

1) Hvilken størrelse er ekstensiv?

- A) Kjemisk potensial B) Molar smeltevarme C) Gibbs fri energi
D) Temperatur E) Trykk F) Konsentrasjon

2) Hva er atmosfærens massetetthet på jorda ved unormal temperatur 740 K og normalt trykk 1 bar? Anta ideell gass med 80% nitrogen (28 g/mol) og 20% oksygen (32 g/mol).

- A) 0.07 kg/m³ B) 0.17 kg/m³ C) 0.27 kg/m³
D) 0.37 kg/m³ E) 0.47 kg/m³ F) 0.57 kg/m³

3) Hva er atmosfærens massetetthet på Venus ved normal temperatur 740 K og normalt trykk 93 bar? Anta ideell gass med 3.5% nitrogen (28 g/mol) og 96.5% karbondioksid (44 g/mol).

- A) 16 kg/m³ B) 26 kg/m³ C) 36 kg/m³ D) 46 kg/m³ E) 56 kg/m³ F) 66 kg/m³

4) Hva er bulkmodulen (dvs invers isoterm kompressibilitet) til en ideell gass ved trykk 1 bar?

- A) 0 Pa B) 10^3 Pa C) 10^5 Pa D) 10^2 Pa E) 10 Pa F) 10^4 Pa

5) Hva er bulkmodulen (dvs invers isoterm kompressibilitet) til et van der Waals-fluid i kritisk punkt?

- A) 0 Pa B) 10^3 Pa C) 10^5 Pa D) 10^2 Pa E) 10 Pa F) 10^4 Pa

6) Et mol ideell gass ved temperatur 300 K tilføres varme ved konstant volum slik at trykket i gassen tredobles. Deretter utvider gassen seg isotermt inntil trykket er redusert til opprinnelig verdi. **Hvor stort arbeid har gassen utført på omgivelsene?**

- A) 3.77 kJ B) 4.66 kJ C) 5.55 kJ D) 6.44 kJ E) 7.33 kJ F) 8.22 kJ

7) 10 L toatomig ideell gass ($\gamma = 7/5$) ved trykk 2.5 bar utvider seg adiabatisk til et sluttvolum 36 L. **Hvor stort arbeid har gassen utført på omgivelsene?**

Tips: $pV^\gamma = \text{konstant}$

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

Oppgave 8–10: En ideell enatomig gass ($\gamma = 5/3$) utvider seg adiabatisk (og reversibelt) fra en tilstand med temperatur 321 K, trykk 1.0 bar og volum 2.0 L, til en tilstand med dobbelt så stort volum.

8) Hvor stor er stoffmengden?

A) 0.045 mol B) 0.055 mol C) 0.065 mol D) 0.075 mol E) 0.085 mol F) 0.095 mol

9) Hva er trykket etter den adiabatisk utvidelsen?

A) 0.11 bar B) 0.21 bar C) 0.31 bar D) 0.41 bar E) 0.51 bar F) 0.61 bar

10) Hva er temperaturen etter den adiabatisk utvidelsen?

A) 122 K B) 142 K C) 162 K D) 182 K E) 202 K F) 222 K

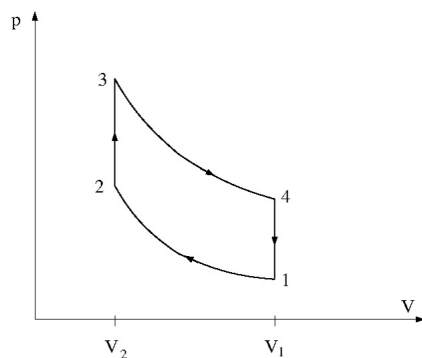
Oppgave 11–12: I et varmepumpeeksperiment stiger temperaturen i 4 L vann i en bølge (høytemperaturreservoaret) fra 18 til 33 grader celsius i løpet av 14 minutter. I samme tidsrom avtar temperaturen i 4 L vann i en annen bølge (lavtemperaturreservoaret) fra 18 til 9 grader celsius. Kompressoren forbruker en konstant elektrisk effekt 105 W. Varmekapasiteten til vann er 4.2 J/gK. Massetettheten er 1.0 g/cm³.

11) Dersom vi betrakter dette som et kjøleskap, hva er da effektfaktoren?

- A) 6.7 B) 5.7 C) 4.7 D) 3.7 E) 2.7 F) 1.7

12) Dersom vi betrakter dette som ei varmepumpe, hva er da effektfaktoren?

