

## TFY4165 Termisk fysikk Eksamen 1. desember 2022

1) Hvilken størrelse er intensiv?

- A) Volum    B) Entropi    C) Entalpi    D) Indre energi    E) Trykk    F) Gibbs fri energi

2) Hvor mange molekyler inneholder 4 liter luft ved trykk 1 atm og temperatur 293 K?

- A)  $10^{20}$     B)  $10^{29}$     C)  $10^{26}$     D)  $10^{23}$     E)  $10^{32}$     F)  $10^{17}$

3) Hvor mange molekyler inneholder 4 liter vann?

Massetettheten til vann er 1 kg/L, og molar masse er 18 g/mol.

- A)  $1.3 \cdot 10^{26}$     B)  $1.3 \cdot 10^{30}$     C)  $1.3 \cdot 10^{32}$     D)  $1.3 \cdot 10^{34}$     E)  $1.3 \cdot 10^{28}$     F)  $1.3 \cdot 10^{24}$

4) I troposfæren, som strekker seg fra havnivå og opp til ca 10 km over havet, kan temperaturprofilen med brukbar tilnærmelse beskrives som  $T(z) = T_0 - \alpha z$ . Anta at  $T_0 = 290$  K og  $\alpha = 0.007$  K/m.

**Hva er da trykket 10 km over havet?**

Trykket ved havnivå er 1 atm.

Oppgitt:  $dp = -mgpdz/RT(z)$ . Her er  $g$  tyngdens akselerasjon,  $R$  den molare gasskonstanten, og molar masse for luft er  $m = 29$  g/mol.

- A) 0.56 atm    B) 0.66 atm    C) 0.46 atm    D) 0.26 atm    E) 0.36 atm    F) 0.16 atm

5) Polypropylen (PP), et mye brukt plastmateriale, har lineær utvidelseskoeffisient  $1.50 \cdot 10^{-4}$  K<sup>-1</sup>. En kvadratisk plate av PP har areal 400 cm<sup>2</sup> ved 10°C.

**Hva er arealet ved 90°C?**

- A) 404 cm<sup>2</sup>    B) 407 cm<sup>2</sup>    C) 419 cm<sup>2</sup>    D) 410 cm<sup>2</sup>    E) 416 cm<sup>2</sup>    F) 413 cm<sup>2</sup>

6) Nitrogen i fast form ved temperatur 22 K har isotherm kompressibilitet 0.5 GPa<sup>-1</sup>.

**Hvor mye utvider kuleformet nitrogen seg ved denne temperaturen dersom trykket reduseres fra 61 bar til 1 bar?**

- A) 0.5%    B) 0.8%    C) 0.4%    D) 0.7%    E) 0.6%    F) 0.3%

**7)** Høyeste og laveste lufttrykk som er offisielt registrert i Norge er 1061 og 936 hPa i hhv Dalen og Bergen i januar 1907.

**Hvor stort arbeid utfører et mol luft ved konstant temperatur  $0^{\circ}\text{C}$  når trykket reduseres fra 1061 til 936 hPa?**

- A) 585 J    B) 485 J    C) 785 J    D) 685 J    E) 285 J    F) 385 J

**8)** Hva er ikke en tilstandsfunksjon?

- A) Temperatur    B) Varme    C) Trykk    D) Indre energi    E) Entalpi    F) Entropi

**9)** En vanlig energienhet innen kjemi er fremdeles kcal/mol.  $1 \text{ cal} = 4.184 \text{ J}$ .

**Hva er 1.00 kcal/mol i enheten meV?**

- A) 93.4    B) 13.4    C) 73.4    D) 23.4    E) 63.4    F) 43.4

**10)** En kretsprosess bruker 1.0 mol ideell gass som arbeidssubstans og består av to isobarer, en isobar utvidelse ved trykk  $3p_0 = 3.0 \text{ bar}$  fra volum  $V_0$  til  $2V_0$  og en isobar kompresjon ved trykk  $p_0 = 1.0 \text{ bar}$  fra volum  $3V_0$  til  $2V_0$ . De to isobarene er forbundet med to prosesser der  $|dp/dV| = 2p_0/V_0$  holdes konstant. Kretsprosessens høyeste temperatur er 1200 K.

