

TFY4165 Termisk fysikk Eksamen 10. august 2023

1) Hvilken størrelse er intensiv?

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

2) Omtrent hvor mange molekyler inneholder 1 liter luft ved trykk 1 atm og temperatur 243 K?

- A) $3 \cdot 10^7$ B) $3 \cdot 10^{10}$ C) $3 \cdot 10^{13}$ D) $3 \cdot 10^{16}$ E) $3 \cdot 10^{19}$ F) $3 \cdot 10^{22}$

3) Omtrent hvor mange molekyler inneholder 1000 liter vann?

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

- A) $3 \cdot 10^{26}$ B) $3 \cdot 10^{30}$ C) $3 \cdot 10^{32}$ D) $3 \cdot 10^{34}$ E) $3 \cdot 10^{28}$ F) $3 \cdot 10^{24}$

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 7 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) 0.3 atm B) 0.4 atm C) 0.5 atm D) 0.6 atm E) 0.7 atm F) 0.8 atm

5) Gull har lineær utvidelseskoeffisient $14.2 \cdot 10^{-6}$ K⁻¹. En tynn gulltråd har lengde 111.00 cm ved 0°C.

Hva er lengden ved 102°C?

- A) 113.66 cm B) 113.16 cm C) 112.66 cm D) 112.16 cm E) 111.66 cm F) 111.16 cm

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 66 bar til 26 bar?

- A) 0.2% B) 0.4% C) 0.6% D) 0.8% E) 1.0% F) 1.2%

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 må utføres på et mol luft ved konstant temperatur -10°C for å øke trykket fra 936 hPa til 1061 hPa?

- A) 274 J B) 295 J C) 316 J D) 337 J E) 358 J F) 379 J

8) Hva er ikke en tilstandsfunksjon?

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

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

En annen vanlig energienhet er Ry (Rydberg); $1 \text{ Ry} = 13.6 \text{ eV}$.

Hva er 1.0 kcal/mol uttrykt i enheten Ry (pr partikkel)?

- A) 1.6 mRy B) 2.4 mRy C) 3.2 mRy D) 4.0 mRy E) 4.8 mRy F) 5.6 mRy

10) En kretsprosess består av en isobar utvidelse ved trykk $2p_0$ fra volum V_0 til $3V_0$ og en isobar kompresjon ved trykk p_0 fra volum $4V_0$ til $2V_0$. De to isobarene er forbundet med to prosesser der dp/dV holdes konstant, dvs rette linjer i prosessdiagrammet.

Hvor stort arbeid utføres pr syklus?

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

- A) p_0V_0 B) $2p_0V_0$ C) $3p_0V_0$ D) $4p_0V_0$ E) $5p_0V_0$ F) $6p_0V_0$

11) Anta at $p_0 = 2.0 \text{ bar}$ og $V_0 = 25 \text{ L}$ i forrige oppgave, samt at arbeidssubstansen er 3.5 mol ideell gass. **Hva er da kretsprosessens laveste temperatur?**

- A) 244 K B) 344 K C) 444 K D) 544 K E) 644 K F) 744 K

12) To mol toatomig ideell gass med adiabatkonstant 1.40 utvider seg isentropisk slik at gassens temperatur faller fra 550 K til 320 K.

Hvor stort arbeid har gassen utført?

- A) 5.56 kJ B) 6.56 kJ C) 8.56 kJ D) 9.56 kJ E) 7.56 kJ F) 4.56 kJ

13) Ett mol enatomig ideell gass utvider seg isobart slik at temperaturen øker fra 300 K til 500 K.

Hvor mye endres gassens entalpi?

- A) 1.10 kJ B) 2.12 kJ C) 3.14 kJ D) 4.16 kJ E) 5.18 kJ F) 6.20 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) $\Delta T = 0$
D) $\Delta T = 1.1$ K E) $\Delta T = 2.2$ K F) $\Delta T = 3.3$ K

15) I et Carnot-kjøleskap fjerner kjølemediet en varmemengde 150 J pr sekund fra kjøleskapet og avgir varmemengden 200 J pr sekund til kjøkkenlufta omkring.

Hva er kjøleskapets virkningsgrad (effektfaktor)?

