

56.2 kJ/K 92.3 kJ/K 41.4 kJ/K 165 kJ/K 311 kJ/K

10) Hvilket av utsagnene er riktig med henblikk på kondensasjon?

Kondensasjon fører til at temperaturen i den gjenværende gassen øker.

Kondensasjon fører til at temperaturen i den gjenværende gassen øker.

Kondensasjon skjer bare ved gasstemperaturer rundt kokepunktet til væskefasen.

Kondensasjon forekommer bare når urenheter blandes inn i gassen.

Kondensasjon fører alltid til en økning av den samlede entropien i gass -og væskefasen.

11) Et enkomponentsystem som er i termodynamisk likevekt, inneholder en blanding av to faser, α og β .

Da er:

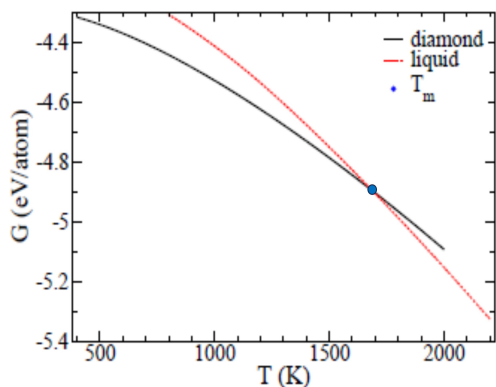
$$T_\alpha = T_\beta, U_\alpha = U_\beta \text{ og } S_\alpha = S_\beta \quad U_\alpha = U_\beta, p_\alpha = p_\beta \text{ og } S_\alpha = S_\beta \quad T_\alpha = T_\beta, \mu_\alpha = \mu_\beta \text{ og } S_\alpha = S_\beta$$

$$U_\alpha = U_\beta, p_\alpha = p_\beta \text{ og } \mu_\alpha = \mu_\beta \quad T_\alpha = T_\beta, p_\alpha = p_\beta \text{ og } \mu_\alpha = \mu_\beta$$

12) Hvilken av størrelsene under er intensiv?

Indre energi Entalpi Kjemisk potensial Gibbs fri energi Helmholtz fri energi

13)



Figuren over viser Gibbs fri energi pr atom for rent Si, som funksjon av temperatur og ved konstant trykk $p=1$ atm, hvor smeltetemperaturen er $T_m = 1783$ K. I temperaturområdet 1500-2000 K avtar begge frienergifunksjonene tilnærmet lineært med temperaturen, og tilpasninger gir

$$\text{Smelte (rød kurve): } G_l(T) = (-3.40 - 8.6 \cdot 10^{-4} \cdot T) \text{ eV/atom,}$$

$$\text{Faststoff (grønn kurve): } G_s(T) = (-3.953 - 5.5 \cdot 10^{-4} \cdot T) \text{ eV/atom.}$$

Hva blir molar latent smeltevarme for rent Si (ved $p=1$ atm)?

20 kJ/mol 35 kJ/mol 50 kJ/mol 65 kJ/mol 80 kJ/mol

14) En beholder inneholder en ideell gass i form av en blanding av Ar- ($m_{Ar} = 40u$) og Xe-atomer ($m_{Xe} = 131u$). Gassen er i likevekt ved $T = 160$ K.

Hva blir forholdet, $\langle v_s \rangle_{Ar} / \langle v_s \rangle_{Xe}$, mellom de mest sannsynlige fartene for Ar- og Xe-atomene?

0.55 1.0 1.41 1.81 3.27

15) Med trykk og volum holdt konstant, kan første hovedsetning uttrykkes

$$dU = TdS - EdP,$$

for et dielektrisk materiale som polariseres, P, i et eksternt elektrisk felt, E. (E og P antatt parallele, slik at skalarer kan brukes).

Hvilken Maxwell-relasjon framkommer av Gibbs fri energi for dette tilfellet?

$$\begin{aligned} \left(\frac{\partial S}{\partial E}\right)_T &= -\left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_E & \left(\frac{\partial S}{\partial P}\right)_E &= -\left(\frac{\partial E}{\partial T}\right)_S & \left(\frac{\partial S}{\partial E}\right)_T &= \left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_E \\ \left(\frac{\partial S}{\partial P}\right)_E &= \left(\frac{\partial E}{\partial T}\right)_S & \left(\frac{\partial E}{\partial P}\right)_T &= -\left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_E \end{aligned}$$

16) En tyntfilm skal fremstilles ved gassdeponering. Under deposisjonsprosessen kan partikler adsorberes i to ulike gitterposisjoner i filmen. Den ene gitterposisjonen er assosiert med energi $E_1 = -\varepsilon$, mens den andre er assosiert med energien $E_2 = 0$.

a) Hva blir midlere energi, $\langle E \rangle$, per partikkeltilstand i tyntfilmen, ved temperatur $T = 1.25\varepsilon/k_B$?