**Hvor stort arbeid utføres pr syklus?**

(Tips: Tegn kretsprosessen i et  $pV$ -diagram.)

- A) 5.3 kJ    B) 3.3 kJ    C) 6.3 kJ    D) 2.3 kJ    E) 4.3 kJ    F) 1.3 kJ

**11)** Hva er kretsprosessens laveste temperatur i forrige oppgave?

- A) 800 K    B) 600 K    C) 400 K    D) 300 K    E) 500 K    F) 700 K

**12)** Ett mol toatomig ideell gass med adiabatkonstant 1.40 utvider seg isentropisk slik at gassens temperatur faller fra 400 K til 200 K.

**Hvor stort arbeid har gassen utført?**

- A) 9.16 kJ    B) 6.16 kJ    C) 5.16 kJ    D) 7.16 kJ    E) 8.16 kJ    F) 4.16 kJ

**13)** Ett mol enatomig ideell gass komprimeres isobart slik at temperaturen reduseres fra 400 K til 300 K.

**Hvor mye endres gassens entalpi?**

- A)  $-4.08 \text{ kJ}$     B)  $-6.08 \text{ kJ}$     C)  $-1.08 \text{ kJ}$     D)  $-3.08 \text{ kJ}$     E)  $-5.08 \text{ kJ}$     F)  $-2.08 \text{ kJ}$

**14)** En ideell gass strømmer isentalpisk gjennom en porøs plugg (ekspansjonsventil).  
**Hvor mye endres gassens temperatur?**

- A)  $\Delta T = -2.2$  K    B)  $\Delta T = -1.1$  K    C)  $\Delta T = -3.3$  K  
D)  $\Delta T = 0$     E)  $\Delta T = 2.2$  K    F)  $\Delta T = 1.1$  K

**15)** I et Carnot-kjøleskap fjerner kjølemediet en varmemengde 250 J pr sekund fra kjøleskapet og avgir varmemengden 275 J pr sekund til kjøkkenluften.

**Hva er kjøleskapets virkningsgrad (effektfaktor)?**

- A) 16    B) 19    C) 7    D) 10    E) 4    F) 13

**16)** Ett mol enatomig ideell gass gjennomgår en reversibel prosess fra en starttilstand der temperaturen er 300 K og trykket er 3.00 bar, til en slutt-tilstand der temperaturen er 350 K og trykket er 2.50 bar.

**Hva blir endringen i gassens entropi?**

- A) 6.72 J/K    B) 5.72 J/K    C) 2.72 J/K    D) 7.72 J/K    E) 3.72 J/K    F) 4.72 J/K

**17)** To like store aluminiumsblokker, begge med masse 1.00 kg, er termisk isolert fra omverdenen, men i termisk kontakt med hverandre. I starttilstanden har de to blokkene temperaturer hhv 300 K og 600 K.

**Hvor mye har de to blokkenes totale entropi økt når likevekt er oppnådd, med felles temperatur 450 K?**

Aluminium har varmekapasitet 910 J/kg K. Vi kan anta konstant volum for de to blokkene.

- A) 167 J/K    B) 257 J/K    C) 227 J/K    D) 197 J/K    E) 107 J/K    F) 137 J/K

**18)** Vi kaster kron-og-mynt med 4 kronestykker. Vi betegner entropien i et kast med  $n$  kron (og  $4 - n$  mynt) som  $S_n$ . Med Boltzmanns definisjon av entropi,

**hva er entropidifferansen  $(S_2 - S_4)/k_B$ , dvs målt i enheter av Boltzmanns konstant  $k_B$ ?**

- A) 1.79    B) 1.39    C) 2.19    D) 1.19    E) 1.59    F) 1.99

**19)** Vi kaster kron-og-mynt med 1000 kronestykker. Vi betegner sannsynligheten for  $n$  kron (og  $1000 - n$  mynt) med  $P_n$ , som er proporsjonal med antall ulike mikrokonfigurasjoner som tilsvarer  $n$  kron,

$$\Omega_n = \binom{1000}{n} = \frac{1000!}{n!(1000 - n)!}.$$

**Hva er  $P_{500}/P_{250}$ ?**

(Tips: Stirlings formel.)