A) 4.4 B) 3.9 C) 3.4 D) 2.9 E) 2.4 F) 1.9



Oppgave 13–17: En reversibel Otto-syklus består av to adiabatisk (isentropiske) og to isokore delprosesser. Syklusen karakteriseres gjerne ved kompresjonsforholdet $\kappa = V_1/V_2$. Her antar vi at arbeidssubstansen er 1.00 mol av en toatomig ideell gass med adiabatkonstant $\gamma = 7/5$.

13) Hva er riktig påstand om arbeidet som utføres av gassen i de fire delprosessene?

- A) $W_{12} > 0$, $W_{23} > 0$, $W_{34} < 0$, $W_{41} < 0$
- B) $W_{12} < 0$, $W_{23} = 0$, $W_{34} < 0$, $W_{41} = 0$
- C) $W_{12} = 0$, $W_{23} < 0$, $W_{34} = 0$, $W_{41} > 0$
- D) $W_{12} < 0$, $W_{23} = 0$, $W_{34} > 0$, $W_{41} = 0$
- E) $W_{12} = 0$, $W_{23} > 0$, $W_{34} = 0$, $W_{41} < 0$
- F) $W_{12} > 0$, $W_{23} = 0$, $W_{34} > 0$, $W_{41} = 0$

14) Hva er riktig påstand om varmen som tilføres gassen i de fire delprosessene?

- A) $Q_{12} > 0$, $Q_{23} > 0$, $Q_{34} < 0$, $Q_{41} < 0$
- B) $Q_{12} = 0$, $Q_{23} < 0$, $Q_{34} = 0$, $Q_{41} < 0$
- C) $Q_{12} < 0$, $Q_{23} = 0$, $Q_{34} > 0$, $Q_{41} = 0$
- D) $Q_{12} = 0$, $Q_{23} > 0$, $Q_{34} = 0$, $Q_{41} > 0$
- E) $Q_{12} > 0$, $Q_{23} = 0$, $Q_{34} < 0$, $Q_{41} = 0$
- F) $Q_{12} = 0$, $Q_{23} > 0$, $Q_{34} = 0$, $Q_{41} < 0$

15) Hva er riktig påstand om endringen i gassens indre energi i de fire delprosessene?

- A) $\Delta U_{12} > 0$, $\Delta U_{23} = 0$, $\Delta U_{34} = 0$, $\Delta U_{41} < 0$
- B) $\Delta U_{12} > 0$, $\Delta U_{23} < 0$, $\Delta U_{34} > 0$, $\Delta U_{41} < 0$
- C) $\Delta U_{12} > 0$, $\Delta U_{23} = 0$, $\Delta U_{34} < 0$, $\Delta U_{41} = 0$
- D) $\Delta U_{12} > 0$, $\Delta U_{23} > 0$, $\Delta U_{34} < 0$, $\Delta U_{41} < 0$
- E) $\Delta U_{12} = 0$, $\Delta U_{23} > 0$, $\Delta U_{34} = 0$, $\Delta U_{41} < 0$
- F) $\Delta U_{12} < 0$, $\Delta U_{23} < 0$, $\Delta U_{34} < 0$, $\Delta U_{41} < 0$

16) Anta at gassens temperatur er hhv $T_2 = 500$ K og $T_3 = 1200$ K i tilstandene merket 2 og 3. **Hva er da endringen ΔS_{23} i gassens entropi når den går fra tilstand 2 til tilstand 3?**

- A) 18.2 J/K B) 24.3 J/K C) 30.4 J/K D) 36.5 J/K E) 42.6 J/K F) 48.7 J/K

17) Med temperaturene T_2 og T_3 som i forrige oppgave, hva må kompresjonsforholdet κ være dersom vi ønsker $p_2 = p_4$?

- A) 3.82 B) 3.43 C) 3.04 D) 2.65 E) 2.26 F) 1.87

18) Vi kaster kron-og-mynt med 400 kronestykker. Vi betegner sannsynligheten for n kron (og $400 - n$ mynt) med P_n , som er proporsjonal med antall ulike mikrokonfigurasjoner som tilsvarer n kron,

$$\Omega_n = \frac{400!}{n!(400 - n)!}.$$

Hva er P_{190}/P_{200} ?

(Tips: Stirlings formel.)

