

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⁻¹. En kvadratisk plate av PP har areal 400 cm² ved 10°C.

Hva er arealet ved 90°C?

- A) 404 cm² B) 407 cm² C) 419 cm² D) 410 cm² E) 416 cm² F) 413 cm²

6) Nitrogen i fast form ved temperatur 22 K har isotherm kompressibilitet 0.5 GPa⁻¹.

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°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 kJ B) -6.08 kJ C) -1.08 kJ D) -3.08 kJ E) -5.08 kJ F) -2.08 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 CO_2 -molekyl og H_2O -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 CO_2 og H_2O , 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, C_3H_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 H₂O er hhv 58.45 g/mol og 18 g/mol.

Ved hvilken temperatur ville Dødehavets overflate fryse til is?

- A) -10°C B) -5°C C) -25°C D) -15°C E) -30°C F) -20°C

37) I denne oppgaven antar vi at H₂O 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