- A)  $6 \cdot 10^{76}$     B)  $6 \cdot 10^{26}$     C)  $6 \cdot 10^{66}$     D)  $6 \cdot 10^{36}$     E)  $6 \cdot 10^{46}$     F)  $6 \cdot 10^{56}$

**20)** Vi tilordner en kubisk boks med sidekanter  $L$  til hvert molekyl i en ideell gass ved temperatur 77 K og trykk 100 Pa.

**Hvor stor er  $L$ ?**

- A) 10 nm    B) 14 nm    C) 30 nm    D) 18 nm    E) 22 nm    F) 26 nm

**21)** Hva er forholdet mellom midlere kinetiske translasjonsenergi pr  $\text{CO}_2$ -molekyl og  $\text{H}_2\text{O}$ -molekyl i lufta, dvs  $\langle K_{\text{trans}}(\text{CO}_2) \rangle / \langle K_{\text{trans}}(\text{H}_2\text{O}) \rangle$ ?

- A) 0.64    B) 1.00    C) 0.52    D) 0.88    E) 0.76    F) 1.12

**22)** Luft inneholder blant annet  $\text{CO}_2$  og  $\text{H}_2\text{O}$ , med molekylmasser hhv ca  $44u$  og  $18u$ .

**Hva er forholdet mellom rms-hastigheten til disse molekylene, dvs  $v_{\text{rms}}(\text{CO}_2)/v_{\text{rms}}(\text{H}_2\text{O})$ ?**

- A) 1.00    B) 0.64    C) 0.88    D) 1.18    E) 0.52    F) 0.76

**23)** Trykket i en ideell gass doubles mens volumet halveres.

**Hvordan går det da med temperaturen?**

- A)  $T \rightarrow 2T$     B)  $T \rightarrow T/2$     C)  $T \rightarrow 3T$     D)  $T \rightarrow 4T$     E)  $T \rightarrow T/4$     F)  $T$  er uendret

**24)** Trykket i en van der Waals-gass doubles fra verdien  $a/50b^2$  mens volumet halveres fra verdien  $10b$ .

**Hvordan går det da med temperaturen?**

- A)  $\Delta T = 11a/20Rb$     B)  $\Delta T = a/20Rb$     C)  $\Delta T = 7a/20Rb$     D)  $\Delta T = 17a/20Rb$   
 E)  $\Delta T = 3a/20Rb$     F)  $\Delta T = 19a/20Rb$

Oppgave 25–32: Propan,  $\text{C}_3\text{H}_8$ , har i trippelpunktet en temperatur 85.5 K. Faselikevekten mellom gass og væske beskrives brukbart med van der Waals tilstandsligning, med parametre  $a = 0.905 \text{ Pa m}^6$  og  $b = 0.0905 \text{ L}$  for 1.00 mol propan.

**25)** La oss først beskrive 1.00 mol propan som en ideell gass. Ved 301 K og med volum 0.881 L, hva er trykket?

- A) 31.4 bar    B) 34.4 bar    C) 28.4 bar    D) 22.4 bar    E) 25.4 bar    F) 37.4 bar

**26)** La oss så benytte van der Waals tilstandsligning for samme mengde propan som i forrige oppgave, og med samme temperatur og volum.

**Hvor stort trykk gir dette?**

- A) 16.0 bar    B) 20.0 bar    C) 24.0 bar    D) 18.0 bar    E) 26.0 bar    F) 22.0 bar

**27)** Ved samme temperatur og ved samme trykk som du beregnet i forrige oppgave kan 1.00 mol propan komprimeres og kondensere i sin helhet til væske.

**Hvor stort væskevolum gir van der Waals tilstandsligning ved disse betingelsene?**

(Tips: Kritisk molart volum er  $V_c = 3b$ .)