- A) 3.0 B) 2.5 C) 2.0 D) 1.5 E) 1.0 F) 0.5

16) Tre mol enatomig ideell gass gjennomgår en reversibel prosess fra en starttilstand der temperaturen er 280 K og trykket er 4.40 bar, til en slutt-tilstand der temperaturen er 340 K og trykket er 3.30 bar.

Hva blir endringen i gassens entropi?

- A) 45.3 J/K B) 38.8 J/K C) 32.3 J/K D) 25.8 J/K E) 19.3 J/K F) 12.8 J/K

17) To like store aluminiumsblokker, begge med masse 1.60 kg, er termisk isolert fra omverdenen, men i termisk kontakt med hverandre. I starttilstanden har de to blokkene temperaturer hhv 298 K og 398 K.

Hvor mye har de to blokkenes totale entropi økt når likevekt er oppnådd, med felles temperatur 348 K?

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

- A) 30.4 J/K B) 40.4 J/K C) 50.4 J/K D) 60.4 J/K E) 70.4 J/K F) 80.4 J/K

18) Vi kaster kron-og-mynt med 5 kronestykker. Vi betegner entropien i et kast med n kron (og $5 - n$ mynt) som S_n . Med Boltzmanns definisjon av entropi,

hva er entropidifferansen $(S_3 - S_0)/k_B$, dvs målt i enheter av Boltzmanns konstant k_B ?

- A) 2.72 B) 2.30 C) 2.19 D) 1.61 E) 0.69 F) 0.25

19) Vi kaster kron-og-mynt med 100 kronestykker. Vi betegner sannsynligheten for n kron (og $100 - n$ mynt) med P_n , som er proporsjonal med antall ulike mikrokonfigurasjoner som tilsvarer n kron,

$$\Omega_n = \binom{100}{n} = \frac{100!}{n!(100 - n)!}.$$

Hva er P_{50}/P_{25} ?

(Tips: Stirlings formel.)

- A) $1.8 \cdot 10^2$ B) $2.8 \cdot 10^3$ C) $3.8 \cdot 10^4$ D) $4.8 \cdot 10^5$ E) $5.8 \cdot 10^6$ F) $6.8 \cdot 10^7$

20) Vi tilordner en kubisk boks med sidekanter L til hvert molekyl i en ideell gass ved temperatur 298 K og trykk 1.00 bar.

Hvor stor er L ?

- A) 1.45 nm B) 1.85 nm C) 2.25 nm D) 2.65 nm E) 3.05 nm F) 3.45 nm

21) Hva er forholdet mellom midlere kinetiske translasjonsenergi pr O_2 -molekyl og N_2 -molekyl i lufta, dvs $\langle K_{\text{trans}}(\text{O}_2) \rangle / \langle K_{\text{trans}}(\text{N}_2) \rangle$?

- A) 0.52 B) 0.64 C) 0.76 D) 0.94 E) 1.00 F) 1.12

22) Luft inneholder (blant annet) O_2 og N_2 , med molekylmasser hhv ca $32u$ og $28u$.

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

- A) 0.52 B) 0.64 C) 0.76 D) 0.94 E) 1.00 F) 1.12

23) Trykket i en ideell gass doubles mens volumet tredobles.

Hvordan går det da med temperaturen?

- A) $T \rightarrow T$ B) $T \rightarrow 2T$ C) $T \rightarrow 3T$ D) $T \rightarrow 4T$ E) $T \rightarrow 5T$ F) $T \rightarrow 6T$

24) Trykket i en van der Waals-gass doubles fra verdien $a/100b^2$ mens volumet doubles fra verdien $10b$.

Hva blir temperaturendringen $\Delta T = T_{\text{slutt}} - T_{\text{start}}$?

- A) $99a/400Rb$ B) $88a/411Rb$ C) $77a/433Rb$ D) $66a/445Rb$
E) $55a/501Rb$ F) $44a/523Rb$

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 273 K og med volum 1.388 L, hva er trykket?