A) 0.000006 B) 0.00006 C) 0.0006 D) 0.006 E) 0.06 F) 0.6

19) WR102 er ei stjerne i stjernebildet Skytten (Sagittarius) med radius $3.61 \cdot 10^8$ m. Utstrålt effekt er $1.45 \cdot 10^{32}$ W, og vi antar at stjerna er et svart legeme. **Hva er omtrentlig overflatetemperatur på WR102?**

- A) $2 \cdot 10^3$ K B) $3 \cdot 10^3$ K C) $2 \cdot 10^4$ K D) $3 \cdot 10^4$ K E) $2 \cdot 10^5$ K F) $3 \cdot 10^5$ K

20) 37 Lib er ei stjerne i stjernebildet Vekten (Libra) med radius $3.57 \cdot 10^9$ m. Utstrålt effekt er $4.86 \cdot 10^{27}$ W, og vi antar at stjerna er et svart legeme. **Omtrent ved hvilken bølgelengde er utstrålt intensitet pr bølgelengdeenhet maksimal?**

- A) 700 nm B) 600 nm C) 500 nm D) 400 nm E) 300 nm F) 200 nm

21) Med utgangspunkt i at $Z = \exp(-F/k_B T)$, $F = U - TS$ og den termodynamiske identitet (for et konstant antall partikler N), **hvordan kan entropien S uttrykkes ved partisjonsfunksjonen Z ?**

- | | |
|--|--|
| A) $S = k_B [\ln Z + T (\partial \ln Z / \partial V)_T]$ | B) $S = k_B T (\partial \ln Z / \partial V)_T$ |
| C) $S = k_B [\ln Z + T (\partial \ln Z / \partial V)_p]$ | D) $S = k_B T (\partial \ln Z / \partial V)_p$ |
| E) $S = k_B [\ln Z + T (\partial \ln Z / \partial T)_V]$ | F) $S = k_B T (\partial \ln Z / \partial T)_V$ |

22) Med utgangspunkt i at $Z = \exp(-F/k_B T)$, $F = U - TS$ og den termodynamiske identitet (for et konstant antall partikler N), **hvordan kan trykket p uttrykkes ved partisjonsfunksjonen Z ?**

- | | |
|--|--|
| A) $p = k_B [\ln Z + T (\partial \ln Z / \partial V)_T]$ | B) $p = k_B T (\partial \ln Z / \partial V)_T$ |
| C) $p = k_B [\ln Z + T (\partial \ln Z / \partial V)_p]$ | D) $p = k_B T (\partial \ln Z / \partial V)_p$ |
| E) $p = k_B [\ln Z + T (\partial \ln Z / \partial T)_V]$ | F) $p = k_B T (\partial \ln Z / \partial T)_V$ |

23) Ved konstant volum halveres trykket i en ideell gass.
Hvordan går det da med temperaturen?

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

24) Ved konstant volum $10b$ halveres trykket i en van der Waals-gass fra verdien $a/50b^2$. **Hvordan går det da med temperaturen?**

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

Oppgave 25–32: Et *DynamicAir* kjøleskap bruker isobutan (R600a), C_4H_{10} , som kjølemiddel. Molar masse for isobutan er 58.12 g/mol. Gass-væske faselikevekten for isobutan kan beskrives kvalitativt med van der Waals tilstandsligning, med parametrene $a = 1.332 \text{ Pa m}^6$ og $b = 0.1164 \text{ L}$ for 1.00 mol isobutan.

25) La oss innledningsvis beskrive isobutan som en ideell gass. Ved 277 K og med molart volum 14.0 L/mol, **hva er trykket?**

- A) 1.34 bar B) 1.44 bar C) 1.54 bar D) 1.64 bar E) 1.74 bar F) 1.84 bar

26) La oss så benytte van der Waals tilstandsligning, med samme temperatur og molart volum som i forrige oppgave. **Hvor stort trykk gir dette?**

- A) 1.49 bar B) 1.59 bar C) 1.69 bar D) 1.79 bar E) 1.89 bar F) 1.99 bar

27) En kompressor komprimerer isobutangassen adiabatisk til et molart volum 5.00 L/mol og trykk 4.90 bar. Med van der Waals tilstandsligning, **hva er nå temperaturen?**

- A) 319 K B) 329 K C) 339 K D) 349 K E) 359 K F) 369 K

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

- A) 388 K B) 398 K C) 408 K D) 418 K E) 428 K F) 438 K

29) Hva er rms-hastigheten til molekylene i isobutangass ved 277 K, med ideell gass tilstandsligning?

- A) 245 m/s B) 345 m/s C) 445 m/s D) 545 m/s E) 645 m/s F) 745 m/s

30) Molar isobar varmekapasitet til isobutangass ved normale betingelser (1 bar, 20°C) er 95.21 J/mol K. **Hvor mange kvadratiske frihetsgrader bidrar da - sånn omtrent - til indre energi i isobutangass, ifølge det klassiske ekvipartisjonsprinsippet?** (Her antar vi ideell gass.)