- A) 0.055 L    B) 0.703 L    C) 0.586 L    D) 0.432 L    E) 0.149 L    F) 0.042 L

**28)** Hva er kritisk temperatur for propan med van der Waals tilstandsligning?

- A) 356 K    B) 329 K    C) 347 K    D) 320 K    E) 338 K    F) 311 K

**29)** Hva er rms-hastigheten til molekylerne i propangass ved 301 K, i henhold til ideell gass tilstandsligning?

Atomære masser for karbon og hydrogen er hhv ca  $12u$  og  $1u$ .

- A) 424 m/s    B) 382 m/s    C) 402 m/s    D) 435 m/s    E) 413 m/s    F) 393 m/s

**30)** Molar varmekapasitet til propangass ved normale betingelser (1 atm og romtemperatur), målt ved konstant volum, er 65.3 J/mol K.

**Hvor mange kvadratiske frihetsgrader bidrar da - sånn omtrent - til indre energi i propangass ved disse betingelsene, ifølge det klassiske ekvipartisjonsprinsippet?**

- A) 31    B) 16    C) 11    D) 6    E) 26    F) 21

**31)** Propan koker ved 231 K ved normalt trykk (1 atm). Molar fordampingsvarme er 19 kJ/mol. **Hva er damptrykket til propan ved trippelpunktet (85.5 K)?**  
(Anta konstant fordampingsvarme.)

- A) 5 mPa    B) 0.17 atm    C) 169 Pa    D) 0.31 atm    E) 0.61 atm    F) 13 Pa

**32)** Bruk av propan som kjølemiddel i et kjøleskap fordrer at Joule-Thomson-koeffisienten er positiv. Da må trykket  $p$  være mindre enn inversjonstrykket, dvs det trykket som gir  $\mu_{JT} = 0$  ved den aktuelle temperaturen. Med van der Waals tilstandsligning vil du vurdere om propan ved 301 K og 20 bar gir avkjøling.

**Hva er inversjonstrykket ved 301 K?**

- A) 66 bar    B) 44 bar    C) 55 bar    D) 22 bar    E) 11 bar    F) 33 bar

**33)** Hvilken relasjon mellom tilstandsvariable følger av at  $dH = TdS + Vdp$ ?

- A)  $\left(\frac{\partial p}{\partial S}\right)_T = \left(\frac{\partial T}{\partial V}\right)_U$   
 B)  $\left(\frac{\partial V}{\partial p}\right)_S = \left(\frac{\partial T}{\partial S}\right)_p$   
 C)  $\left(\frac{\partial V}{\partial S}\right)_p = \left(\frac{\partial T}{\partial p}\right)_S$   
 D)  $\left(\frac{\partial S}{\partial V}\right)_U = \left(\frac{\partial T}{\partial p}\right)_V$   
 E)  $\left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_S = \left(\frac{\partial p}{\partial V}\right)_T$   
 F)  $\left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_S = \left(\frac{\partial V}{\partial S}\right)_T$

**34)** Et system med ikke-vekselvirkende partikler er i termisk likevekt med et varmereservoar som har temperatur  $T$ . En gitt partikkel befinner seg i en av tre mulige tilstander, med energi  $E_n = nE_0$ , der  $n = 1, 2, 3$  nummererer de tre mulige tilstandene. Det er ingen begrensning på antall partikler som kan befinne seg i en gitt energitilstand. Anta at  $E_0 = k_B T$ .