-0.5ε -0.57ε -0.63ε -0.69ε -0.78ε

b) Dersom partikkeltilstandene i et system er uavhenige, vil partisjonsfunksjonen for et ensemble av N partikler være $Z_N = \frac{Z_1^N}{N!}$, hvor Z_1 er partisjonsfunksjonen basert på de mulige energitilstandene til en enkelt partikkel. Hvilket av uttrykkene under angir entropien, $S(T)$, for en tyntfilm av N uavhenige partikler?

$$\begin{aligned} S(T) &= Nk_B \left[\ln(1 + \exp(\varepsilon/k_B T)) - \ln N + 1 - \frac{\varepsilon}{k_B T} \frac{1}{1 + \exp(-\varepsilon/k_B T)} \right] \\ S(T) &= Nk_B \left[\frac{\varepsilon}{k_B T} \exp(-\varepsilon/k_B T) - \ln(1 + \exp(\varepsilon/k_B T)) + \ln N - 1 \right] \\ S(T) &= Nk_B \left[\frac{\varepsilon}{k_B T} \exp(\varepsilon/k_B T) + \ln(1 - \exp(\varepsilon/k_B T)) + \ln N - 1 \right] \\ S(T) &= Nk_B \left[\ln(1 + \exp(-\varepsilon/k_B T)) - \ln N + 1 + \frac{\varepsilon}{k_B T} \frac{1}{1 + \exp(-\varepsilon/k_B T)} \right] \\ S(T) &= Nk_B \left[\ln(1 + \exp(-\varepsilon/k_B T)) + \ln(1 - \exp(\varepsilon/k_B T)) - \ln N + 1 \right] \end{aligned}$$

17) En reaksjon har $\Delta H = 29.79$ kJ/mol og $\Delta S = 78$ J/(K mol). Anta at endringene i ΔH og ΔS som funksjon av temperatur er uvesentlige i det relevante temperaturområdet, og at reaksjonen skjer ved konstant trykk.

Hva blir minimumstemperaturen som må til for at reaksjonen skal kunne gå spontant?

382 K 402 K 422 K 442 K 462 K

18) En idealisert termodynamisk tilstandsligning for en gummistrikk er gitt som $f = \gamma LT$, der f er strekk-kraften i strikken, L er strikkens lengde, T er absolutt temperatur, og γ er en konstant. Den indre energien i strikken er gitt ved $U = C_L T$, der C_L er konstant.

Anta at strikken strekkes fra tilstand (L_0, T_0) til tilstand (L, T) ved å øke f tilstrekkelig langsomt til at prosessen kan betraktes som reversibel.

Hva blir riktig uttrykk for entropiendringen i strikken, $\Delta S = S - S_0$? (Hint: Ta utgangspunkt i den termodynamiske identitet, og erstatt arbeidsleddet med et ledd som beskriver strekkearbeidet på strikken).

$$\begin{aligned} \Delta S &= C_L \ln\left(\frac{T}{T_0}\right) - \frac{\gamma}{2}(L^2 - L_0^2) & \Delta S &= C_L \ln\left(\frac{T}{T_0}\right) + \frac{\gamma}{2}(L^2 - L_0^2) & \Delta S &= C_L \ln\left(\frac{T}{T_0}\right) - \gamma \ln\left(\frac{L}{L_0}\right) \\ \Delta S &= C_L \ln\left(\frac{T}{T_0}\right) + \gamma \ln\left(\frac{L}{L_0}\right) & \Delta S &= C_L(T^2 - T_0^2) - \frac{\gamma}{2}(L^2 - L_0^2) \end{aligned}$$

19) Hvilket uttrykk svarer til den isoterme kompressibiliteten, κ_T , for 1 mol van der Waals gass?

$$\begin{aligned} \kappa_T &= \frac{V^2(V-b)^2}{RTV^3 - 2a(V-b)^2} & \kappa_T &= \frac{V^3(V-b)^2}{RTV^3 + 2a(V-b)^2} & \kappa_T &= \frac{V^4}{RTV^3 - 2a(V-b)^2} & \kappa_T &= \frac{V^2}{RTV - 2a} \\ \kappa_T &= \frac{(V-b)^4}{RTV^3 - 2a(V-b)^2} \end{aligned}$$

20) Et kg sjøvann består av 965 g H₂O og 35 g ulike salter i form av løste ioner, som tilsammen utgjør en molfraksjon på 0.0204. Molar masse for H₂O er 18 g/mol, og latent fordampningsvarme for 1 kg H₂O ved 1 atm trykk er 2257 kJ.