- A) 6 B) 10 C) 21 D) 39 E) 68 F) 115

31) Isobutan koker ved 261.45 K ved normalt trykk (1 bar). Temperaturen i trippelpunktet er 113.55 K. Midlere molar fordampingsvarme mellom disse temperaturene er ca 25 kJ/mol. **Hva er damptrykket til isobutan i trippelpunktet (113.55 K)?** (Her antar vi ideell gass.)

- A) 11 Pa B) 31 Pa C) 11 mPa D) 31 mPa E) 11 kPa F) 31 kPa

32) Siden isobutan brukes som kjølemiddel i moderne kjøleskap, er det klart at Joule-Thomson-koeffisienten er positiv ved aktuelle trykk og temperaturer. Parametrene a og b i van der Waals tilstandsligning er tilpasset kritisk punkt. Da er det slett ikke sikkert at denne tilstandsligningen gir gode *kvantitative* prediksjoner relevante for et kjøleskap. La oss undersøke dette ved å beregne inversjonstrykket ved en passende temperatur.

Med van der Waals tilstandsligning, hva er inversjonstrykket i isobutan ved 310 K?

- A) 4.40 bar B) 5.50 bar C) 6.60 bar D) 7.70 bar E) 8.80 bar F) 9.90 bar

33) Ei kule med radius 10 cm har konstant temperatur 20°C . Utenpå kula er det et kuleskall med tykkelse 10 cm og varmeledningsevne $0.50 \text{ W}/(\text{K m})$. Ytre overflate av kuleskallet har konstant temperatur 0.0°C . **Hvor stor varmeeffekt overføres ved stasjonær varmeledning ut gjennom kuleskallet?**

- A) 65 W B) 55 W C) 45 W D) 35 W E) 25 W F) 15 W

34) Ei kule med diameter 10 cm stråler som et svart legeme med konstant temperatur 275 K (uten å motta strålingsenergi utenfra). **Hva er emittert effekt?**

- A) 10 W B) 15 W C) 20 W D) 25 W E) 30 W F) 35 W

35) En innvendig vegg mellom ei stue og et soverom har 12.5 mm tykke gipsplater på begge sider av et 100 mm tykt lag med mineralull. Gipsplatene har varmeledningsevne $\kappa_g = 0.25 \text{ W/Km}$ mens mineralull har varmeledningsevne $\kappa_m = 0.035 \text{ W/Km}$. Veggens høyde er 2.40 m og bredden er 3.50 m. Temperaturen i stua er 23°C , og temperaturen på soverommet er 14°C . **Hvor stor varmeeffekt overføres gjennom veggens?**

- A) 16 W B) 26 W C) 36 W D) 46 W E) 56 W F) 66 W

Oppgave 36–37: 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.

36) Anta at temperaturen er $T = E_0/k_B$. **Hva er midlere energi pr partikkel?**

- A) $1.5E_0$ B) $2.0E_0$ C) $2.5E_0$ D) $3.0E_0$ E) $3.5E_0$ F) $4.0E_0$

37) Hva er midlere energi pr partikkel dersom temperaturen er $T = 100E_0/k_B$?

- A) $1.5E_0$ B) $2.0E_0$ C) $2.5E_0$ D) $3.0E_0$ E) $3.5E_0$ F) $4.0E_0$

38) I denne oppgaven antar vi at H_2O har konstante latente varmer i de aktuelle temperatur-områdene, hhv molar fordampingsvarme $l_f = 45 \text{ kJ/mol}$ og molar sublimasjonsvarme $l_{\text{sub}} = 51 \text{ kJ/mol}$. Vinterluft med temperatur 248 K og relativ luftfuktighet 100% strømmer inn i stua, erstatter innelufta og varmes opp til 298 K.

Hva er nå relativ luftfuktighet i stua?

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

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

A) 0.3% B) 2% C) 9% D) 14% E) 23% F) 42%

39) Joulenissen har vært på jouletrefest, og på veien hjem tar han 50 cm lange skritt med jevne mellomrom, ett skritt pr sekund. Hvert skritt går i *helt* tilfeldig retning. **Hvor langt ($\sqrt{\langle r^2 \rangle}$) kan vi regne med at nissen har kommet etter fem minutter?**

- A) 314 m B) 152 m C) 866 m D) 152 mm E) 866 cm F) 202 m

40) Hva slags fenomen har egget i glassbollen på bildet til venstre blitt gjenstand for? Egget har mistet skallet sitt og ligget i vann. Det var i utgangspunktet like stort som egget (med skall) som ligger ved siden av, men er nå betydelig større; massen har økt fra 65 g til 85 g. Bildet til høyre er muligens til hjelp kun for oss som har levd en stund.

- A) Osmose B) Psykose C) Nevrose
D) Prognose E) Diagnose F) Narkose



GOD JUL!