**Hva er sannsynlighetene  $P_n$  for at en gitt partikkel har energiene  $E_n$ ?**

- A)  $P_1 = 0.456, P_2 = 0.444, P_3 = 0.180$   
 B)  $P_1 = 0.115, P_2 = 0.265, P_3 = 0.620$   
 C)  $P_1 = 0.665, P_2 = 0.245, P_3 = 0.090$   
 D)  $P_1 = 0.500, P_2 = 0.300, P_3 = 0.200$   
 E)  $P_1 = 0.334, P_2 = 0.333, P_3 = 0.333$   
 F)  $P_1 = 0.802, P_2 = 0.167, P_3 = 0.041$

**35)** For systemet beskrevet i forrige oppgave, hva er midlere energi pr partikkel dersom  $E_0 = k_B T/100$ ?

- A)  $3.5E_0$     B)  $2.5E_0$     C)  $1.0E_0$     D)  $2.0E_0$     E)  $1.5E_0$     F)  $3.0E_0$

**36)** I overflaten av Dødehavet er det ca 280 g NaCl pr kg væske. Du kan anta at resten er vann. Molar smeltevarme for is er 6.0 kJ/mol. Molare masser for NaCl og H<sub>2</sub>O er hhv 58.45 g/mol og 18 g/mol.

**Ved hvilken temperatur ville Dødehavets overflate fryse til is?**

- A)  $-10^\circ\text{C}$     B)  $-5^\circ\text{C}$     C)  $-25^\circ\text{C}$     D)  $-15^\circ\text{C}$     E)  $-30^\circ\text{C}$     F)  $-20^\circ\text{C}$

**37)** I denne oppgaven antar vi at H<sub>2</sub>O har konstante latente varmer i det aktuelle temperaturområdet, hhv molar fordampingsvarme  $l_f = 45$  kJ/mol og molar sublimasjonsvarme  $l_{\text{sub}} = 51$  kJ/mol. Vinterluft med temperatur 268 K og relativ luftfuktighet 70% strømmer inn i stua, erstatter innelufta og varmes opp til 298 K.

**Hva er nå relativ luftfuktighet i stua?**

Tips 1: Relativ luftfuktighet:  $\phi = 100\% \cdot p_{\text{H}_2\text{O}}/p_d$ .  $p_{\text{H}_2\text{O}}$  er faktisk partialtrykk pga vanndamp.  $p_d$  er metningstrykket.

Tips 2: Bruk trippelpunktet som referanse, med temperatur 273 K og damptrykk 612 Pa.

- A) 5%    B) 13%    C) 17%    D) 25%    E) 21%    F) 9%

**38)** To store parallelle plater nr 1 og 3 (svarte legemer) har faste temperaturer hhv  $T_1 = 300$  K og  $T_3 = 400$  K. En tredje plate nr 2 (svart legeme) plasseres mellom og parallelt med de to første. Etter en stund har vi en situasjon med stasjonær varmestrøm i hele området mellom plate nr 1 og 3.

**Hva er nå temperaturen  $T_2$  til plata i midten?**

- A) 370 K    B) 350 K    C) 380 K    D) 360 K    E) 340 K    F) 330 K

**39)** En yttervegg har 20.0 cm mineralull mellom en asfaltplate på utsiden og en sponplate på innsiden, begge med tykkelse 12 mm. I nevnte rekkefølge har disse materialene varmeledningsevne  $\kappa_m = 0.037$ ,  $\kappa_a = 0.048$  og  $\kappa_s = 0.13$  W/m K. På en kald vinterdag er det 25 kuldegrader ute og 25 varmegrader inne.

**Hva er effekttapet pr kvadratmeter yttervegg?**

- A) 8.7 W    B) 6.5 W    C) 9.8 W    D) 5.4 W    E) 7.6 W    F) 4.3 W

**40)** En virrevandrer tar like lange skritt med lengde 50 cm med jevne mellomrom, ett skritt pr sekund. Hvert skritt går i tilfeldig retning, men alltid enten mot nord, øst, syd eller vest, og med samme sannsynlighet ( $1/4$ ) i hver retning. Etter to sekunder er det dermed tre mulige avstander  $r$  mellom startposisjonen og virrevandrerens nåværende posisjon.

**Hva er rms-avstanden  $\sqrt{\langle r^2 \rangle}$  etter to sekunder?**

(Tips: Tegn opp det kvadratiske gitteret og finn ut hvor mange veier som resulterer i de ulike avstandene fra startposisjonen.)

A) 50 cm      B) 71 cm      C) 35 cm      D) 42 cm      E) 0 cm      F) 100 cm