Hva blir kokepunktet for sjøvann ved 1 atm trykk?

$$100.6^\circ\text{C} \quad 101.0^\circ\text{C} \quad 101.4^\circ\text{C} \quad 101.8^\circ\text{C} \quad 102.2^\circ\text{C}$$

21) I astronomien brukes gamma- og røntgenteleskoper til å studere varmestråling fra varme gasser i områder med meget sterke gravitasjonsfelt, som f.eks. rundt såkalte binære stjerner (dvs. et stjernepar med en vanlig stjerne som rives i stykker av en nøytronstjerne, en hvit dverg eller et sort hull).

Anta at det fra studier av en slik gass blir funnet at strålingen fra gassen har maksimum intensitet for en fotonenergi på 25 keV. Hvilken gasstemperatur svarer denne observasjonen til?

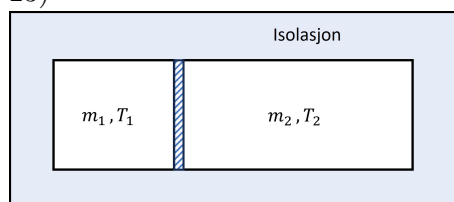
$$6 \cdot 10^7 \text{ K} \quad 6 \cdot 10^6 \text{ K} \quad 6 \cdot 10^5 \text{ K} \quad 6 \cdot 10^4 \text{ K} \quad 6000 \text{ K}$$

22) En kuleformet satellitt med diameter d og varmekapasitet C avkjøles ved utstråling til verdensrommet (som har temperatur nær 0 K). Anta at satellitten er så langt borte fra andre mulige varmekilder at en kan se bort fra innstråling fra slike, og at den stråler som et såkalt grått legeme, med emissivitet $\varepsilon \equiv 0.75$.

Hvilken differensiallikning beskriver endringen av satellitttemperaturen T , som funksjon av tid?

$$\begin{aligned} \frac{dT}{dt} &= -\frac{3\pi d^2 \sigma}{4C} T^4 & \frac{dT}{dt} &= -\frac{16\pi d^2 \sigma}{3C} T^3 & \frac{dT}{dt} &= D_T \nabla^2 T & \frac{dT}{dt} &= \frac{3\pi d^2 \sigma}{2C} T^4 \\ \frac{dT}{dt} &= -\frac{3\pi d^2 \sigma}{C} T^4 \end{aligned}$$

23)



Et system består av to Cu-blokker, med masser $m_1 = 2$ kg og $m_2 = 4$ kg, adskilt av en skillevegg med varmeledningsevne $\kappa = 0.12$ W/(m K). Tykkelsen av skilleveggen er 1.5 cm, mens kontaktarealet mellom blokkene og skilleveggen er 40 cm².

For Cu er $c = 0.39$ kJ/(kg K), slik at de to blokkene får varmekapasiteter $C_i = cm_i$, $i = 1, 2$ mens varmekapasiteten for materialet i skilleveggen er lav nok til at den kan neglisjeres i forhold til blokkene.

I utgangspunktet, ved tiden $t = 0$, har de to blokkene ulike temperaturer, $T_1 = 300$ K og $T_2 = 400$ K. Systemet er termisk isolert fra omgivelsene, men det går en varmetransport gjennom skilleveggen. Vi antar at denne transporten er langsom nok til at de to Cu-blokkene kan antas å være i intern termisk likevekt under hele transportprosessen.

I et slik tilfelle kan varmetransporten sees på som kvasistasjonær, med isoterme blokker og en konstant gradient i skilleveggen, som alle endres langsomt med tiden.

Anta at varmeutvidelsen av Cu-blokkene er neglisjerbar, slik at deres volum kan betraktes som konstant under hele prosessen.

a) Hva blir varmestrømmen mellom blokkene idet prosessen starter (ved $t = 0$)?

0.6 W 1.8 W 3.2 W 5.0 W 6.7 W

b) Det går også en entropistrøm, $\frac{dS}{dt}$, mellom blokkene. Hva blir denne i utgangspunktet (ved $t = 0$)?

56 μ W/K 2.7 mW/K 0.04 W/K 1.2 W/K 8.3 W/K

Fra relasjonen $\frac{dQ}{dt} = \frac{dQ}{dT} \frac{dT}{dt}$ kan det vises at utviklingen av temperaturforskjellen mellom blokkene er styrt av en differensiallikning på form $\frac{d\Delta T}{dt} = -\frac{\Delta T}{\tau}$, der τ er en tidskonstant.

c) Hva blir τ for systemet ovenfor?

10 min 30 min 1 time 20 min 2 timer 15 min 4 timer 30 min

d) Hva er temperaturforskjellen mellom blokkene etter $t = 3$ timer?

2 K 10 K 25 K 50 K 70 K