- A) 12.4 bar B) 14.4 bar C) 16.4 bar D) 18.4 bar E) 20.4 bar F) 22.4 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) 8.8 bar B) 10.8 bar C) 12.8 bar D) 14.8 bar E) 16.8 bar F) 18.8 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) 0.135 L B) 0.295 L C) 0.455 L D) 0.615 L E) 0.775 L F) 0.935 L

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

- A) 326 K B) 336 K C) 346 K D) 356 K E) 366 K F) 376 K

29) Hva er rms-hastigheten til molekylerne i propangass ved 273 K, i henhold til ideell gass tilstandsligning?

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

- A) 193 m/s B) 233 m/s C) 273 m/s D) 313 m/s E) 353 m/s F) 393 m/s

30) Molar varmekapasitet til propangass ved 273 K og 1 bar, målt ved konstant volum, er 60.7 J/mol K .

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

- A) 3 B) 6 C) 9 D) 12 E) 15 F) 18

31) Ved normalt trykk, 1 bar, koker propan ved 231 K. Molar fordampingsvarme er 19 kJ/mol.
Hva er damptrykket til propan ved 273 K?
(Anta konstant fordampingsvarme.)

- A) 2.6 bar B) 3.1 bar C) 3.6 bar D) 4.1 bar E) 4.6 bar F) 5.1 bar

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 273 K og 5 bar gir avkjøling.

Hva er inversjonstrykket ved 273 K?

- A) 1.8 bar B) 3.8 bar C) 5.8 bar D) 7.8 bar E) 9.8 bar F) 11.8 bar

33) Hvilken relasjon mellom tilstandsvariable følger av at $dF = -p dV - S dT$?

- A) $\left(\frac{\partial p}{\partial S}\right)_T = \left(\frac{\partial T}{\partial V}\right)_p$
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) $\left(\frac{\partial S}{\partial V}\right)_G = \left(\frac{\partial T}{\partial p}\right)_H$
E) $\left(\frac{\partial S}{\partial V}\right)_T = \left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_V$
F) $\left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_U = \left(\frac{\partial V}{\partial S}\right)_p$

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 fire mulige tilstander, med energi $E_n = nE_0$, der $n = 1, 2, 3, 4$ nummererer de fire mulige tilstandene. Det er ingen begrensning på antall partikler som kan befinne seg i en gitt energitilstand. Anta at temperaturen i systemet er $T = E_0/k_B$.

Hva er sannsynligheten P_4 for at en gitt partikkel har energien E_4 ?

- A) 3.2% B) 6.2% C) 9.2% D) 12.2% E) 15.2% F) 18.2%

35) For systemet beskrevet i forrige oppgave,
hva er midlere energi pr partikkel dersom $T = 200E_0/k_B$?

- A) $0.5E_0$ B) $1.0E_0$ C) $1.5E_0$ D) $2.0E_0$ E) $2.5E_0$ F) $3.0E_0$
-

36) I overflaten av Dødehavet er det ca 280 g NaCl pr kg væske. La oss 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) -15°C C) -20°C D) -25°C E) -30°C F) -35°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 253 K og relativ luftfuktighet 90% 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) 3% B) 13% C) 23% D) 33% E) 43% F) 53%

38) To store parallelle plater nr 1 og 3 (svarte legemer) har faste temperaturer hhv $T_1 = 300$ K og $T_3 = 900$ 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?

(Vi antar varmetransport kun pga stråling.)

- A) 859 K B) 759 K C) 659 K D) 559 K E) 459 K F) 359 K

39) En hyttevegg har 15.0 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. En vinterdag er det 10 kuldegrader ute og 22 varmegrader inne.

Hva er effekttapet pr kvadratmeter yttervegg?

- A) 8.3 W B) 7.3 W C) 6.3 W D) 5.3 W E) 4.3 W F) 3.3 W

40) En virrevandrer tar like lange skritt med lengde $a = 50$ cm med jevne mellomrom, ett skritt pr sekund. Hvert skritt går i en av 6 tilfeldige retninger, med 60° vinkel mellom "naboretninger". Det er hele tiden lik sannsynlighet $1/6$ for at virrevandreren tar neste skritt i en gitt retning. Etter to sekunder er det dermed fire 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 heksagonale gitteret og finn ut hvor mange veier som resulterer i de ulike avstandene fra startposisjonen, hhv 0 , a , $\sqrt{3}a$ og $2a$.)

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